

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

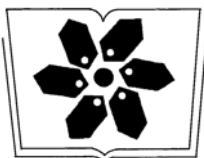
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第10期 Vol.34 No.10 **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 10 期 2014 年 5 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 景观可持续性与景观可持续性科学..... 赵文武,房学宁 (2453)
- 生态系统服务付费的诊断框架及案例剖析 朱文博,王 阳,李双成 (2460)
- 湿地植物根表铁膜研究进展..... 刘春英,陈春丽,弓晓峰,等 (2470)
- 水生生态环境中捕食信息素的生态学效应..... 覃光球,卢豪良,唐振柱,等 (2481)
- 脊椎动物传播植物肉质果中的次生物质及其生态作用 潘 扬,罗 芳,鲁长虎 (2490)

个体与基础生态

- 中亚热带天然林土壤 CH_4 吸收速率对模拟 N 沉降的响应 陈朝琪,杨智杰,刘小飞,等 (2498)
- 塔里木盆地南缘早生芦苇生态特征与水盐因子关系..... 贡 璐,朱美玲,塔西甫拉提·特依拜,等 (2509)
- 黄刺玫叶片光合生理参数的土壤水分阈值响应及其生产力分级..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (2519)
- 亚热带杉木和米老排人工林土壤呼吸对凋落物去除和交换的响应..... 余再鹏,万晓华,胡振宏,等 (2529)
- 施钾提高蚜害诱导的小麦茉莉酸含量和叶片相关防御酶活性..... 王 伟,张月玲,苏建伟,等 (2539)
- 高浓度 O_3 及太阳辐射减弱对冬小麦 PS II 光合活性及光能耗散的影响 孙 健,郑有飞,吴荣军,等 (2548)
- 蜡样芽孢杆菌 B3-7 在大田小麦根部的定殖动态及其对小麦纹枯病的防治效果 黄秋斌,张 颖,刘凤英,等 (2559)
- 有限供水下冬小麦全程耗水特征定量研究..... 张兴娟,薛绪掌,郭文忠,等 (2567)
- 抗真菌转基因水稻生态适合度评价..... 李 伟,郭建夫,袁红旭,等 (2581)
- 花生叶片蛋白组对 UV-B 辐射增强的响应 杜照奎,李钧敏,钟章成,等 (2589)
- 南海南部悬浮颗粒物脂肪酸组成..... 刘华雪,柯常亮,李纯厚,等 (2599)
- 年龄、集群、生境及天气对鄱阳湖白鹤越冬期日间行为模式的影响..... 袁芳凯,李言阔,李凤山,等 (2608)
- [树]麻雀羽再生的能量预算和水代谢散热调节 杨志宏,吴庆明,杨 渺,等 (2617)
- 低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食效应的影响及其机理 李 锐,李 娜,刘 佳,等 (2629)
- 空心莲子草叶甲对越冬保护的响应与控害效能..... 刘雨芳,王秀秀,李 菲,等 (2638)

种群、群落和生态系统

- 气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响..... 李言阔,钱法文,单继红,等 (2645)
- 不同退耕年限下菜子湖湿地土壤磷素组分特征变化..... 刘文静,张平究,董国政,等 (2654)

查干湖湿地浮游植物与环境因子关系的多元分析	李然然,章光新,张 蕾 (2663)
闽江河口区淡水和半咸水潮汐沼泽湿地土壤产甲烷菌多样性.....	曾志华,杨民和,余晨兴,等 (2674)
环境及遗传背景对延河流域植物叶片和细根功能性状变异的影响.....	郑 颖,温仲明,宋 光,等 (2682)
衡阳紫色土丘陵坡地植被恢复阶段土壤特性的演变.....	杨 宁,邹冬生,杨满元,等 (2693)
海平面上升影响下广西钦州湾红树林脆弱性评价.....	李莎莎,孟宪伟,葛振鸣,等 (2702)
中国南方3种主要人工林生物量和生产力的动态变化.....	杜 虎,曾馥平,王克林,等 (2712)
杉木人工林土壤真菌遗传多样性.....	何苑擘,周国英,王圣洁,等 (2725)
科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应.....	张腊梅,刘新平,赵学勇,等 (2737)
黄土丘陵区退耕还林地刺槐人工林碳储量及分配规律.....	申家朋,张文辉 (2746)
景观、区域和全球生态	
南亚热带森林演替过程中小气候的改变及对气候变化的响应.....	刘效东,周国逸,陈修治,等 (2755)
黄淮海平原典型站点冬小麦生育阶段的干旱特征及气候趋势的影响.....	徐建文,居 辉,刘 勤,等 (2765)
资源与产业生态	
基于GIS的山西省矿产资源规划环境影响评价	刘 伟,杜培军,李永峰 (2775)
基于效益分摊的水电水足迹计算方法——以密云水库为例	赵丹丹,刘俊国,赵 旭 (2787)
学术信息与动态	
全球土地计划第二次开放科学大会(GLP 2 nd Open Science Meeting)会议述评	段宝玲,卜玉山 (2796)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 348 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 36 * 2014-05	



封面图说: 鄱阳湖越冬的白鹤群——白鹤为国家一级保护动物,世界上白鹤东部种群的迁徙路线是从俄罗斯西伯利亚的雅库特,向南迁飞 5100km 到中国长江下游的鄱阳湖越冬,其中途经俄罗斯的雅纳河、印迪吉尔卡河和科雷马河流域,进入中国后主要停歇地有扎龙、林甸、莫莫格以及双台河口、滦河口、黄河三角洲和升金湖等地。多年的监测表明,世界 90% 以上的白鹤种群都在鄱阳湖越冬。越冬初期和末期是白鹤补充能量的关键阶段,因此,研究鄱阳湖国家级自然保护区越冬白鹤种群数量和当地气候变化的相关性具有重要意义。

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/stxb201309092240

余再鹏, 万晓华, 胡振宏, 王民煌, 刘瑞强, 郑璐嘉, 何宗明, 黄志群. 亚热带杉木和米老排人工林土壤呼吸对凋落物去除和交换的响应. 生态学报, 2014, 34(10): 2529-2538.

Yu Z P, Wan X H, Hu Z H, Wang M H, Liu R Q, Zheng L J, He Z M, Huang Z Q. Contrasting responses of soil respiration to litter manipulation in subtropical *Mytilaria laosensis* and *Cunninghamia lanceolata* plantations. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(10): 2529-2538.

亚热带杉木和米老排人工林土壤呼吸 对凋落物去除和交换的响应

余再鹏^{1,2}, 万晓华^{1,2,*}, 胡振宏^{1,2}, 王民煌^{1,2}, 刘瑞强^{1,2}, 郑璐嘉^{1,2}, 何宗明³, 黄志群^{1,2}

(1. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007; 2. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007;
3. 福建农林大学林学院, 福州 350002)

摘要:在我国亚热带地区米老排(*Mytilaria laosensis*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林中设置去除凋落物、交换凋落物和对照 3 种处理,利用 LI-8100 对不同处理土壤呼吸速率进行为期 14 个月的连续观测。结果表明:与对照相比,去除和交换凋落物导致米老排人工林 CO₂ 年排放量显著减少 29.8% 和 14.2%,杉木人工林则分别减少 6.1% 和增加 37.8%。两种林分交换凋落物处理产生了不同程度的激发效应,米老排凋落物相对于杉木凋落物具有更大的激发效应。不同处理土壤呼吸速率均与土壤温度呈显著指数关系,与土壤含水量呈负相关,土壤温度和含水量的回归模型可以分别解释米老排人工林中去除、交换和对照处理土壤呼吸速率的 68.9%、77.0% 和 69.6%,杉木人工林的 53.0%、36.2% 和 63.8%。两种林分不同处理土壤呼吸速率与土壤可溶性有机碳含量、微生物生物量碳含量以及主要微生物种群生物量显著相关。米老排人工林去除和交换凋落物处理均降低了土壤呼吸的温度敏感性 Q_{10} 值,而杉木林中仅去除凋落物降低了 Q_{10} 值。研究表明,土壤呼吸对凋落物输入方式改变的响应因树种而异,这种差异与凋落物输入的数量和质量及其对土壤易变性有机碳含量和微生物生物量的影响有关。

关键词:凋落物;激发效应;土壤呼吸;土壤温度;土壤微生物生物量;树种

Contrasting responses of soil respiration to litter manipulation in subtropical *Mytilaria laosensis* and *Cunninghamia lanceolata* plantations

YU Zaipeng^{1,2}, WAN Xiaohua^{1,2,*}, HU Zhenhong^{1,2}, WANG Minhuang^{1,2}, LIU Ruiqiang^{1,2}, ZHENG Lujia^{1,2}, HE Zongming³, HUANG Zhiqun^{1,2}

1 Cultivation Base of State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China

2 College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

3 College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

Abstract: Future climate change is expected to alter the primary productivity of forest ecosystems, and thus potentially change the quality and quantity of aboveground litter inputs which could affect soil carbon emission and sequestration. A litter manipulation experiment was carried out in 19-year-old *Mytilaria laosensis* and *Cunninghamia lanceolata* plantations replanted in *C. lanceolata* woodland in subtropical China between January 2012 and February 2013. Three treatments including litter exclusion, reciprocal litter transplant and control were conducted within 2 m × 2 m plots in randomized block design. Soil respiration rate (R_s) were measured monthly by Li-Cor 8100 and soil temperature and soil moisture were also monitored. The results showed that R_s subject to three treatments exhibited similar seasonal patterns in *M. laosensis* and

基金项目:国家自然科学基金项目(41371269);教育部新世纪优秀人才支持计划(DB-168);福建省杰出青年科学基金项目(2060203)

收稿日期:2013-09-09; **网络出版日期:**2014-02-20

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

C.lanceolata plots. The average R_s in litter exclusion, litter transplant and control treatments were 1.79, 2.18, 2.45 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in *M.laosensis* plots and 1.77, 2.29, 1.90 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in *C.lanceolata* plots, respectively. Overall, litter exclusion and transplant significantly decreased the annual fluxes under *M.laosensis* plots by 29.8% and 14.2%, respectively. Litter exclusion caused a slight decline in annual flux but litter transplant markedly increased the annual flux by 37.8% in *C.lanceolata* plots. Using the decay constants of the two litter species in a reciprocal litter transplant decomposition experiment, priming effects were calculated as the amount of litter-derived respiration minus decomposed carbon from litter. Results showed that *M.laosensis* litter aroused higher priming effect than *C.lanceolata* litter, suggesting that the quantity and quality of litter input caused by different tree species could result in different below-ground responses. Correlations showed that R_s were exponentially correlated with the soil temperature and negatively correlated with the soil moisture under both *M.laosensis* and *C.lanceolata* plots. Non-linear regressions of soil temperature and soil moisture together accounted for 68.9%—77.0% and 36.2%—63.8% of monthly variation in soil respiration in *M.laosensis* and *C.lanceolata* plots, respectively, indicating that other factors were responsible for interpreting variations in R_s . The average R_s was significantly correlated to soil dissolved organic carbon concentration ($P = 0.019$) and microbial biomass carbon concentration ($P = 0.037$), which suggests that litter manipulation induced changes in soil labile carbon caused significant effects on R_s . A one time-point measured soil PLFA profiles showed that the average R_s was significantly correlated with the biomass of main signature PLFAs such as fungi (18:1 w9c, 18:2 w6,9c), which may imply that the high quality of litter input could alter soil microbial biomass and thus affect R_s . The temperature sensitivity (Q_{10}) of R_s decreased to 1.86 and 2.05 in the litter exclusion and transplant plots compared to 2.14 in the control plots under *M.laosensis* plantations. However, the Q_{10} in the litter exclusion, litter transplanting and control plots were 1.40, 1.52 and 1.52 in *C.lanceolata* plantations, respectively, which are lower than other studies in subtropical China. In summary, we concluded that the effects of litter manipulation on R_s were dependent on tree species, the contributions of litter to R_s can be attributed to the quantity and quality of litter input, the changes in soil labile carbon and soil microbial biomass in subtropical forest plantations.

Key Words: litter; priming effect; soil respiration; soil temperature; soil microbial biomass; tree species

全球土壤(0—3m)碳储量高达 2300 Pg,其中凋落物层碳储量 200 Pg^[1]。每年土壤呼吸排放通量约为 79.3—81.8 Pg C/a,占陆地生态系统呼吸的 60%—90%,是化石燃料燃烧释放 CO_2 的 10—13 倍,其微小波动都会对大气 CO_2 浓度产生显著影响,进而直接影响全球碳平衡^[2]。凋落物是土壤碳库的重要组成部分,全球每年土壤呼吸释放 CO_2 中约有 50 Pg C 来自于凋落物和土壤有机质分解^[3]。全球气候变化(降雨、气温和大气 CO_2 浓度变化)引起的森林净初级生产力的增加会显著提高森林凋落物量^[4-5],而凋落物输入数量^[5]和质量^[6-7]的变化都可能引起土壤呼吸速率及温度敏感性的改变,不同区域和森林类型去除和添加凋落物的实验为揭示全球变化背景下凋落物对土壤呼吸的影响机制提供了证据。热带大尺度凋落物控制实验表明增加凋落物能显著提高土壤碳的排放速率,凋落物增加 30%将导

致土壤碳释放量达到 0.6 t C $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$,将部分抵消热带森林土壤净碳吸存^[8]。

凋落物对呼吸的贡献主要源于两部分,一是凋落物分解产生的 CO_2 的排放,二是新鲜凋落物的输入刺激土壤中原有有机质的分解,即“激发效应”^[9-12]。众多研究发现去除凋落物能导致土壤呼吸速率相应的降低,大多数是因为移除了地表有效碳源或改变了土壤水热条件^[13-15];而添加凋落物能显著地提高土壤呼吸速率,原因是新鲜凋落物的输入带来了更为有效的底物碳源^[13-14]或是加倍凋落物产生了正激发效应^[8,12]。此外,添加和去除凋落物也会显著影响土壤中的微生物生物量和活性,进而影响微生物异养呼吸速率^[16-17]。添加和去除凋落物对土壤呼吸的影响既有短期效应^[14,18],也会持续多年^[5,12],并且会因森林类型^[19-20]、土地利用方式^[21]以及气候的干湿季节变化而异^[19]。国内关于森林

凋落物呼吸的研究有油松林^[15]、枫香、樟树^[22]、杉木^[18]、马尾松^[23]、刺槐^[24]等,大多是讨论添加和去除凋落物对土壤呼吸的影响,而关于不同树种凋落物对土壤呼吸的影响的少见报道。

本研究以亚热带杉木人工林采伐迹地上营造的米老排 (*Mytilaria laosensis*) 和杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 人工林作为对比研究样地,通过去除和互换凋落物的野外控制实验,对比不同树种凋落物对土壤呼吸的影响及其贡献,揭示不同数量和质量凋落物对土壤呼吸的影响机制,为准确评估不同树种凋落物对土壤呼吸的贡献及人工林碳吸存潜力提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及实验设计

试验地设在福建省南平市峡阳国有林场 (26°

48'N, 117°59'E), 选取杉木林采伐迹地上营造的 19 年生米老排和杉木两个人工林为研究对象。试验地海拔 229—246 m, 坡度 15°—30°。所在区域属中亚热带湿润季风气候, 年均温 20.0 °C, 雨量充沛, 全年各季节均有降雨, 年均降水量为 1653 mm。土壤为石英黑云母片岩发育的山地红壤, 表层疏松, 土层深厚。2011 年 7 月调查时, 米老排人工林林下植被主要有苦竹 (*Pleioblastus amarus*)、芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*)、狗脊 (*Woodwardia japonica*)、玉叶金花 (*Mussaenda pubescens*)、杜茎山 (*Maesa japonica*) 等, 数量较少; 杉木人工林林下植被有观音座莲 (*Angiopteris fokiensis*)、芒萁、粗叶榕 (*Ficus simplicissima*)、稀羽鳞毛蕨 (*Dryopteris sparsa*)、江南卷柏 (*Selaginella moellendorffii*)、淡竹叶 (*Lophatherum gracile*)、苦竹、狗脊等, 林下植被较多。两种林分基本情况见表 1。

表 1 米老排和杉木人工林基本概况

Table 1 The basic site parameters under *M. laosensis* and *C. lanceolata* plantations ($n=4$)

林分类型 Forest type	土壤容重 Bulk density / (g/cm ³)	土壤 pH	土壤全碳 储量 Soil total C / (t/hm ²)	土壤全氮 储量 Soil total N / (t/hm ²)	土壤碳氮比 Soil C/N ratio	郁闭度 Canopy density	平均树高 Tree height /m	平均胸径 DBH/ cm
米老排 <i>M. laosensis</i>	1.08±0.10a	4.3±0.2a	56.7±12.1a	3.7±0.8a	16.9±0.4a	0.9	15.4±2.1a	14.7±2.8a
杉木 <i>C. lanceolata</i>	1.10±0.18a	4.6±0.3a	42.5±4.9a	3.0±0.5a	15.7±1.9a	0.7	13.8±3.5a	15.9±3.6a
林分类型 Forest type	年凋落物量 Litter biomass/ (t/hm ²)	凋落物 碳含量 Litter C/ (mg/g)	凋落物 氮含量 Litter N / (mg/g)	凋落物 碳氮比 Litter C/N / ratio	凋落物层 现存量 Forest floor biomass/ (t/hm ²)	凋落物层 碳氮比 Forest floor C/N ratio	细根生物量 Fine root biomass/ (g/m ²)	
米老排 <i>M. laosensis</i>	9.81±1.73a	469.3±11.0a	19.3±1.5a	24.4±1.2a	7.90±2.0a	55.8±7.1a	981±360a	
杉木 <i>C. lanceolata</i>	4.96±0.9b	513.6±7.8b	8.9±0.6b	57.7±2.3b	4.94±1.33b	59.5±12a	767±172a	

数值为平均值±标准差; 同一行不同小写字母表示两种林分之间差异显著 ($P<0.05$)

2011 年 11 月, 在两种人工林中分别采用裂区设计方法设置 4 个区组, 每个区组随机分布 A、B、C 3 种处理。每个处理设立大小为 2 m×2 m 的小区, 两种林分各设置 12 个小区。小区具体处理方法为 (A) 去除凋落物, 剔除小区内地面表层全部枯落物, 并在小区上方 1 m 处放置 2.5 m×2.5 m 的尼龙网 (1 mm×1 mm 网眼), 以截留并阻止凋落物落入小区内; (B) 凋落物互换, 将米老排和杉木林凋落物等面积交换, 即将杉木林中去除凋落物处理小区内尼龙网上截留的凋落物转移到米老排小区内, 而米老排小区内的凋落物转移到杉木林小区内。每月定期交换 1 次; (C) 对照, 即不做任何处理, 保留小区原有状

态作为参考。

1.2 土壤呼吸及其相关环境因子的测定

每个小区中心位置埋设 1 个内径 20.0 cm、高 10.0 cm 的 PVC 材质的土壤呼吸圈, 圈底部埋入土壤 5 cm 深, 埋入地下部分留有直径为 0.5 cm 的 4 个圆孔, 以加强环内外土壤水热交换, 测量期间呼吸圈位置保持不变^[25]。从 2012 年 1 月至 2013 年 2 月, 利用 Li-8100 开路式土壤碳通量观测系统 (LI-8100, Li-Cor 公司, 美国) 测定土壤呼吸速率。根据本区域 Sheng 等^[26] 相关研究结果, 在每月中旬选择 2—3d 晴朗少雨的 9:00—12:00 测定土壤呼吸速率, 每个土壤环测量时间为 2 min。同时, 采用数字式瞬时温

度计(AM-11T, Avalon 公司, 美国)测定呼吸圈附近地下 10 cm 处的土壤温度, 采用时域反射仪(TDR)(Model TDR300, Spectrum 公司, 美国)测定呼吸圈附近地下 0—12 cm 处土壤体积含水量, 每个呼吸圈周围测量 3 次取平均值。为减少 TDR 测量误差, 在实验室内采用烘干法建立实测值(W)与烘干值(W_0)之间的一元线性方程 $W = 0.735W_0 + 7.397$ ($R^2 = 0.896$)来校正 TDR 实测值^[25]。

1.3 土壤易变性有机碳及微生物的测定

在观测期间, 每月定期用内径为 2 cm 的 PVC 管在每个小区内取 0—10 cm 土样, 用冰盒冷藏带回实验室用于测定可溶性有机碳(DOC)和微生物生物量碳(MBC)含量。DOC 含量采用冷水浸提^[27], MBC 采用氯仿-熏蒸法浸提^[28]。用总有机碳分析仪(TOC-VCPH/CPN analyzer, 日本)测定浸提液中的有机碳含量。此外, 在 2012 年 5 月采集各小区 0—5 cm 土样用磷脂脂肪酸(PLFA)方法测定土壤中的微生物群落组成^[29]。

1.4 数据处理方法

分别采用线性与非线性模型拟合土壤呼吸速率与土壤温度和土壤含水量的关系, 回归模型如下:

$$R_s = m + nW \quad (1)$$

$$R_s = ae^{bT} \quad (2)$$

$$R_s = ae^{bT} W^c \quad (3)$$

式中, R_s 为土壤呼吸速率 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), T 为地下 10 cm 处土壤温度, W 为地下 0—12 cm 土壤含水量, a , b , c , m 和 n 为待定参数。

土壤呼吸的温度敏感性:

$$Q_{10} = e^{10b} \quad (4)$$

式中, b 为(2)式中计算的常量。

土壤呼吸年通量: 以每月测定的土壤呼吸速率代表该月的平均值, 乘以各月时间后累计相加即可算出年通量。

激发效应^[30]:

交换凋落物的激发效应 = (林分 a 交换凋落物小区土壤呼吸年通量 - 林分 a 去除凋落物小区土壤呼吸年通量) - 林分 b 年凋落物量 $\times$ C% $\times$ 同期 b 凋落物在林分 a 中的年分解速率

式中, a 代表米老排(或杉木林), b 代表杉木林(或米老排); C% 为凋落物碳含量; 凋落物年分解速率为同期米老排和杉木两种凋落物交换分解(网袋

法)计算得出的凋落物分解系数。

采用重复测量方差(Repeated-measures ANOVA)分析两种林分内不同处理土壤呼吸、土壤温度和土壤含水量的差异。用单因素方差分析两种林分不同处理小区平均土壤呼吸速率、碳排放通量、DOC、MBC 以及微生物生物量的差异。

2 结果与分析

2.1 土壤呼吸、温度和湿度的季节动态

两种林分不同处理的土壤呼吸速率均有显著的季节变化, 呈现出单峰曲线趋势(图 1, P 值均为 0.000)。米老排人工林 3 种处理的土壤呼吸速率在 1 月至 6 月快速上升, 到 6 月份出现最高值, 之后缓慢下降到 1 月进入最低值。杉木人工林去除凋落物和对照处理的土壤呼吸速率在 6 月出现最高值, 之后缓慢下降到 1 月份进入最低值, 而交换凋落物的土壤呼吸速率在 6 月份上升到较高值后一直保持到 9 月份, 之后缓慢下降进入低值。米老排人工林去除凋落物和交换凋落物的土壤呼吸速率的平均值分别为 (1.79 ± 0.29) 和 $(2.18 \pm 0.18) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 显著低于对照 $(2.45 \pm 0.19) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($P < 0.01$)。杉木林人工林去除凋落物和对照的土壤呼吸速率的平均值分别为 (1.77 ± 0.28) 和 $(1.90 \pm 0.13) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 而交换凋落物的平均值为 $(2.29 \pm 0.33) \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 显著高于对照 ($P = 0.004$)。

米老排和杉木林土壤温度和含水量均有显著的季节变化(图 1, P 值均 < 0.001)。在同一林分内, 不同处理的土壤温度和土壤含水量均无显著差异 (P 值均 > 0.05)。月份与土壤温度和含水量之间均不存在交互作用 ($P > 0.05$)。两种林分间, 不同处理土壤温度无显著差异, 土壤含水量的差异均达到显著水平 (P 值均 < 0.001), 且均为杉木人工林高于米老排人工林。米老排不同处理土壤含水量的平均值在 25.1%—25.8% 之间, 杉木林为 27.0%—28.0%。

2.2 土壤呼吸的年通量

在两种林分中, 土壤呼吸年通量对凋落物去除和交换的响应不同(表 2)。米老排人工林, 去除凋落物处理相比对照处理显著降低了土壤呼吸年通量, 降低幅度为 29.8%; 交换凋落物则显著降低 14.2%。杉木人工林去除凋落物处理土壤碳排放通

量减少 6.1%,但差异不显著 ($P>0.05$);而交换凋落物则使土壤呼吸年通量显著增加 37.8%。米老排和杉木林凋落物年碳输入量分别为 $472\text{ g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $247\text{ g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。利用凋落物(叶)分解系数计算的

由凋落物交换引起的土壤碳排放的增加量分别为米老排人工林 $86\text{ g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,杉木人工林 $149\text{ g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,占年通量的比例分别为米老排林 9.8%,杉木林 16.7%。

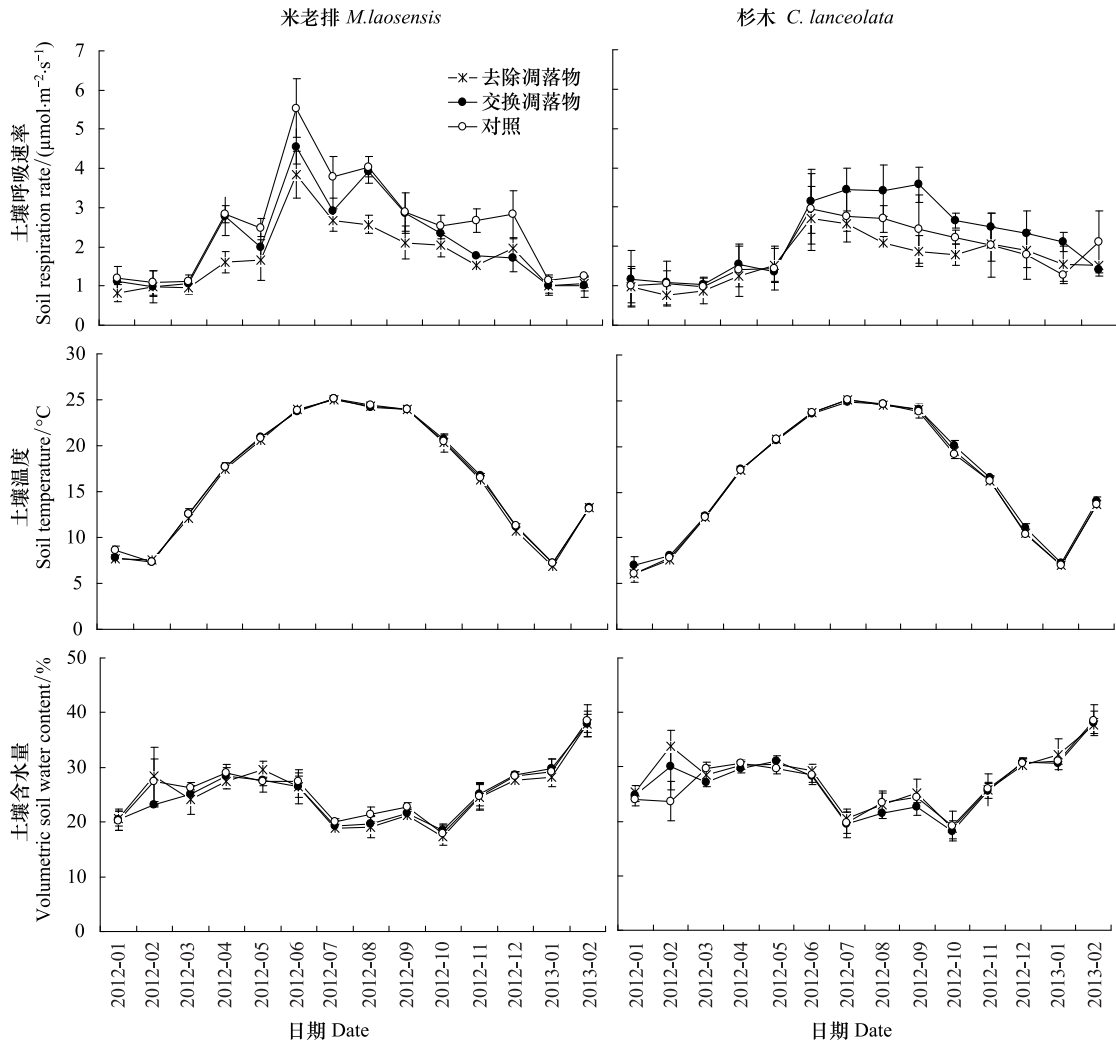


图 1 两种林分不同凋落物处理的土壤呼吸速率、温度和含水量的季节动态

Fig.1 Seasonal dynamics of soil respiration, soil temperature and volumetric soil water content under *M. laosensis* and *C.lanceolata* plantations (mean±SD, $n=4$)

表 2 不同凋落物处理土壤呼吸的年通量及其变化率

Table 2 Annual CO₂ fluxes in different litter manipulation treatments

林分 Forest stand	年通量 Annual fluxes			概率 P	改变百分比 % of change		激发效应 Priming effect
	去除凋落物 Litter exclusion/ ($\text{g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	交换凋落物 Litter transplant/ ($\text{g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	对照处理 Control/ ($\text{g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)		去除凋落物 Litter exclusion /%	交换凋落物 Litter transplant /%	交换凋落物 Litter transplant/ ($\text{g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)
米老排 <i>M. laosensis</i>	725±117a	880±91b	1027±88c	0.006	-29.8±5.4	-14.2±7.8	86
杉木 <i>C. lanceolata</i>	609±11.6a	893±136b	649±48a	0.016	-6.1±8.2	37.8±17.8	149

同一行不同小写字母不同处理间差异显著

2.3 土壤呼吸与土壤温度和湿度的关系

两种林分不同凋落物处理的土壤呼吸速率均与

土壤温度有较好的指数关系(表 3),而与土壤湿度呈负相关,且在米老排人工林中达到显著水平 ($P<$

0.05)。采用土壤温度和湿度的双因素模型能分别解释米老排人工林中去除凋落物、交换和对照处理土壤呼吸的 68.9%、77.0% 和 69.6%;杉木人工林中的 53.0%、36.2% 和 63.8%。米老排人工林中去除和交换凋落物均降低了土壤呼吸的温度敏感性 Q_{10} 值,而杉木林中仅去除凋落物处理降低了土壤呼吸的 Q_{10} 值。

表 3 土壤呼吸速率与土壤温度、湿度的回归模型及土壤呼吸的 Q_{10} 值

Table 3 Regression models of soil respiration rate (R_s) against soil temperature (T) and soil moisture (W) and Q_{10} values												
处理 Treatment		$R_s = m+nW$			$R_s = ae^{bT}$			$R_s = ae^{bT} W^c$				Q_{10}
		m	n	R^2	a	b	R^2	a	b	c	R^2	
米老排 <i>M. laosensis</i>	去除凋落物 Litter exclusion	3.103	-0.052	0.088 *	0.596	0.062	0.678 **	0.244	0.068	0.274	0.689 **	1.86
	交换凋落物 Litter transplant	4.036	-0.073	0.104 *	0.593	0.072	0.755 **	0.152	0.081	0.374	0.770 **	2.05
	对照 Control	4.734	-0.089	0.101 *	0.624	0.076	0.670 **	0.089	0.088	0.531	0.696 **	2.14
杉木 <i>C. lanceolata</i>	去除凋落物 Litter exclusion	2.488	-0.026	0.024 ns	0.997	0.034	0.530 **	1.034	0.034	-0.010	0.530 **	1.40
	交换凋落物 Litter transplant	3.777	-0.059	0.07 *	1.080	0.042	0.339 **	3.461	0.036	-0.323	0.362 **	1.52
	对照 Control	2.035	-0.012	0.005 ns	0.848	0.042	0.599 **	0.200	0.047	0.411	0.638 **	1.52

* $P<0.05$; ** $P<0.001$; ns; not significant

2.4 土壤可溶性有机碳、微生物量及其与土壤呼吸的关系

同一处理,米老排人工林土壤 DOC 和 MBC 含量均显著高于杉木人工林;但同一林分内,不同处理间土壤 DOC 和 MBC 的差异均未达到显著水平(表

4)。磷脂脂肪酸分析结果显示,两种林分间土壤微生物总 PLFA 生物量差异不显著。与对照相比,米老排交换凋落物小区土壤总 PLFA 生物量显著降低了 52%,而杉木林交换凋落物小区土壤总 PLFA 生物量增加 25%。

表 4 不同凋落物处理的平均土壤呼吸速率及土壤可溶性有机碳和微生物生物量碳含量

Table 4 Average soil respiration rate, dissolved organic carbon concentration (DOC), microbial biomass carbon concentration (MBC) and total PLFAs in different litter manipulation treatments ($n=4$)

处理 Treatment	米老排 <i>M. laosensis</i>			杉木 <i>C. lanceolata</i>		
	可溶性有机碳 Dissolved organic carbon /(mg/kg)	微生物生物量碳 Microbial biomass carbon /(mg/kg)	微生物生物量 Total PLFA/ (mmol/g 土壤)	可溶性有机碳 Dissolved organic carbon /(mg/kg)	微生物生物量碳 Microbial biomass carbon /(mg/kg)	微生物生物量 Total PLFA/ (mmol/g 土壤)
去除凋落物 Litter exclusion	94±15aA	756±119aA	16.4±3.8aA	29±2aB	502±64aB	12.8±2.6aA
交换凋落物 Litter transplant	86±27aA	634±137aA	10.8±1.8bA	40±13aB	514±51aB	12.4±0.6aA
对照 Control	99±22aA	722±185aA	14.6±3.7aA	32±8aB	437±74aB	9.9±2.0aA

同一列不同小写字母表示不同处理间差异显著,不同大写字母表示两种林分间差异显著 ($\alpha=0.05$)

相关分析发现,两种林分不同处理的平均土壤呼吸速率与土壤年均 DOC 及 MBC 含量均显著正相关(图 2)。

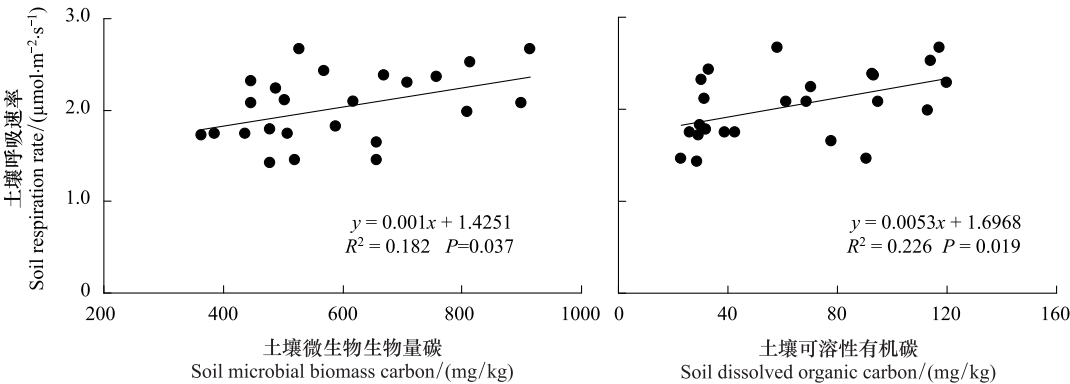


图 2 两种林分不同处理平均土壤呼吸速率与微生物生物量碳和可溶性有机碳的关系 ($n=24$)

Fig.2 Relationships between average soil respiration rate and microbial biomass carbon or dissolved organic carbon concentration with different treatments under two tree species ($n=24$)

交换凋落物和对照处理小区 5 月份土壤呼吸速率及 2012 年年均土壤呼吸速率与一些主要微生物 PLFA 含量及真菌细菌比显著相关(表 5)。

表 5 交换凋落物和对照处理次小区土壤呼吸速率与主要 PLFA 含量的相关分析 ($n=16$)

Table 5 Relationships between soil respiration rate and the concentrations of main PLFAs (nmol/g soil) in the reciprocal litter transplant and control treatment plots ($n=16$)

		18:1 w7c	18:1 w5c	a17:0	16:1 w5c	10Me 17:0	18:1 w9c	18:2 w6,9c	真菌 总数 Total fungi	真菌: 细菌 Fungi: Bacteria
5 月份土壤 呼吸速率	R^2	0.529	—	—	0.640	0.523	0.601	0.737	0.679	0.561
Soil respiration rate of Jun.2012	P	0.043	—	—	0.010	0.046	0.018	0.002	0.005	0.029
2012 年均 呼吸速率	R^2	0.518	0.432	0.512	0.629	—	0.599	0.687	0.653	0.658
Average soil respiration rate of 2012	P	0.040	0.094	0.043	0.009	—	0.014	0.003	0.006	0.006

表中只列出了相关性显著的 PLFA^[29]

3 讨论

通常,去除或添加凋落物会显著降低或提高土壤呼吸速率,而土壤呼吸速率降低或增加的幅度受地区(温带^[31]、亚热带^[14,32]、热带^[8,10])、森林类型^[5,7]以及实验延续时间^[4,15,31]的影响。本研究中,去除凋落物处理使米老排人工林土壤呼吸年通量显著减少 29.8%,与亚热带阔叶树种去除凋落物使土壤呼吸显著降低的结论一致^[20,22]。杉木人工林中去除凋落物小区土壤呼吸年通量仅降低 6.1% ($P>0.05$),低于湖南会同地区杉木人工林去除凋落物土壤呼吸速率降低 15.0%—22.6% 的幅度^[14,18]。这种差异可能与研究区域、处理延续的时间以及开始测量呼吸的时间不同有关^[13-14]。米老排和杉木凋落物互换后,杉木小区土壤呼吸年通量提高 37.8%,而米老排小区则降低了 14.2%,这说明不同数量和质量凋落物对土壤呼吸的影响存在显著差异,也与 Bréchet 等^[33]研究发现的树种凋落物对土壤呼吸有显著影响的结论一致。本研究区域,米老排凋落物年归还量接近杉木林的 2 倍,质量较高(C/N 低, Lignin/N 低),容易分解淋溶转化成可溶性有机碳,为微生物异养呼吸提供大量有效碳源^[29];而杉木(针叶)凋落物木质素化合物含量较高,分解较慢,易形成酸性粗腐殖质可能抑制土壤微生物活性,进而降低土壤呼吸速率^[34]。

众多研究表明,添加凋落物能激发并加快土壤

中原有机质的分解,从而大幅提高土壤呼吸速率^[5,8,10]。添加凋落物产生的激发效应可达到 11.5%—21.6%^[12]。本研究中,交换凋落物相对于去除凋落物处理产生了不同程度的激发效应(表 2)。虽然不能排除由凋落物输入而导致地下根系及菌根响应而增加的土壤呼吸^[10],然而米老排凋落物在杉木林次小区中的激发效应(16.7%)大于杉木凋落物在米老排次小区中的激发效应(9.8%)。这可能与单位面积上米老排凋落物较大的生物量输入的较多的碳有关;另外,米老排(阔叶)凋落物质量高,养分释放比杉木凋落物快,可能更容易激发土壤中原有有机碳矿化^[35]。两种林分中凋落物产生的激发效应显著地影响了土壤呼吸通量,预示着未来森林地上净生产力的增加将会显著地影响土壤地下碳库^[30]。

土壤温度和湿度是影响土壤呼吸最重要的环境因子,通过调节植物光合作用及根系生长代谢而影响土壤呼吸^[36-37]。本研究中米老排和杉木人工林小区土壤呼吸速率与土壤温度有显著的指数关系,而与土壤含水量负相关,表明较高的土壤湿度可能对土壤呼吸有一定抑制作用^[14],而土壤温度是驱动土壤呼吸最重要的环境因子(表 3)。但 Wang 等^[18]研究的杉木人工林不同凋落物处理土壤呼吸速率与土壤湿度无显著相关性,这可能与研究期间降雨量和土壤含水量的差异有关^[18]。去除或添加凋落物处理通常会破坏或加强凋落物层对表层土壤的保

护^[19,24],影响土壤表层温度和湿度^[15],进而影响土壤呼吸速率。本研究中,不同凋落物处理对土壤温度和湿度的影响均不显著,且去除和交换凋落物导致的土壤呼吸的改变量与土壤温度和湿度的改变量无显著相关性($P>0.05$),表明由不同凋落物处理引起的土壤温度和湿度的变化不足以影响土壤呼吸速率^[18]。整个观测期间降雨量大,土壤湿度保持在较高水平(图1),不利于土壤 CO_2 的扩散和排放^[38]。

凋落物作为地上部分重要的碳源,其淋溶或分解产生的易变性有机碳是微生物异养呼吸的重要碳源^[39-40]。去除和添加凋落物通常会引起可溶性有机碳的改变^[12-13,41]。本研究中,虽然不同凋落物处理对土壤 DOC 含量无显著影响,但两种林分不同处理 DOC 含量与土壤呼吸速率显著正相关,这与 Cleveland 等^[42]研究的由凋落物输入的可溶性有机碳与土壤呼吸速率显著相关的结论一致。此外,新鲜凋落物淋溶带来的 DOC 可能刺激土壤中原有有机质的矿化,提高土壤呼吸速率^[9-11]。本研究中两种凋落物均产生了正激发效应,导致次小区土壤呼吸速率增加的幅度高于凋落物分解自身产生的呼吸的量。凋落物交换导致杉木林土壤呼吸的大幅升高可能与高质量的米老排淋溶带来的大量的 DOC,刺激了土壤中原有有机碳的矿化有关^[8,11];同时,随着矿化速率的提高,土壤中 CO_2 浓度升高,这也可能导致根系及菌根生物量增加,进而增加根系和菌根呼吸速率;另外,由凋落物淋溶带来的氮、磷等养分提高了微生物分解底物的有效性,也会影响土壤呼吸速率^[10]。

已有研究发现,去除或添加凋落物会显著影响土壤微生物生物量和活性,导致土壤呼吸速率发生变化^[16-17]。本研究中,交换凋落物处理导致米老排小区土壤 MBC 含量以及微生物总 PLFA 生物量均有不同程度减少,而在杉木人工林不同程度增加^[29],这与 Ushio 等^[40]发现的不同树种(针叶和阔叶)对土壤微生物生物量具有显著影响结论一致。也与 Subke 等^[44]发现的土壤微生物添加高质量的凋落物能显著提高土壤中微生物生物量和活性的结论一致。Wang 等^[14]研究表明,杉木人工林中不同碳输入处理的土壤呼吸与微生物 PLFA 含量显著相关。本研究中两种林分交换凋落物和对照处理的土壤呼吸速率与主要的微生物 PLFA 含量显著相关,表明

凋落物交换引起的土壤微生物生物量的改变显著影响了土壤呼吸速率。值得注意的是,土壤微生物群落组成具有较强的时间变异^[45],本研究中土壤 PLFA 只有一次取样,不能完全反映微生物群落的动态变化,因而仅分析土壤呼吸与微生物生物量的关系。

研究表明,土壤呼吸的温度敏感性受到土壤生物、底物质量和底物供应等多种因素的显著调控,且会随着土壤水分、温度的变异而发生变化^[46]。本研究中,米老排小区去除和交换凋落物处理均导致土壤呼吸的温度敏感性 Q_{10} 值降低,这与 Boone 等^[30]研究结果一致,而与王光军等^[18]研究结果相反,表明在不同地区、不同森林类型以及不同观测时段,土壤呼吸对凋落物处理的响应存在差异。杉木人工林次小区 Q_{10} 显著低于 Zheng 等^[47]研究的我国亚热带森林 Q_{10} 值的变化范围(1.56—2.39),而与陈光水等^[48]报道的我国森林土壤呼吸的 Q_{10} 值范围在 1.33—5.53 之间的结论一致。

4 结论

亚热带人工林不同凋落物处理对土壤呼吸的影响及贡献因树种而异。去除和交换凋落物导致米老排人工林 CO_2 年排放量显著减少 29.8% 和 14.2%,杉木人工林则分别减少 6.1% 和增加 37.8%。两种林分交换凋落物处理产生了不同程度的激发效应,米老排凋落物相对于杉木凋落物具有更大的激发效应。两种林分不同凋落物处理土壤呼吸速率与土壤可溶性有机碳含量、微生物生物量碳含量以及主要微生物 PLFA 显著相关。

致谢:感谢福建省南平市峡阳国有林场翁贤权等同志对野外试验样地的维护和野外工作的大力支持!

References:

- [1] Davidson E A, Janssens I A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 2006, 440 (7081): 165-173.
- [2] Peng S S, Piao S L, Wang T, Sun J Y, Shen Z H. Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems in China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41 (5): 1008-1014.
- [3] Raich J W, Potter C S, Bhagawati D. Interannual variability in global soil respiration, 1980-94. *Global Change Biology*, 2002, 8: 800-812.
- [4] Xu S, Liu L, Sayer E J. Variability of aboveground litter inputs alters soil physicochemical and biological processes: a meta-

- analysis of litterfall-manipulation experiments. *Biogeosciences Discussions*, 2013, 10 (3): 5245-5272.
- [5] Sayer E J. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2006, 81 (1): 1-31.
- [6] Liu L L, King J S, Giardina C P. Effects of elevated concentrations of atmospheric CO₂ and tropospheric O₃ on leaf litter production and chemistry in trembling aspen and paper birch communities. *Tree Physiology*, 2005, 25: 1511-1522.
- [7] Kaneda S, Frouz J, Baldrian P, Cajthaml T, Kristůfek V. Does the addition of leaf litter affect soil respiration in the same way as addition of macrofauna excrements (of *Bibio marci* Diptera larvae) produced from the same litter? *Applied Soil Ecology*, 2013, 72: 7-13.
- [8] Sayer E J, Heard M S, Grant H K, Marthews T R, Tanner E V J. Soil carbon release enhanced by increased tropical forest litterfall. *Nature Climate Change*, 2011, 1: 304-307.
- [9] Schaefer D A, Feng W, Zou X. Plant carbon inputs and environmental factors strongly affect soil respiration in a subtropical forest of southwestern China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41 (5): 1000-1007.
- [10] Kuzyakov Y. Priming effects Interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42: 1363-1371.
- [11] Wang Q K. Responses of forest soil carbon pool and carbon cycle to the changes of carbon input. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22 (4): 1075-1081.
- [12] Crow S E, Lajtha K, Bowden R D, Yano Y, Brant J B, Caldwell B A, Sulzman E W. Increased coniferous needle inputs accelerate decomposition of soil carbon in an old-growth forest. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258 (10): 2224-2232.
- [13] Leff J W, Wieder W R, Taylor P G, Townsend A R, Nemergut D R, Grandy A S, Cleveland C C. Experimental litterfall manipulation drives large and rapid changes in soil carbon cycling in a wet tropical forest. *Global Change Biology*, 2012, 18 (9): 2969-2979.
- [14] Wang Q K, He T X, Wang S L, Liu L. Carbon input manipulation affects soil respiration and microbial community composition in a subtropical coniferous forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013, 178-179: 152-160.
- [15] Wang J S, Zhao X H, Zhang C Y, Kang F F, Shang B S, Chi Q J. Changes of carbon input influence soil respiration in a *Pinus tabulaeformis* plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (9): 2768-2777.
- [16] Li Y Q, Xu M, Sun O J, Cui W C. Effects of root and litter exclusion on soil CO₂ efflux and microbial biomass in wet tropical forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36 (12): 2111-2114.
- [17] Brant J B, Sulzman E W, Myrold D D. Microbial community utilization of added carbon substrates in response to long-term carbon input manipulation. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38 (8): 2219-2232.
- [18] Wang G J, Tian D L, Yan W D, Zhu F, Xiang W H, Liang X C. Effects of aboveground litter exclusion and addition on soil respiration in a *Cunninghamia lanceolata* plantation in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009a, 33 (4): 739-747.
- [19] Deng Q, Liu S Z, Liu J X, Meng Z, Zhang D Q. Contributions of litter-fall to soil respiration and its affecting factors in southern subtropical forests of China. *Advances in Earth Science*, 2007 (22): 976-986.
- [20] Yan W, Chen X, Tian D, Peng Y, Wang G, Zheng W. Impacts of changed litter inputs on soil CO₂ efflux in three forest types in central south China. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 58 (7): 750-757.
- [21] Wang L L, Song C C, Guo Y D, Liu D Y, Yang G S. Contribution of litter to soil respiration under different land-use types in Sanjiang Plain. *Environmental Science*, 2009, 30 (11): 3130-3135.
- [22] Wang G J, Tian D L, Yan W D, Zhu F, Li S Z. Impact of litter addition and exclusion on soil respiration in a *Liquidambar formosana* forest and a nearby *Cinnamomum camphora* forest of central southern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009b, 29 (2): 643-652.
- [23] Wang G J, Tian D L, Yan W D, Zhu F, Li S Z. Response of soil respirations to litterfall exclusion and addition in *Pinus massoniana* plantation in Hunan, China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009c, 45 (1): 27-30.
- [24] Zhou X G, Guo S L, Che S G, Zhang F, Zou J L, Zhang Y J, Nan Y F, Li Z, Pu H. Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (7): 2150-2157.
- [25] Hu Z H, Fan S H, Huang Z Q, He Z M, Yu Z P, Wang M H, Weng X Q. Effects of harvest residue management on soil respiration of Chinese fir plantations. *Scientia Silvae Sinicae*, 2013, 49(5): 25-29.
- [26] Sheng H, Yang Y S, Yang Z J, Chen G S, Xie J S, Guo J F, Zou S Q. The dynamic response of soil respiration to land-use in subtropical China. *Global Change Biology*, 2009, 16 (2): 1107-1121.
- [27] Curtin D, Wright C E, Beare M H, Mccallum F. M. Hot water-extractable nitrogen as an indicator of soil nitrogen availability. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70 (5): 1512-1521.
- [28] Joergensen R G. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the k_{EC} value. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28(1): 25-31.
- [29] Huang Z Q, Wan X H, He Z M, Yu Z P, Wang M H, Hu Z H, Yang Y S. Soil microbial biomass, community composition and soil nitrogen cycling in relation to tree species in subtropical China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 62: 68-75.
- [30] Sulzman E W, Brant J B, Bowden R D, Lajtha K. Contribution of aboveground litter, belowground litter, and rhizosphere respiration to total soil CO₂ efflux in an old growth coniferous forest. *Biogeochemistry*, 2005, 73 (1): 231-256.
- [31] Boone R D, Nadelhoffer K J, Canary J D, Kaye J P. Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature*, 1998, 396: 570-572.

- [32] Wang Q K, Liu S, Wang S. Debris manipulation alters soil CO₂ efflux in a subtropical plantation forest. *Geoderma*, 2013, 192: 316-322.
- [33] Br  chet L, Ponton S, Roy J, Freycon V, Co  teaux M M, Bonal D, Epron D. Do tree species characteristics influence soil respiration in tropical forests? A test based on 16 tree species planted in monospecific plots. *Plant and Soil*, 2009, 319 (1/2): 235-246.
- [34] Leckie S E, Prescott C E, Grayston S J. Forest floor microbial community response to tree species and fertilization of regenerating coniferous forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 2004, 34 (7): 1426-1435.
- [35] Zhang W D, Wang S L. Effects of NH₄⁺ and NO₃⁻ on litter and soil organic carbon decomposition in a Chinese fir plantation forest in South China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 47: 116-122.
- [36] Luo Y Q, Zhou X H. *Soil Respiration and the Environment*. London: Academic Press, 2006: 79-92.
- [37] Moyano F E, Kutsch W L, Rebmann C. Soil respiration fluxes in relation to photosynthetic activity in broad-leaf and needle-leaf forest stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148 (1): 135-143.
- [38] Luan J W, Liu S R, Zhu X L, Wang J X, Liu K. Roles of biotic and abiotic variables in determining spatial variation of soil respiration in secondary oak and planted pine forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 44 (1): 143-150.
- [39] Cleveland C C, Nemergut D R, Schmidt S K, Townsend A R. Increases in soil respiration following labile carbon additions linked to rapid shifts in soil microbial community composition. *Biogeochemistry*, 2006, 82 (3): 229-240.
- [40] Laik R, Kumar K, Das D K, Chaturvedi O P. Labile soil organic matter pools in a calcioriented after 18 years of afforestation by different plantations. *Applied Soil Ecology*, 2009, 42 (2): 71-78.
- [41] Park J H, Matzner E. Controls on the release of dissolved organic carbon and nitrogen from a deciduous forest floor investigated by manipulations of aboveground litter inputs and water flux. *Biogeochemistry*, 2003, 66: 265-286.
- [42] Cleveland C C, Reed S C, Townsend A R. Nutrient regulation of organic matter decomposition in a tropical rain forest. *Ecology*, 2006, 87: 492-503.
- [43] Ushio M, Wagai R, Balser T C, Kitayama K. Variations in the soil microbial community composition of a tropical montane forest ecosystem: Does tree species matter? *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40 (10): 2699-2702.
- [44] Subke J A, Hahn V, Battipaglia G, Linder S, Buchmann N, Cotrufo M F. Feedback interactions between needle litter decomposition and rhizosphere activity. *Oecologia*, 2004, 139 (4): 551-559.
- [45] Landesman W J, Dighton J. Response of soil microbial communities and the production of plant-available nitrogen to a two-year rainfall manipulation in the New Jersey Pinelands. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42 (10): 1751-1758.
- [46] Yang Q P, Xu M, Liu H S, Wang J S, Liu L X, Cui Y G, Zheng Y P. Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (8): 2301-2311.
- [47] Zheng Z M, Yu G R, Fu Y L, Wang Y S, Sun X M, Wang Y H. Temperature sensitivity of soil respiration is affected by prevailing climatic conditions and soil organic carbon content: A trans-China based case study. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41 (7): 1531-1540.
- [48] Chen G S, Yang Y S, L   P P, Zhang Y P, Qian X L. Regional patterns of soil respiration in China's forests. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (4): 1748-1761.

参考文献:

- [11] 王清奎. 碳输入方式对森林土壤碳库和碳循环的影响研究进展. *应用生态学报*, 2011, 22 (4): 1075-1081.
- [15] 汪金松, 赵秀海, 张春雨, 康峰峰, 尚宝山, 池青俊. 改变 C 源输入对油松人工林土壤呼吸的影响. *生态学报*, 2012, 32 (9): 2768-2777.
- [18] 王光军, 田大伦, 闫文德, 朱凡, 项文化, 梁小翠. 改变凋落物输入对杉木人工林土壤呼吸的短期影响. *植物生态学报* 2009, 33 (4): 739-747.
- [19] 邓琦, 刘世忠, 刘菊秀, 孟泽, 张德强. 南亚热带森林凋落物对土壤呼吸的贡献及其影响因素. *地球科学进展*, 2007(22): 976-986
- [21] 王丽丽, 宋长春, 郭跃东, 刘德燕, 杨桂生. 三江平原不同土地利用方式下凋落物对土壤呼吸的贡献. *环境科学*, 2009, 30 (11): 3130-3135.
- [22] 王光军, 田大伦, 闫文德, 朱凡, 李树战. 去除和添加凋落物对枫香 (*Liquidambar formosana*) 和樟树 (*Cinnamomum camphora*) 林土壤呼吸的影响. *生态学报*, 2009b, 29 (2): 643-652.
- [23] 王光军, 田大伦, 闫文德, 朱凡, 李树战. 马尾松林土壤呼吸对去除和添加凋落物处理的响应. *林业科学*, 2009c, 45 (1): 27-30.
- [24] 周小刚, 郭胜利, 车升国, 张芳, 邹俊亮, 张彦南, 南雅芳, 李泽, 蒲辉. 黄土高原刺槐人工林地凋落物对土壤呼吸的贡献. *生态学报*, 2012, 32 (7): 2150-2157.
- [25] 胡振宏, 范少辉, 黄志群, 何宗明, 余再鹏, 王民煌, 翁贤权. 采伐剩余物管理措施对杉木人工林土壤呼吸的影响. *林业科学*, 2013, 49(5): 25-29
- [46] 杨庆朋, 徐明, 刘洪升, 王劲松, 刘丽香, 迟永刚, 郑云普. 土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性. *生态学报*, 2011, 31 (8): 2301-2311.
- [48] 陈光水 杨玉盛, 吕萍萍, 张亿萍, 钱小兰. 中国森林土壤呼吸模式. *生态学报*, 2008, 28 (4): 1748-1761.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.10 May, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Landscape sustainability and landscape sustainability science ZHAO Wenwu, FANG Xuening (2453)
- A diagnostic framework of payments for ecosystem services and associated case studies
..... ZHU Wenbo, WANG Yang, LI Shuangcheng (2460)
- Progress in research of iron plaque on root surface of wetland plants
..... LIU Chunying, CHEN Chunli, GONG Xiaofeng, et al (2470)
- Ecological effects of predator chemical cues in aquatic ecosystem QIN Guangqiu, LU Haoliang, TANG Zhenzhu, et al (2481)
- Secondary substances and their ecological effects on seed dispersal in vertebrate-dispersed fleshy fruit plants
..... PAN Yang, LUO Fang, LU Changhu (2490)

Autecology & Fundamentals

- Responses of CH₄ uptake rates to simulated N deposition in a nature forest in mid-subtropical China
..... CHEN Chaoqi, YANG Zhijie, LIU Xiaofei, et al (2498)
- Ecological characteristics of *Phragmites australis* and their relationship to water-salt indicators in dry habitats of the southern
marginal zones of the Tarim Basin, China GONG Lu, ZHU Meiling, TASHPOLAT · Tiyp, et al (2509)
- Threshold effect of soil moisture on photosynthetic and physiological parameters in *Rosa xanthina* L. and its photosynthetic
productivity classification ZHANG Shuyong, XIANG Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (2519)
- Contrasting responses of soil respiration to litter manipulation in subtropical *Mytilaria laosensis* and *Cunninghamia lanceolata*
plantations YU Zaipeng, WAN Xiaohua, HU Zhenhong, et al (2529)
- Potassium application for increased jasmonic acid content and defense enzyme activities of wheat leaves infested by aphids
..... WANG Yi, ZHANG Yueling, SU Janwei, et al (2539)
- Combined effects of elevated O₃ concentration and reduced solar irradiance on photosynthetic activity and energy dissipation
of winter wheat SUN Jian, ZHENG Youfei, et al (2548)
- Colonization dynamics of *Bacillus cereus* B3-7 on wheat roots and control efficiency against sharp eyespot of wheat
..... HUANG Qiubin, ZHANG Ying, LIU Fengying, et al (2559)
- Quantitative study of water consumption characteristics of winter wheat under deficit irrigation
..... ZHANG Xingjuan, XUE Xuzhang, GUO Wenzhong, et al (2567)
- Assessment on the ecological fitness of anti-fungal transgenic rice LI Wei, GUO Jianfu, YUAN Hongxu, et al (2581)
- A proteomic analysis of *Arachis hypogaea* leaf in responses to enhanced ultraviolet-B radiation
..... DU Zhaokui, LI Junmin, ZHONG Zhangcheng, et al (2589)
- Composition of fatty acids from suspended particulate matter in southern South China Sea
..... LIU Huaxue, KE Changliang, LI Chunhou, et al (2599)
- The influence of age, flock size, habitat, and weather on the time budget and the daily rhythm of wintering Siberian Cranes
in Poyang Lake YUAN Fangkai, LI Yankuo, LI Fengshan, et al (2608)
- The energy budget and water metabolism heat regulation of tree sparrows *Passer montanus* of toba compensatory regeneration
..... YANG Zhihong, WU Qingming, YANG Miao, et al (2617)
- The effect of low-dose of pesticide on predation of spider and its preliminary mechanisms LI Rui, LI Na, LIU Jia, et al (2629)
- Response of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) to overwintering protection and
its controlling effect on alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae: Alternanthera)
..... LIU Yufang, WANG Xiuxiu, LI Fei, et al (2638)

Population, Community and Ecosystem

- The effect of climate change on the population fluctuation of the Siberian crane in Poyang Lake LI Yankuo, QIAN Fawen, SHAN Jihong, et al (2645)
- Characteristics of soil phosphorus fractions in wetlands with various restoration age in caizi lake, Anhui Province LIU Wenjing, ZHANG Pingjiu, DONG Guozheng, et al (2654)
- Multivariate analysis of the relations between phytoplankton assemblages and environmental factors in Chagan Lake Wetland LI Ranran, ZHANG Guangxin, ZHANG Lei (2663)
- Diversity of methanogen communities in tidal freshwater and brackish marsh soil in the Min River estuary ZENG Zhihua, YANG Minhe, SHE Chenxing, et al (2674)
- The influence of environment and phylogenic background on variation in leaf and fine root traits in the Yanhe River catchment, Shaanxi, China ZHENG Ying, WEN Zhongming, SONG Guang, et al (2682)
- Changes of soil properties in re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in hengyang of Hunan Province, South-central China YANG Ning, ZOU Dongsheng, YANG Manyuan, et al (2693)
- Vulnerability assessment on the mangrove ecosystems in qinzhou bay under sea level rise LI Shasha, MENG Xianwei, GE Zhenming, et al (2702)
- Dynamics of biomass and productivity of three major plantation types in southern China DU Hu, ZENG Fuping, WANG Kelin, et al (2712)
- Fungal diversity in *Cunninghamia lanceolata* plantation soil HE Yuanhao, ZHOU Guoying, WANG Shenjie, et al (2725)
- Response of sandy vegetation characteristics to precipitation change in Horqin Sandy Land ZHANG Lamei, LIU Xinping, ZHAO Xueyong, et al (2737)
- Characteristics of carbon storage and sequestration of *Robinia pseudoacacia* forest land converted by farmland in the Hilly Loess Plateau Region SHEN Jiapeng, ZHANG Wenhui (2746)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Forest microclimate change along with the succession and response to climate change in south subtropical region LIU Xiaodong, ZHOU Guoyi, CHEN Xiuzhi, et al (2755)
- Drought variations of winter wheat in different growth stages and effects of climate trend in Huang-Huai-Hai Plain, China XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (2765)

Resource and Industrial Ecology

- A method of environment assessment of mineral resources planning for shanxi provinces base on GIS LIU Wei, DU Peijun, LI Yongfeng (2775)
- A new approach to assess the water footprint of hydropower: a case study of the Miyun reservoir in China ZHAO Dandan, LIU Junguo, ZHAO Xu (2787)

《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 祖元刚

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 10 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 10 (May, 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	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
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 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	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元