

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

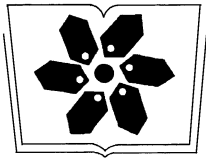
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第6期 Vol.31 No.6 **2011**

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 31 卷 第 6 期 2011 年 3 月 (半月刊)

目 次

臭氧胁迫对水稻生长以及 C、N、S 元素分配的影响	郑飞翔,王效科,侯培强,等 (1479)
高含氮稻田深层土壤的氨氧化古菌和厌氧氨氧化菌共存及对氮循环的影响	王 雨,祝贵兵,王朝旭,等 (1487)
气候年际变率对全球植被平均分布的影响	邵 璞,曾晓东 (1494)
模拟升温 and 放牧对高寒草甸土壤有机碳氮组分和微生物生物量的影响	王 蓓,孙 庚,罗 鹏,等 (1506)
广州城区生态安全岛典型植物群落结构及物种多样性	莫 丹,管东生,黄康有,等 (1515)
中亚热带湿地松人工林生长过程	马泽清,刘琪璟,王辉民,等 (1525)
潜流人工湿地中植物对氮磷净化的影响	刘树元,阎百兴,王莉霞 (1538)
模拟氮沉降对两种竹林不同凋落物组分分解过程养分释放的影响	涂利华,胡庭兴,张 健,等 (1547)
苔藓植物对贵州丹寨汞矿区汞污染的生态监测	刘荣相,王智慧,张朝晖 (1558)
三峡库区泥、沙沉降对低位狗牙根种群的影响	李 强,丁武泉,朱启红,等 (1567)
上海崇明东滩互花米草种子产量及其萌发对温度的响应	祝振昌,张利权,肖德荣 (1574)
栲-木荷林凋落叶混合分解对土壤有机碳的影响	张晓鹏,潘开文,王进闯,等 (1582)
荒漠化对毛乌素沙地土壤呼吸及生态系统碳固持的影响	丁金枝,来利明,赵学春,等 (1594)
黄土丘陵沟壑区小流域土壤有机碳空间分布及其影响因素	孙文义,郭胜利 (1604)
种间互作和施氮对蚕豆/玉米间作生态系统地上部和地下部生长的影响	李玉英,胡汉升,程 序,等 (1617)
测墒补灌对冬小麦氮素积累与转运及籽粒产量的影响	韩占江,于振文,王 东,等 (1631)
植被生化组分光谱模型抗土壤背景的能力	孙 林,程丽娟 (1641)
北方两省农牧交错带沙棘根围 AM 真菌与球囊霉素空间分布	贺学礼,陈 程,何 博 (1653)
基于水源涵养的流域适宜森林覆盖率研究——以平通河流域(平武段)为例	朱志芳,龚固堂,陈俊华,等 (1662)
黑龙江大兴安岭呼中林区火烧点格局分析及影响因素	刘志华,杨 健,贺红士,等 (1669)
大兴安岭小尺度草甸火燃烧效率	王明玉,舒立福,宋光辉,等 (1678)
长江口中华鲟自然保护区底层鱼类的群落结构特征	张 涛,庄 平,章龙珍,等 (1687)
骨顶鸡等游禽对不同的人为干扰的行为响应	张微微,马建章,李金波 (1695)
光周期对白头鹇体重、器官重量和能量代谢的影响	倪小英,林 琳,周菲菲,等 (1703)
应用稳定同位素技术分析华北部分地区第三代棉铃虫虫源性质	叶乐夫,付 雪,谢宝瑜,等 (1714)
西花蓟马对蔬菜寄主的选择性	袁成明,郅军锐,曹 宇,等 (1720)
基于 Cyt b 基因序列分析的松毛虫种群遗传结构研究	高宝嘉,张学卫,周国娜,等 (1727)
沼液的定价方法及其应用效果	张昌爱,刘 英,曹 曼,等 (1735)
垃圾堆肥基质对不同草坪植物生态及质量特征的影响	赵树兰,廉 菲,多立安 (1742)
五氯酚在稻田中的降解动态及生物有效性	王诗生,李德鹏 (1749)
专论与综述	
景观遗传学:概念与方法	薛亚东,李 丽,吴巩胜,等 (1756)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 284 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 31 * 2011-03



封面图说:美丽优雅的新疆夏尔西里森林草地原始景观。夏尔西里国家级自然保护区建立在新疆博乐北部山区无人干扰的中哈边境上,图中雪地云杉为当地的优势树种。

彩图提供:国家林业局陈建伟教授 E-mail: cites.chenjw@163.com

栲-木荷林凋落叶混合分解对土壤有机碳的影响

张晓鹏¹, 潘开文^{1,*}, 王进闯¹, 陈其兵²

(1. 中国科学院成都生物研究所恢复生态学重点实验室, 成都 610041; 2. 四川农业大学风景园林学院, 成都 611100)

摘要:用网袋法在 20℃ 条件下将润楠、栲、木荷凋落叶及其混合物(润楠+栲、润楠+木荷、栲+木荷、润楠+栲+木荷)进行室内培养,测定在培养第 14、42 和 84 天时凋落叶残留率及其培养下土壤总有机碳(TOC)、可溶性有机碳(DOC)、微生物量碳(MBC),研究其相关性。结果表明:培养到 14d,润楠+栲、栲+木荷、润楠+栲+木荷混合凋落叶显著提高了土壤 TOC;润楠+栲、木荷、润楠+栲凋落叶显著抑制了土壤 DOC;润楠+栲+木荷凋落叶显著增加了土壤 MBC,润楠+栲和润楠+木荷凋落叶显著降低了土壤 MBC。在培养到 42d,仅润楠+木荷、栲+木荷混合凋落叶显著提高了土壤 TOC 和 DOC;仅润楠+栲、润楠+木荷和润楠凋落叶显著减少了土壤 MBC。在培养到 84 天,所有凋落叶都对土壤 TOC 与 DOC 无显著影响,栲+木荷、润楠+栲+木荷、木荷、润楠+栲凋落叶显著增加了土壤 MBC,栲凋落叶显著减少了土壤 MBC;凋落叶分解快慢为栲+木荷>木荷>润楠+栲+木荷>润楠+栲>栲>润楠+木荷>润楠。凋落叶分解率和土壤 TOC、DOC 及 MBC 在不同培养时期,具有不同的相关性。结果显示,凋落叶种类和混合对凋落叶分解以及对土壤 TOC、DOC 和 MBC 的影响效应包括促进、抑制和无显著影响,这种效应与凋落叶的质量及其分解过程中的养分释放有关。

关键词:凋落物质量;分解率;总有机碳;可溶性有机碳;微生物量碳

Effects of decomposition of mixed leaf litters of the *Castanopsis platyacantha*-*Schima sinensis* forest on soil organic carbon

ZHANG Xiaopeng¹, PAN Kaiwen^{1,*}, WANG Jinchuang¹, CHEN Qibing²

¹ ECORES Laboratory, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

² College of Landscape Architecture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611100, China

Abstract: Forest soils contain about 45% carbon (C) of the terrestrial soils, and thereby minor changes of C in forest soils can significantly alter the content of atmosphere carbon dioxide (CO₂). Forest litters are the principal source of C pool in forest soils, which can change C and nitrogen (N) transformations by altering the soil moisture, temperature, pH, and nitrogen and N sources into soil during the process of decomposition. However, the effects of forest litters, especially litter mixtures on soil C, including total organic C (TOC), dissolved organic C (DOC), microbial biomass C (MBC) are not well understood in the southwest China.

Mixed leaf litters from dominated trees of *Castanopsis platyacantha*-*Schima sinensis* forest in Mt. Wawu National Forest Park, i. e. *Machilus pingii* (MP), *Castanopsis platyacantha* (CP), *Schima sinensis* (SS), MP+CP (MPCP), MP+SS (MPSS), CP+SS (CPSS), and MP+CP+SS (MCS), were incubated at 20 °C using the litter bag method in the laboratory. Mass remaining of leaf litters, and TOC, DOC and MBC in the soils were studied at 14, 42 and 84 days of incubation, and correlations of TOC, DOC and MBC were also determined.

The results showed that the litters decomposed quickly with an incubation of 0—14 days, and slowly with an incubation of 14—42 days during the period of 84-day incubation. The rates of mass remaining of MP litters were the highest among all litter treatments, being 97.3%, 96.3% and 93.4% and those of CP+SS litters the lowest, being 91.1%, 88.6% and 85.3% at 14, 42 and 84 days of incubation. All litters increased the decomposition rates during the

基金项目: 国家“十一五”科技攻关项目子课题资助项目(2006BAC01A15);中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX2-XB2-02-01-03)

收稿日期: 2010-06-13; **修订日期:** 2011-01-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pankw@cib.ac.cn

84 days of incubation, except for MPSS at 14, 42 and 84 days of incubation and MCS at 42 days of incubation. The decomposition rates of leaf litters followed the order by CPSS > SS > MCS > MPCP > CP > MPSS > MP at the end of incubation. Litter decomposition rates were related to litter physical properties such as hardness and permeability. Compared with the treatment without the litters, TOC was significantly stimulated by the decomposing litters of MPCP, CPSS and MCS, but DOC was significantly inhibited by these litters after 14-day incubation. MBC was significantly increased by the decomposing litters of MCS, and sharply decreased by the MPCP and MPS litters in the first 14-day of incubation. An increase of TOC and DOC was only found in the soils with the decomposing litters of MPSS and CPSS after 42-day incubation. However, only the litters of MPCP, MPSS and MP significantly reduced soil MBC. There were no significant impacts of all the leaf litters on soil TOC and DOC, although the litters of CPSS, MCS, SS and MPCP significantly promoted MBC, and those of CP significantly depressed MBC after the 84-day incubation.

Organic C in the soils with the litter mixture was higher than that with the addition of litters of individual tree species. TOC was significantly stimulated by all of the mixed litters while DOC was significantly promoted by CPSS after the 14-day incubation. TOC increased in the soils with CPSS, and DOC was enhanced by the MPCP, MPSS and CPSS after the 42-day incubation. MPSS sharply promoted soil TOC and DOC, and MPCP, CPSS and MCS significantly stimulated MBC at the end of incubation.

The relationships among the leaf litter decomposition rates, TOC, DOC and MBC differed at different stages during the process of decomposition. The results suggested that the effects of litter types and mixtures on the litter decomposition rates, and soil TOC, DOC and MBC could be positive, negative and insignificant, which were dependent on the litter quality and nutrients released from the litters during the decomposition.

Key Words: litter quality; decomposition rate; total organic carbon; dissolved organic carbon; microbial biomass carbon

土壤碳库是陆地生态系统碳库的最大组成部分,其微小变化会对大气 CO₂ 浓度造成巨大的影响。土壤有机碳来自植物分泌物及残体的归还,其储量主要受植被光合利用率、气候、土壤以及人类活动等因素的影响^[1-3]。森林生态系统光合作用产物大部分分配在地上,因此,森林凋落物是森林土壤有机碳库的主要来源^[4]。凋落物分解可以通过改变土壤湿度、温度、pH、通气状况和可被微生物利用的 C、N 源,进而影响土壤呼吸^[5]与碳、氮矿化^[6-7]。但目前关于凋落物分解对土壤有机碳的研究较少^[8],且大多是针对单种凋落物的影响研究。自然森林生态系统的凋落物往往由多个物种组成,混合凋落物对其分解的影响并没有一致的结论^[9-11],包括混合可加速凋落物分解^[9-12]、抑制凋落物分解^[13-14]或对凋落物的分解没有显著影响^[15-17]。因此,与单一凋落物相比,混合凋落物可能对土壤有机碳有不同的影响,研究混合凋落物分解过程及其对土壤有机碳的影响,对于提出减少土壤碳排放,增加土壤碳固定的管理对策与措施,进而减少温室效应具有重要的现实意义。

桫欏木荷林(*Castanopsis platyacantha*-*Schima sinensis* forest)是亚热带常绿阔叶林中最主要的群落类型之一,在峨眉山和瓦屋山等地区保存较为完整^[18]。有关该类森林的林内小气候^[19]、林下物种多样性^[20]、土壤氮矿化^[21]、群落动态^[22]等已有报道,但其凋落物分解及其对土壤有机碳的影响仍不清楚。本研究以瓦屋山地区桫欏木荷林中 3 种优势建群常绿阔叶树种桫欏(*Castanopsis platyacantha*)、木荷(*Schima sinensis*)和润楠(*Machilus pingii*)的凋落叶为研究材料,通过设立不同的凋落叶组合,研究其分解动态及其对土壤有机碳的影响,为桫欏木荷林凋落物及碳管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集地概况

样品采集地位于瓦屋山中山区的木姜杠工区,海拔 1600m 左右。年均温 10—14℃,年日照不足 800 h,降水量 2397.7 mm,降水日 199—226 d,相对湿度 85%—90%^[18-19, 22]。该区成土母质是晚古生界二迭纪至元古

界的砂岩、玄武岩、花岗岩等古老岩层风化的残积物。土壤为山地黄壤^[22]。

采样区的栲木荷林为次生林,其群落结构^[22]、小气候^[19]、土壤含水率^[18]、林下物种多样性^[20]、土壤氮矿化^[21]等特征已有报道。林冠层主要物种为栲、木荷、润楠、石砾(*Lithocarpus hancei*),林下主要物种包括大叶冬青(*Ilex macrocarpa*)、冬青卫矛(*Euonymus japonicus*)、山苍子(*Litsea cubeba*)、黄花远志(*Polygala arillata*)和四川悬钩子(*Rubus* sp.)等,沟谷林下主要物种为箭竹(*Fargesia spathacea*)^[18-22]。

1.2 土壤及凋落叶采集

2008年11月,在栲-木荷林采样区,随机设置10个1m×1m的样方,先将样方中的凋落物层清除,然后取0—10cm的表层土,带回实验室后,混合均匀,风干,过2mm筛,测定土壤理化性质(表1),其余保存备用。

表1 土壤基本理化性质

Table 1 Chemical and physical characteristics of soil

	有机碳/(mg/g) Organic carbon	总氮/(mg/g) Total N	pH	容重/(g/cm ³) Bulk density	饱和含水量/% Saturation moisture content
土壤 Soil	147.33±2.03	3.77±0.03	3.26±0.12	0.51±0.00	155.64±1.97

在采样区,随机设置10个1m×1m的样方,采集栲、木荷、润楠三种新鲜凋落叶,带回实验室后,分种类混合均匀,在60℃下烘干至恒重,取部分磨碎,过0.25mm筛,测定凋落叶的初始性质(表2),其余保存备用。

1.3 室内培养

1.3.1 凋落叶组合

将凋落叶用剪刀剪成1cm²大小的碎片^[21,23],按照0种、1种、2种、3种凋落叶进行组合,包括对照(无凋落叶)、润楠、栲、木荷、润楠+栲、润楠+木荷、栲+木荷、润楠+栲+木荷等8个组合。每个组合的凋落叶质量为1g,混合凋落叶组合中各凋落叶的质量比为1:1或1:1:1,按此规则称取凋落叶,混合均匀备用。

表2 凋落叶初始性质

Table 2 Initial properties of leaf litter

凋落物种类 Kind of litter	总碳/(mg/g) Total C	总氮/(mg/g) Total N	木质素/(mg/g) Lignin	酚酸/(mg/g) Phenolic acid	碳/氮 C/N	木质素/氮 Lignin/N
润楠	496.9±5.23 b	10.82±0.23 b	221.1±6.23 b	35.64±0.54 c	45.94±1.26 a	20.42±0.26 b
栲	482.8±5.21 c	13.71±0.08 a	268.6±7.29 a	55.94±1.07 b	35.21±0.53 b	19.58±0.73 b
木荷	513.7±4.18 a	9.34±0.03 c	249.3±9.28 a	85.61±3.13 a	54.98±0.15 a	26.67±1.64 a

表中数值为平均值±SE,数值后的字母为进行LSD多重比较时在 $\alpha = 0.05$ 水平上的差异显著性,同一列中不同字母表示差异显著;

栲;*Castanopsis platyacantha*, 木荷;*Schima sinensis*, 润楠;*Machilus pingii*

1.3.2 土壤及凋落叶培养

将采集带回实验室并过2mm筛的土壤混合均匀,随机称取100g土壤放入容积为250mL的培养杯中,调节土壤含水量至饱和含水量的60%,将凋落叶混合均匀后装入孔径为1mm的环形尼龙网袋中,置于土壤表面^[24],放入20℃恒温培养箱中,每隔2d称1次培养杯,根据失重补充水分^[13]。

在培养的第14、42、84天取样^[24],每次每个处理取出4个重复样本,用于凋落叶分解和土壤养分性质等测定。

1.4 样品测定方法

1.4.1 土壤理化性质

总有机碳(重铬酸钾容量法,GB9834288),土壤总氮(凯氏定氮法)^[25],土壤pH值(水浸法,GB7859287),土壤容重(环刀法,GB7835-87),土壤饱和含水量(环刀法)^[25],土壤可溶性有机碳(水浸提法)^[26],土壤微生物量碳(熏蒸浸提法)^[27],土壤含水量(质量法,GB7883287)。

1.4.2 凋落叶理化性质

总有机碳(重铬酸钾容量法,GB9834288),全氮(凯氏定氮法)^[25],木质素(浓硫酸水解法)^[28],总酚含量

(Folin-Ciocalteu 比色法)^[29],凋落叶失重量为起始重量和分解后重量之差,凋落叶残留率为起始重量与分解后重量之差与起始重量的百分比^[30-31]。

1.4.3 凋落叶残留率和土壤碳含量预测值

$$k_{\text{exp}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^K k_i$$

式中, N 为凋落叶种类数目; k_{exp} 为不同凋落叶混合分解时的凋落叶残留率或对应的土壤碳含量的预测值; K 为不同凋落叶单独分解时的凋落叶残留率或对应的土壤碳含量的实测值^[32]。

1.5 数据分析

用 SPSS16.0 统计软件进行单因素方差、LSD 多重比较和相关性分析。

2 结果

2.1 凋落叶及土壤初始性质

本实验用于培养的土壤初始有机碳、总氮、饱和含水量均较高,而 pH 值、容重较低(表 1),反映了该土壤肥沃,富含腐殖质、腐殖酸,团聚结构较好,能吸附较多的水分。

凋落叶初始总碳含量为木荷>润楠>栲($P<0.05$);总氮含量栲>润楠>木荷($P<0.05$);木质素含量栲>木荷>润楠,栲与木荷的木质素含量差异不显著($P>0.05$),但二者均显著高于润楠($P<0.05$);酚酸含量为木荷>栲>润楠($P<0.05$);润楠与木荷 C/N 显著高于栲($P<0.05$),而木荷的木质素/N 显著高于润楠和栲($P<0.05$)(表 2)。

2.2 凋落叶残留率

凋落叶分解最快的阶段在第 0—14 天,第 42—84 天的次之,第 14—42 天的最慢;其中凋落叶在第 0—14 天的失重率显著高于后两个阶段($P<0.01$);后两个阶段凋落叶失重率差异不显著($P>0.05$)(图 1)。润楠凋落叶在第 14、42 和 84 天的残留率分别为 97.34%、96.26% 和 93.39%,分解速率最慢,显著低于其他凋落叶的分解率($P<0.01$);栲+木荷凋落叶在第 14、42 和 84 天的残留率分别为 91.06%、88.56% 和 85.25%,除与木荷凋落叶在第 2、3 阶段差异不显著外($P>0.05$),均显著高于其他凋落叶的分解率($P<0.01$)(图 1)。

培养 84d 后,凋落叶分解快慢为栲+木荷>木荷>润楠+栲+木荷>润楠+栲>栲>润楠+木荷>润楠(图 1);润楠+栲、栲+木荷、润楠+栲+木荷凋落叶残留率的实测值

都显著低于预测值($P<0.05$),但润楠+木荷混合凋落叶的残留率的实测值与预测值没有显著差异($P>0.05$)(表 3)。

2.3 凋落叶分解对土壤碳的影响及相关性

2.3.1 对土壤总有机碳的影响

土壤总有机碳(TOC)随培养时间显著降低($P<0.01$)。用润楠+木荷、栲+木荷凋落叶培养的土壤比用其他凋落叶培养的土壤 TOC 含量高(图 2);在培养到第 14 天,用栲+木荷凋落叶培养的土壤 TOC 含量最高,为 143.78g/kg;在培养到第 42 和 84 天,用润楠+木荷凋落叶培养的土壤 TOC 含量最高,分别为 139.73 和 134.28 g/kg;用栲、木荷凋落叶培养的土壤比用其他凋落叶培养的土壤 TOC 含量低,在培养到第 14 和 84 天时,栲凋落叶下的土壤 TOC 含量最低,分别为 136.30 和 127.93g/kg;在培养到第 42 天,木荷凋落叶下的土壤 TOC 含量最低,为 132.68g/kg(图 2)。

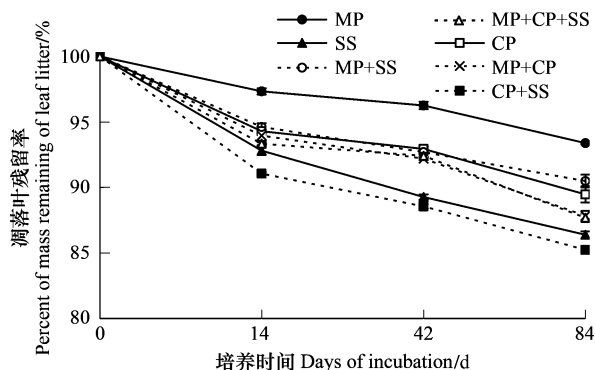


图 1 凋落叶残留率动态

Fig. 1 Dynamics of mass remaining of leaf litter

MP: 润楠 *Machilus pingii*, CP: 栲 *Castanopsis platyacantha*, SS: 木荷 *Schima sinensis*, “+”代表组合

培养 14d 时,润楠+桫、润楠+木荷、桫+木荷、润楠+桫+木荷等混合凋落叶下的土壤 TOC 实测值显著高于预测值 ($P<0.05$);培养 42d 时,仅桫+木荷凋落叶下的土壤 TOC 实测值显著高于预测值 ($P<0.05$);培养 84d 时,仅润楠+木荷凋落叶下的土壤 TOC 实测值显著高于预测值 ($P<0.05$) (表 4)。

与对照相比,培养 14d,润楠+桫、桫+木荷、润楠+桫+木荷等混合凋落叶显著提高了土壤 TOC,而其余的凋落叶则对土壤 TOC 没有显著影响;培养 42d,仅润楠+木荷、桫+木荷混合凋落叶显著提高了土壤 TOC;培养 84d,所有凋落叶都对土壤 TOC 没有显著影响 (图 2)。

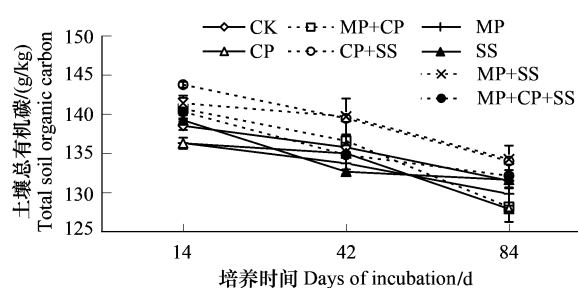


图 2 凋落叶分解对土壤总有机碳含量的影响

Fig. 2 The effects of leaf litter on total organic carbon in soil

ck: 对照, MP: 润楠 *Machilus pingii*, CP: 桫 *Castanopsis platyacantha*, SS: 木荷 *Schima sinensis*, “+”代表组合

表 3 凋落叶残留率实测值与预测值比较

Table 3 Comparison of percent of mass remaining of leaf litter between predicted and true values

		培养时间 Days of incubation/d		
		14	42	84
MP+CP 润楠+桫	实测值	93.96±0.39b	92.20±0.12b	87.84±0.37b
	预测值	95.82±0.18a	94.61±0.16a	91.54±0.28a
MP+SS 润楠+木荷	实测值	94.62±0.29a	92.70±0.32a	90.50±0.49a
	预测值	95.07±0.27a	92.77±0.04a	89.90±0.10a
CP+SS 桫+木荷	实测值	91.06±0.11b	88.56±0.17b	85.25±0.31b
	预测值	93.55±0.22a	91.11±0.16a	87.94±0.32a
MP+CP+SS	实测值	93.34±0.06b	92.42±0.67a	87.69±0.46b
	预测值	94.81±0.22a	92.83±0.08a	89.76±0.18a

表中数值为平均值±SE,数值后的字母为进行 LSD 多重比较时在 $\alpha = 0.05$ 水平上的差异显著性,同一列中不同字母表示差异显著;
桫: *Castanopsis platyacantha*, 木荷: *Schima sinensis*, 润楠: *Machilus pingii*

表 4 土壤总有机碳实测值与预测值比较

Table 4 Comparison of total organic carbon in soil between predicted and true values

		培养时间 Days of incubation/d		
		14	42	84
MP+CP 润楠+桫	实测值	140.70±1.39a	136.62±0.70a	128.18±1.90a
	预测值	136.31±0.64b	134.38±1.07a	128.89±0.14a
MP+SS 润楠+木荷	实测值	141.42±0.97a	139.73±2.28a	134.28±0.33a
	预测值	137.79±0.43b	133.21±0.89a	130.74±0.44b
CP+SS 桫+木荷	实测值	143.78±0.35a	139.48±0.42a	134.03±1.98a
	预测值	137.78±0.11b	133.85±0.43b	129.78±0.80a
MP+CP+SS	实测值	140.32±0.82a	134.83±0.84a	132.15±1.48a
	预测值	137.29±0.26b	133.81±0.67a	129.81±0.41a

表中数值为平均值±SE,数值后的字母为进行 LSD 多重比较时在 $\alpha = 0.05$ 水平上的差异显著性,同一列中不同字母表示差异显著;
桫: *Castanopsis platyacantha*, 木荷: *Schima sinensis*, 润楠: *Machilus pingii*

2.3.2 对土壤可溶性有机碳的影响

用桫+木荷凋落叶培养的土壤可溶性有机碳 (DOC) 比用其他凋落叶的高,在第 14、42 和 84 天,土壤 DOC 含量为 136.99、137.48 和 130.58 mg/kg。培养到第 14、42 和 84 天,使土壤 DOC 最低的凋落叶分别是桫 (123.31 mg/kg)、木荷 (116.61 mg/kg) 和润楠 (122.12 mg/kg) (图 3)。

不同凋落叶下的土壤 DOC 含量随时间的变化趋势不同,润楠+桫、润楠+木荷、桫+木荷凋落叶下的土壤

DOC 先上升后下降;栲、木荷凋落叶下的土壤 DOC 先下降后上升;润楠、润楠+栲+木荷凋落叶下的土壤 DOC 持续下降(图 3)。

在培养的第 14 天,仅栲+木荷凋落叶下的土壤 DOC 实测值显著高于预测值($P<0.05$);在培养的第 42 天,仅润楠+栲、润楠+木荷、栲+木荷凋落叶下的土壤 DOC 实测值显著高于预测值($P<0.05$);在培养的第 84 天,仅润楠+木荷凋落叶下的土壤 DOC 实测值显著高于预测值($P<0.05$)(表 5)。

与对照相比,培养 14d,润楠、栲、木荷、润楠+栲凋落叶显著抑制了土壤 DOC,其余凋落叶对土壤 DOC 的影响不显著;培养 42d,仅润楠+木荷、栲+木荷凋落叶显著增加了土壤 DOC,其余凋落叶对土壤 DOC 没有显著的影响;培养 84d,所有凋落叶都对土壤 DOC 无显著影响(图 3)。

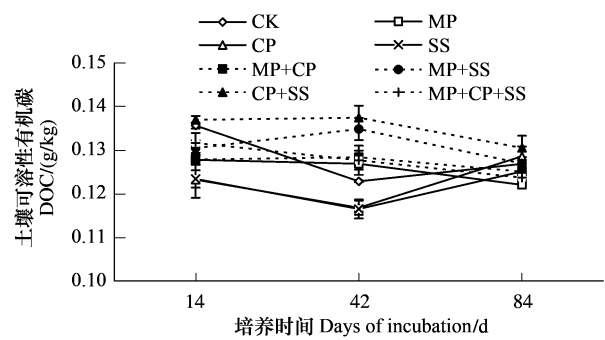


图 3 凋落叶分解对土壤可溶性有机碳含量的影响

Fig. 3 The effects of leaf litter on dissolved organic carbon in soil

表 5 土壤可溶性有机碳实测值与预测值比较

Table 5 Comparison of dissolved organic carbon in soil between predicted and true values

		培养时间 Days of incubation/d		
		14	42	84
MP+CP 润楠+栲	实测值	0.128±0.001a	0.128±0.002a	0.125±0.001a
	预测值	0.126±0.003a	0.122±0.001b	0.125±0.001a
MP+SS 润楠+木荷	实测值	0.131±0.002a	0.135±0.003a	0.127±0.001a
	预测值	0.126±0.001a	0.122±0.002b	0.124±0.001b
CP+SS 栲+木荷	实测值	0.137±0.002a	0.137±0.003a	0.131±0.003a
	预测值	0.123±0.002b	0.117±0.001b	0.127±0.001a
MP+CP+SS	实测值	0.132±0.002a	0.128±0.003a	0.124±0.001a
	预测值	0.125±0.002a	0.121±0.001a	0.125±0.001a

表中数值为平均值±SE,数值后的字母为进行 LSD 多重比较时在 $\alpha = 0.05$ 水平上的差异显著性,同一列中不同字母表示差异显著;

栲: *Castanopsis platyacantha*, 木荷: *Schima sinensis*, 润楠: *Machilus pingii*

2.3.3 对土壤微生物量碳的影响

土壤微生物量碳(MBC)随培养时间显著降低($P<0.01$),但各凋落叶下的土壤 MBC 的变化趋势不同,润楠+栲凋落叶培养下的土壤 MBC 先下降后上升,而其他凋落叶培养下的土壤 MBC 则持续下降(图 4)。

培养第 14 和 42 天,混合凋落叶下土壤 MBC 实测值与预测值无显著差异($P>0.05$);培养第 84 天,除润楠+木荷凋落叶下的土壤 MBC 实测值显著低于预测值外,其他凋落叶下的土壤 MBC 实测值都显著高于预测值($P<0.05$)(表 6)。

与对照相比,培养 14d,凋落叶下土壤 MBC 与对照无显著差异($P>0.05$);培养 42d,润楠+栲、润楠+木荷和润楠凋落叶显著抑制了土壤 MBC($P<0.05$),其余的则无显著影响;培养 84d,栲+木荷、润楠+栲+木荷、木荷、润楠+栲凋落叶显著提高了土壤 MBC($P<0.05$),栲凋落叶显著抑制了土壤 MBC($P<0.05$)(图 4)。

2.3.4 相关性分析

在培养的第 14 天,土壤 TOC 与凋落叶分解率、土壤 DOC 呈显著正相关($P<0.05$);培养第 42 天,土壤 DOC 与土壤 TOC 呈显著正相关($P<0.05$);培养第 84 天,凋落叶分解率与土壤 MBC 呈显著正相关($P<0.05$)

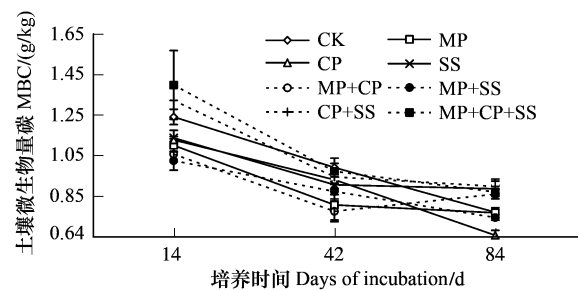


图 4 凋落叶分解对土壤微生物量碳含量的影响

Fig. 4 The effects of leaf litter on microbial biomass carbon in soil

(表 7)。

表 6 土壤微生物量碳实测值与预测值比较

Table 6 Comparison of microbial biomass carbon in soil between predicted and true values

		培养时间 Days of incubation/d		
		14	42	84
MP+CP 润楠+栲	实测值	1.058±0.038a	0.776±0.030a	0.861±0.023a
	预测值	1.115±0.012a	0.870±0.032a	0.713±0.022b
MP+SS 润楠+木荷	实测值	1.026±0.047a	0.874±0.021a	0.745±0.013b
	预测值	1.120±0.012a	0.857±0.016a	0.828±0.016a
CP+SS 栲+木荷	实测值	1.323±0.087a	0.946±0.018a	0.900±0.036a
	预测值	1.133±0.021a	0.919±0.018a	0.772±0.007b
MP+CP+SS 润楠+栲+木荷	实测值	1.399±0.017a	0.973±0.038a	0.871±0.015a
	预测值	1.123±0.005a	0.882±0.019a	0.771±0.007b

表中数值为平均值±SE,数值后的字母为进行 LSD 多重比较时在 $\alpha = 0.05$ 水平上的差异显著性,同一列中不同字母表示差异显著;
栲: *Castanopsis platyacantha*, 木荷: *Schima sinensis*, 润楠: *Machilus pingii*

表 7 凋落叶分解率和土壤总有机碳、可溶性有机碳、微生物量碳的相关性

Table 7 Correlation coefficients among decomposition rate of leaf litter and contents of TOC, DOC and MBC in soil

培养时间 Days of incubation/d	凋落叶分解率 Decomposition rate	总有机碳 TOC	可溶性有机碳 DOC	微生物量碳 MBC
14	凋落叶分解率 Decomposition rate	—	0.506 *	-0.133
	总有机碳 TOC	—	0.458 *	0.195
	可溶性有机碳 DOC	—	—	0.262
42	凋落叶分解率 Decomposition rate	—	0.180	0.192
	总有机碳 TOC	—	0.721 **	-0.158
	可溶性有机碳 DOC	—	—	-0.174
84	凋落叶分解率 Decomposition rate	—	0.073	0.164
	总有机碳 TOC	—	0.175	0.241
	可溶性有机碳 DOC	—	—	0.014

* 显著相关 ($P < 0.05$), ** 极显著相关 ($P < 0.01$)

3 讨论

3.1 凋落叶质量与分解

凋落叶包括快速和缓慢分解两个阶段,凋落叶分解最快的阶段在 0—14d,显著快于后两个阶段 ($P < 0.01$) (图 1)。在分解前期,主要是可溶性物质的淋溶及微生物可利用的单糖、淀粉等物质的释放;在分解后期,难分解的木质素、纤维素、单宁等物质所占的比重高,分解率随之降低 (图 1) [33]。

凋落叶分解率与其初始化学性质有关 [34], C/N、木质素/N 是预测凋落叶分解率的有效指标,其值越低,分解越快 [35]。本实验中 C/N、木质素/N (表 2) 都偏低的润楠凋落叶分解速率却最慢,而含有较高 C/N、木质素/N 的木荷凋落叶的分解速率则较快 (图 1),这与凋落叶的物理性质有关。润楠凋落叶革质、硬度大,因此叶片透水、透气性差,且风干后,叶片较平整,微生物分解可作用的表面积较小,降低其分解速率;木荷凋落叶柔软,通气透水状况较好,且风干之后,叶片有较多褶皱,微生物分解可作用的表面积大,促进其分解 [36-37]。Kaneko 等 [38] 在研究赤竹与松树凋落物分解时发现,氮含量高、木质素含量低的赤竹凋落物分解较慢,认为这可能与赤竹的高二氧化硅含量有关。

混合凋落叶残留率的实测值与预测值的差异反映了凋落叶混合分解效应,如果残留率实测值显著低于预测值,就反映了凋落叶混合有促进分解的作用,反之,则相反 [39]。培养 84d,润楠+栲、栲+木荷、润楠+栲+木荷凋落叶残留率的实测值都显著低于预测值 ($P < 0.05$) (表 3),表明润楠+栲、栲+木荷、润楠+栲+木荷凋落叶有

促进凋落叶分解的作用,这与 Briones 等^[40]、Samantha 等^[41]的研究结论一致。

实测值与预测值的差异反映了凋落叶混合分解效应,但并不能反映混合后,其对每一种凋落叶分解的影响作用。因此,以培养 84 天后的凋落叶为例,凋落叶混合后,对其单种凋落叶分解的影响关系可归为 3 类:(1)促进型,即相对所有单种凋落叶而言,都有促进分解的作用,如润楠+桫凋落叶比其对应的单种凋落叶的分解速率快^[9-12];(2)促进抑制并存型,即混合凋落叶对其中某些凋落叶分解有促进作用,而对其他凋落叶分解则有抑制作用,如润楠+木荷凋落叶比润楠凋落叶分解快,但比木荷凋落叶分解慢^[13-14];(3)部分促进型,即混合凋落叶对其对应的部分凋落叶分解有促进作用,而对其余的则没有显著影响,如桫+木荷混合凋落叶比桫凋落叶分解快,但与木荷凋落叶分解没有显著差异,润楠+桫+木荷混合凋落叶比润楠、桫单个凋落叶的分解快,但与木荷凋落叶分解没有显著差异^[15-17]。Briones 等^[40]和 Samantha 等^[41]的研究都发现了混合凋落物比其对应的单个凋落物的分解速率快,因为混合凋落物为土壤中的分解者提供了更加多元化的基质,增加了土壤微生物活性,使分解效率更高^[42]。事实上,本文的数据也部分反映了这个原因,如培养 14d,润楠+桫+木荷混合凋落叶培养的土壤 MBC、DOC 和 TOC 的含量比润楠、桫等单个凋落叶培养的高(图 2—图 4)。Li 等^[13]也发现,混合凋落物促进对应的某些单个凋落物分解而抑制对应的某些单个凋落物分解的现象,低 C/N 的凋落物往往对应着高的分解速率,混合凋落物之间在分解同时发生的氮素从高氮凋落物到低氮凋落物的转移会促进原本低氮凋落物的分解,而相对抑制原有的高氮凋落物的分解^[38]。润楠与木荷凋落物 C/N 没有显著差异,二者氮含量也不及与桫的差异大(表 2),导致二者混合后对分解没有产生明显促进作用。

3.2 土壤有机碳随培养时间的变化

在凋落叶分解过程中,土壤有机碳含量随培养时间的增长呈明显下降的趋势,最高值出现在第 14 天(图 2—图 4)。凋落叶添加到土壤后,在分解前期,凋落叶中易溶解的有机碳含量较高,分解迅速^[43],微生物将进入土壤中的部分有机碳和凋落叶中的碳同化为微生物量碳;分解后期,纤维素、木质素等难分解物质所占的比重增加,易分解有机碳减少,土壤 MBC 含量也减少^[44],这是由于土壤 DOC 是土壤微生物呼吸作用的碳源,被微生物呼吸所消耗,含量也逐渐降低^[45]。

3.3 凋落叶混合对土壤有机碳的影响

3.3.1 对土壤可溶性有机碳的影响

桫+木荷凋落叶处理下的土壤可溶性有机碳(DOC)含量最高,这与其拥有较高的分解速率有关(图 1)。桫+木荷凋落叶分解快,在短时间内释放大量 DOC 进入土壤。在试验后期多数凋落叶处理的土壤 DOC 下降,与对照的差异逐渐不显著(图 3)。DOC 是微生物最易利用的土壤碳,微生物会利用 DOC 并将其转变为自身的有机碳^[46]。DOC 的来源除了凋落叶和土壤腐殖质外,也来源于土壤 MBC^[47]。在培养后期,随着土壤可溶性养分的减少,大量微生物死亡,可产生一部分 DOC,导致对照、桫、木荷凋落叶培养下的土壤在试验后期 DOC 含量有所增加。

在培养到 14 天,所有混合凋落叶都不同程度增加了土壤 DOC,而在后期,凋落叶对土壤 DOC 的增加效应逐渐不显著(图 3),表明多物种组成的混合凋落叶在分解前期,可促进凋落叶 DOC 的释放。汪思龙等^[48]研究也发现,凋落物混合提高了有机碳的转化能力,促进了凋落物养分的释放。Liu 等^[49]研究指出,土壤 DOC 随着凋落物的添加,在培养前期增加,但在培养后期,各处理的土壤 DOC 没有显著差异,并有向同一值汇集的趋势。凋落叶对土壤 DOC 的影响效应包括促进、抑制和没有显著影响(图 3,表 5),这种效应与凋落叶的质量及养分释放过程有关(表 2,表 3,图 1)。

3.3.2 对土壤微生物量碳的影响

凋落物是微生物代谢所需 DOC 的主要来源^[50],Yano 等^[51]认为,森林土壤中约有 12%—40% 的 DOC 被微生物利用,微生物利用土壤 DOC 转化成土壤微生物量碳(MBC)。培养前期,土壤 DOC 较高,微生物利用 DOC 转化成自身的 MBC,使土壤 MBC 较高;培养后期,土壤 DOC 下降,微生物呼吸分解自身的 MBC,使土壤 MBC 下降。不同凋落叶对土壤 MBC 的影响有差异。培养的第 14 天,各凋落叶下的土壤 MBC 与对照无显著

差异($P>0.05$);培养的第 42 天,润楠、润楠+栲、润楠+木荷凋落叶显著降低了土壤 MBC($P<0.05$);培养的第 84 天,栲+木荷、润楠+栲+木荷、木荷、润楠+栲凋落叶显著提高了土壤 MBC($P<0.05$),栲凋落叶显著抑制了土壤 MBC($P<0.05$)(图 4),表明凋落叶对土壤 MBC 的影响效应包括促进、抑制和无显著影响(图 4,表 6),这种效应与凋落叶的质量和养分释放过程有关(表 2,表 3,图 1)。

与预测值相比,培养的第 84 天,除润楠+木荷凋落叶外,其他混合凋落叶培养的土壤 MBC 实测值都显著高于预测值($P<0.05$)(表 6),可见,混合凋落叶提高了土壤 MBC。混合凋落叶因其具有自身性质的多样性,为土壤中的分解者提供了更加多元化的基质^[42],而这种多元化的基质维持了多种微生物的需要,不仅增加了微生物种类,也提高了微生物活性。

3.3.3 对土壤总有机碳的影响

不同凋落叶种类和混合对土壤总有机碳(TOC)的影响不同(图 2)。在培养到 14 天,栲+木荷凋落叶显著提高了土壤 TOC,这与其具有较高的分解速率有关(图 1)。同时,混合凋落叶之间在分解过程中会发生养分转移^[38],促进凋落叶分解,增加土壤 TOC,而这种方式可以不对应增加土壤 MBC(图 4),从而减少了微生物呼吸的碳输出,使总有机碳含量升高。

与对照相比,培养 14d,润楠+栲、栲+木荷、润楠+栲+木荷等混合凋落叶显著提高了土壤 TOC,而其余的凋落叶则对土壤 TOC 无显著影响;在培养 84d,所有凋落叶都对土壤 TOC 没有显著的影响(图 2);培养 42d,仅栲+木荷凋落叶土壤 TOC 实测值显著高于预测值($P<0.05$);培养 84d 时,仅润楠+木荷凋落叶下土壤 TOC 实测值显著高于预测值($P<0.05$)(表 4)。表明凋落叶对土壤 TOC 的影响主要集中在分解前期,凋落叶种类和混合对土壤 TOC 的影响包括促进、抑制和无显著影响(图 2,表 4),这种效应与凋落叶质量和养分释放过程有关(表 2,表 3,图 1)。与野外实验相比,由于室内试验温度、水分条件适宜,可在短时间内使土壤总有机碳发生显著变化^[52-53]。凋落物是土壤有机碳的主要来源,同时添加凋落物也能促进土壤有机碳的分解^[54-56]。因此,添加凋落物并不总是增加土壤有机碳,而是否增加土壤有机碳取决于凋落物分解和土壤碳矿化的平衡。

3.4 土壤有机碳与凋落叶分解的相关性

凋落叶分解与土壤 TOC、DOC 和 MBC 的相关性反映了凋落叶分解过程及与土壤 C 转化的复杂的生物化学过程。凋落叶分解和土壤 MBC 的相关性(表 7)与凋落叶 C、N 释放及其对土壤微生物的影响一致,凋落叶在分解初期,大量可溶性 C、N 进入土壤^[57],提高了微生物活性及 MBC^[8],使凋落叶与土壤 MBC 具有一定的正相关;当凋落叶释放的可溶性 C、N 减少后,微生物大量死亡,土壤 MBC 降低,导致了 MBC 与凋落叶分解率呈不显著的负相关(表 7)。凋落叶分解率仅与培养 14d 的土壤 TOC 有显著的正相关(表 7),反映了在凋落叶分解初期,凋落叶是土壤有机碳的直接来源。土壤 DOC 和 MBC 的相关性(表 7)表明在分解初期,因为凋落叶脉冲式释放大量的 DOC 进入土壤^[26],凋落叶 DOC 是土壤 MBC 的主要来源^[8],土壤 DOC 部分成为微生物的碳源,所以,土壤 DOC 和 MBC 有不显著的正相关;在分解第 42 天,凋落叶释放到土壤中的 DOC 大量减少^[26],MBC 通过周转产生大量的 DOC,成为土壤 DOC 的来源^[8, 21],使 MBC 和 DOC 呈不显著的负相关;分解 84d,因凋落叶释放的 DOC 量少,且持续,使土壤中的 DOC 又成为 MBC 的来源,导致其具有不显著的正相关(表 7)。

致谢:英文摘要由澳大利亚 Griffith 大学 Zhihong Xu 教授润色,谨致谢忱。

References:

- [1] Bouwman A F. Globale distribution of major soils and land cover types//Bouwman A F, ed. Soils and the Greenhouse Effect. New York: John Wiley and Sons, 1990: 33-59.
- [2] Davids E A, Trumbore S E, Amundson R. Biogeochemistry: soil warming and organic carbon content. *Nature*, 2000, 408(6814): 789-790.
- [3] Nichols J D. Relation of organic carbon to soil properties and climate in the southern great plain. *Soil Science Society of America Journal*, 1984, 48(6): 1382-1384.
- [4] Yang L X, Pan J J, Yuan S F. Quantification of forest soil organic carbon pools: a case study in liping county. *Chinese Journal of Soil Science*,

- 2006, 37 (2): 241-243.
- [5] Sayer E J. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews*, 2006, 81 (1): 1-31.
- [6] Pan K W, Xu Z H, Blumfield T, Totua S, Lu M X. In situ mineral ^{15}N dynamics and fate of added $^{15}\text{NH}_4^+$ in hoop pine plantation and adjacent native forest in subtropical Australia. *Journal of Soils and Sediments*, 2008, 8(6): 398-405.
- [7] Pan K W, Xu Z H, Blumfield T, Tutua S, Lu M X. Application of $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ to study N dynamics in hoop pine plantation and adjacent native forest of subtropical Australia: the effects of injection depth and litter addition. *Journal of Soils and Sediments*, 2009, 9(6): 515-525.
- [8] Tan X, Chang S X. Soil compaction and forest litter amendment affect carbon and net nitrogen mineralization in a boreal forest soil. *Soil and Tillage Research*, 2007, 93(1): 77-86.
- [9] Rustad L E, Cronan C S. Element loss and retention during litter decay in a red spruce stand in Maine. *Canadian Journal of Forest Research*, 1988, 18(7): 947-953.
- [10] Taylor B R, Parsons W F J, Parkinson D. Decomposition of *Populustremuloides* leaf litter accelerated by addition of *Alnuscrispa* litter. *Canadian Journal of Forest Research*, 1989, 19(5): 674-679.
- [11] Fyles J W, Fyles I H. Interaction of Douglas-fir with red alder and salal foliage litter during decomposition. *Canadian Journal of Forest Research*, 1993, 23(3): 358-361.
- [12] Wardle D A, Nilsson M C, Zackrisson O, Gallet C. Determinants of litter mixing effects in a Swedish boreal forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(6): 827-835.
- [13] Li W, Pan K W, Wu N, Wang J C, Han C M, Liang X L. Effects of mixing pine and broadleaved tree/shrub litter on decomposition and N dynamics in laboratory microcosms. *Ecological Research*, 2009, 24(4): 761-769.
- [14] Hansen R A. Effects of habitat complexity and composition on a diverse litter microarthropod assemblage. *Ecology*, 2000, 81(4): 1120-1132.
- [15] Thomas W A. Decomposition of loblolly pine needles with and without addition of dogwood leaves. *Ecology*, 1968, 49(3): 568-571.
- [16] Klemmedson J O. Decomposition and nutrient release from mixtures of gambel oak and ponderosa pine leaf litter. *Forest Ecology and Management*, 1992, 47(1/4): 349-361.
- [17] Prescott C E, Taylor B R, Parsons W F J, Durall D M, Parkinson D. Nutrient release from decomposing litter in Rocky Mountain coniferous forests: influence of nutrient availability. *Canadian Journal of Forest Research*, 1993, 23(8): 1576-1586.
- [18] Pan K W, Zhang Y B. Percentage of soil absolute moisture content at different succession stages of *Castanopsis platyacantha*-*Schima sinensis* formation in central subtropical zone of Sichuan Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2): 165-169.
- [19] Pan K W, Zhang Y M, Liu Z G, Zhang Y B. Comparative study on microclimate of vegetation over different successional stages of *Castanopsis platyacantha*-*Schima sinensis* formation in the central subtropical zone in Sichuan province. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2002, 26 (2): 195-202.
- [20] Zhang Y B, Wang K Y, Hu T X, Pan K W, Yang W Q, Wang Q. Plant species diversity of understory communities in *Castanopsis platyacantha*-*Schima sinensis* formation. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003, 9 (5): 465-470.
- [21] Chen Y P, Pan K W, Wu N, Luo P, Wang J C, Xian J S. Effect of litter quality and decomposition on N mineralization in soil of *Castanopsis platyacantha*-*Schima sinensis* forest. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2005, 11(2): 146-151.
- [22] Bao W K, Liu Z G, Liu Z L, Yuan Y F, Liu R D. Fifteen-year changes of tree layer in secondary *Castanopsis Schima* humid evergreen broad leaved forest in central subtropics of western china. *Chinese Journal of plant Ecology*, 2000, 24(6): 702-709.
- [23] Liang X L, Pan K W, Wang J C. Releasing dynamics of phenolic acid during *Zanthoxylum bungeanum* litter decomposition and effects of its aqueous extract on soil chemical properties. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (10): 4676-4684.
- [24] Vargas D N, Bertiller M B, Ares J O, Carrera A L, Sain C L. Soil C and N dynamics induced by leaf-litter decomposition of shrubs and perennial grasses of the Patagonian Monte. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(8): 2401-2410.
- [25] Institute of Soil Sciences the Chinese Academy of Sciences. *Physical and Chemical Analysis Methods of Soils*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978: 62-67, 374-375, 523-525.
- [26] Jones D L, Willett V B. Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38 (5): 991-999.
- [27] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19 (6): 703-707.
- [28] Xiong S M, Zuo X F, Zhu Y Y. Determination of cellulose hemi-cellulose and lignin in rice hull. *Cereal & Feed Industry*, 2005, (8): 40-41.
- [29] Xu G H, Zheng H Y. *The Handbook of Analyse Means to Edaphon*. Beijing: China Agriculture Press, 1986: 110-208.
- [30] Zhang Y D, Wang Q C, Li Q L. The litter decomposition dynamics in ash and larch pure and mixture plantation stands. *Journal of Northeast*

- Forestry University, 1999, 27(4): 5-8.
- [31] Xu G L, Mo J M, Zhou G Y, Xue J H. Litter decomposition under N deposition in Dinghushan forests and its relationship with soil fauna. *Ecology and Environment*, 2005, 14(6): 901-907.
- [32] Madritch M D, Cardinale B J. Impacts of tree species diversity on litter decomposition in northern temperate forests of Wisconsin, USA: a multi-site experiment along a latitudinal gradient. *Plant and Soil*, 2007, 292(1/2): 147-159.
- [33] Aerts R, De Caluwe H. Nutritional and plant-mediated controls on leaf litter decomposition of *Carex* species. *Ecology*, 1997, 78(1): 244-260.
- [34] Ribeiro C, Madeira M, Araújo M C. Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. *Forest Ecology and Management*, 2002, 171(1/2): 31-41.
- [35] Tripathi S K, Sumida A, Shibata H, Ono K, Uemura S, Kodama Y, Hara T. Leaf litterfall and decomposition of different above- and belowground parts of birch (*Betula ermanii*) trees and dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) shrubs in a young secondary forest in Northern Japan. *Biology and Fertility of Soils*, 2006, 43(2): 237-246.
- [36] Vitousek P M, Turner D R, Parton W J, Sanford R L. Litter decomposition on the Mauna loa environmental matrix, Hawaii: patterns, mechanisms, and models. *Ecology*, 1994, 75(2): 418-429.
- [37] Wang X H, Huang J J, Yan E R. Leaf litter decomposition of common trees in TianTong. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2004, 28(4): 457-467.
- [38] Kaneko N, Salamanca E. Mixed leaf litter effects on decomposition rates and soil microarthropod communities in an oak-pine stand in Japan. *Ecological Research*, 1999, 14(2): 131-138.
- [39] Gartner T B, Cardon Z G. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. *Oikos*, 2004, 104(2): 230-246.
- [40] Briones M J I, Ineson P. Decomposition of eucalyptus leaves in litter mixtures. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28(10/11): 1381-1388.
- [41] Chapman S K, Koch G W. What type of diversity yields synergy during mixed litter decomposition in a natural forest ecosystem? *Plant and Soil*, 2007, 299(1/2): 153-162.
- [42] Hooper D U. The role of complementarity and competition in ecosystem responses to variation in plant diversity. *Ecology*, 1998, 79(2): 704-719.
- [43] Harmon M E, Baker G A, Spycher G, Greene S E. Leaf-litter decomposition in the *Picea/tsuga* forests of Olympic National Park, Washington, U. S. A. *Forest Ecology and Management*, 1990, 31(1/2): 55-66.
- [44] Ocio J A, Brookes P C, Jenkinson D S. Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N. *Soil Biology and Biochemistry*, 1991, 23(2): 171-176.
- [45] Chen Q S, Li L H, Han X G, Yan Z D, Wang Y F, Yuan Z Y. Influence of temperature and soil moisture on soil respiration of a degraded steppe community in the Xilin River basin of inner Mongolia. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2003, 27(2): 202-209.
- [46] Sugai S F, Schimel J P. Decomposition and biomass incorporation of ^{14}C -labeled glucose and phenolics in taiga forest floor: effect of substrate quality, successional state, and season. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993, 25(10): 1379-1389.
- [47] Williams B L, Edwards A C. Processes influencing dissolved organic nitrogen, phosphorus and sulphur in soils. *Chemistry and Ecology*, 1993, 8(3): 203-215.
- [48] Wang S L, Huang Z Q, Wang Q K, Yu X J. Effects of species diversity of litter on the ecological functions of *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. plantation soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 474-480.
- [49] Liu L L, King J S, Booker F L, Giardina C P, Allen H L, Hu S J. Enhanced litter input rather than changes in litter chemistry drive soil carbon and nitrogen cycles under elevated CO_2 : a microcosm study. *Global Change Biology*, 2009, 15(2): 441-453.
- [50] Park J H, Kalbitz K, Matzner E. Resource control on the production of dissolved organic carbon and nitrogen in a deciduous forest floor. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(6): 813-822.
- [51] Yano Y, McDowell W H, Kinner N E. Quantification of biodegradable dissolved organic carbon in soil solution with flow-through bioreactors. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62(6): 1556-1564.
- [52] Frouz J, Elhottová D, Pižl V, Tajovský K, Šourková M, Píček T, Maly S. The effect of litter quality and soil faunal composition on organic matter dynamics in post-mining soil: A laboratory study. *Applied Soil Ecology*, 2007, 37(1/2): 72-80.
- [53] Vargas D N, Bertiller M B, Ares J O, Carrera A L, Sain, C L. Soil C and N dynamics induced by leaf-litter decomposition of shrubs and perennial grasses of the Patagonian Monte. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(8): 2401-2410.
- [54] Rinnan R, Michelsen A, Bååth E, Jonasson S. Mineralization and carbon turnover in subarctic heath soil as affected by warming and additional litter. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(12): 3014-3023.
- [55] Guo L B, Halliday M J, Siakimotu S J M, Gifford R M. Fine root production and litter input: Its effects on soil carbon. *Plant and Soil*, 2005, 272(1/2): 1-10.
- [56] Mungai N W, Motavalli P P. Litter quality effects on soil carbon and nitrogen dynamics in temperate alley cropping systems. *Applied Soil Ecology*,

2006, 31(1/2): 32-42.

- [57] Huang W Z, Schoenau J J. Fluxes of water-soluble nitrogen and phosphorus in the forest floor and surface mineral soil of a boreal aspen stand. *Geoderma*, 1998, 81(3/4): 251-264.

参考文献:

- [4] 杨丽霞, 潘剑君, 苑韶峰. 森林土壤有机碳库组分定量化研究. *土壤通报*, 2006, 37(2): 241-243.
- [18] 潘开文, 张远彬. 四川中亚热带扁刺栲-华木荷群系不同演替阶段土壤含水率的研究. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 165-169.
- [19] 潘开文, 张咏梅, 刘照光, 张远彬. 四川中亚热带扁刺栲-华木荷群系不同演替阶段林内小气候的比较. *植物生态学报*, 2002, 26(2): 195-202.
- [20] 张远彬, 王开运, 胡庭兴, 潘开文, 杨万勤, 王乾. 扁刺栲-华木荷群系次生林林下物种多样性分析. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(5): 465-470.
- [21] 陈印平, 潘开文, 吴宁, 罗鹏, 王进闯, 鲜纪坤. 凋落物质量和分解对中亚热带栲木荷林土壤氮矿化的影响. *应用与环境生物学报*, 2005, 11(2): 146-151.
- [22] 包维楷, 刘照光, 刘朝禄, 袁亚夫, 刘仁东. 中亚热带湿性常绿阔叶次生林自然恢复 15 年来群落乔木层的动态变化. *植物生态学报*, 2000, 24(6): 702-709.
- [23] 梁晓兰, 潘开文, 王进闯. 花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)凋落物分解过程中酚酸的释放及其浸提液对土壤化学性质的影响. *生态学报*, 2008, 28(10): 4676-4684.
- [25] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 62-67, 374-375, 523-525.
- [28] 熊素敏, 左秀凤, 朱永义. 稻壳中纤维素、半纤维素和木质素的测定. *粮食与饲料工业*, 2005, (8): 40-41.
- [29] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986: 110-208.
- [30] 张彦东, 王庆成, 李清林. 水曲柳落叶松纯林与混交林的枯叶分解动态. *东北林业大学学报*, 1999, 27(4): 5-8.
- [31] 徐国良, 莫江明, 周国逸, 薛璟花. 氮沉降下鼎湖山森林凋落物分解及与土壤动物的关系. *生态环境*, 2005, 14(6): 901-907.
- [37] 王希华, 黄建军, 闫恩荣. 天童国家森林公园常见植物凋落叶分解的研究. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 457-467.
- [45] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 阎志丹, 王艳芬, 袁志友. 水热条件对锡林河流域典型草原退化群落土壤呼吸的影响. *植物生态学报*, 2003, 27(2): 202-209.
- [48] 汪思龙, 黄志群, 王清奎, 于小军. 凋落物的树种多样性与杉木人工林土壤生态功能. *生态学报*, 2005, 25(3): 474-480.

CONTENTS

Influences of elevated ozone on growth and C, N, S allocations of rice	ZHENG Feixiang, WANG Xiaoke, HOU Peiqiang, et al (1479)
Coexistence, biodiversity and roles of ammonia-oxidizing archaea and anaerobic ammonium-oxidizing bacteria in deep soil layer of high nitrogen loaded paddy field	WANG Yu, ZHU Guibing, WANG Chaoyu, et al (1487)
The impact of interannual climate variability on the mean global vegetation distribution	SHAO Pu, ZENG Xiaodong (1494)
Labile and recalcitrant carbon and nitrogen pools of an alpine meadow soil from the eastern Qinghai-Tibetan Plateau subjected to experimental warming and grazing	WANG Bei, SUN Geng, LUO Peng, et al (1506)
The structure and species diversity of plant communities in ecological safety islands of urban Guangzhou	MO Dan, GUAN Dongsheng, HUANG Kangyou, et al (1515)
The growth pattern of <i>Pinus elliottii</i> Plantation in central subtropical China	MA Zeqing, LIU Qijing, WANG Huimin, et al (1525)
The effect of two wetland plants on nitrogen and phosphorus removal from the simulated paddy field runoff in two small-scale Subsurface Flow Constructed Wetlands	LIU Shuyuan, YAN Baixing, WANG Lixia (1538)
Effect of simulated nitrogen deposition on nutrient release in decomposition of several litter fractions of two bamboo species	TU Lihua, HU Tingxing, ZHANG Jian, et al (1547)
Ecological monitoring of bryophytes for mercury pollution in Danzhai Mercury Mine Area, Guizhou Province, China	LIU Rongxiang, WANG Zhihui, ZHANG Zhaohui (1558)
Influence of silt deposition and sand deposition on <i>Cynodon dactylon</i> population in low-water-level-fluctuating zone of the Three Gorges Reservoir	LI Qiang, DING Wuquan, ZHU Qihong, et al (1567)
Seed production of <i>Spartina alterniflora</i> and its response of germination to temperature at Chongming Dongtan, Shanghai	ZHU Zhenchang, ZHANG Liquan, XIAO Derong (1574)
Effects of decomposition of mixed leaf litters of the <i>Castanopsis platyacantha</i> - <i>Schima sinensis</i> forest on soil organic carbon	ZHANG Xiaopeng, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (1582)
Effects of desertification on soil respiration and ecosystem carbon fixation in Mu Us sandy land	DING Jinzhi, LAI Liming, ZHAO Xuechun, et al (1594)
The spatial distribution of soil organic carbon and its influencing factors in hilly region of the Loess Plateau	SUN Wenyi, GUO Shengli (1604)
Effects of interspecific interactions and nitrogen fertilization rates on above- and below- growth in faba bean/mazie intercropping system	LI Yuying, HU Hansheng, CHENG Xu, et al (1617)
Effects of supplemental irrigation based on measured soil moisture on nitrogen accumulation, distribution and grain yield in winter wheat	HAN Zhanjiang, YU Zhenwen, WANG Dong, et al (1631)
Anti-soil background capacity with vegetation biochemical component spectral model	SUN Lin, CHENG Lijuan (1641)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin of <i>Hippophae rhamnoides</i> L in farming-pastoral zone from the two northern provinces of China	HE Xueli, CHEN Cheng, HE Bo (1653)
Study on optimum forest coverage for water conservation: a case study in Pingtonghe watershed (Pingwu section)	ZHU Zhifang, GONG Gutang, CHEN Junhua, et al (1662)
Spatial point analysis of fire occurrence and its influence factor in Huzhong forest area of the Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province, China	LIU Zhihua, YANG Jian, HE Hongshi, et al (1669)
Combustion efficiency of small-scale meadow fire in Daxinganling Mountains	WANG Mingyu, SHU Lifu, SONG Guanghui, et al (1678)
Community structure of demersal fish in Nature Reserve of <i>Acipenser sinensis</i> in Yangtze River estuary	ZHANG Tao, ZHUANG Ping, ZHANG Longzhen, et al (1687)
Behavioral responses of the Common Coots (<i>Fulica atra</i>) and other swimming birds to human disturbances	ZHANG Weiwei, MA Jianzhang, LI Jinbo (1695)
Effects of photoperiod on body mass, organ masses and energy metabolism in Chinese bulbul (<i>Pycnonotus sinensis</i>)	NI Xiaoying, LIN Lin, ZHOU Feifei, et al (1703)
Larval host types for the 3 rd <i>Helicoverpa armigera</i> in Bt cotton field from North China determined by $\delta^{13}\text{C}$	YE Lefu, FU Xue, XIE Baoyu, et al (1714)
Selectivity of <i>Frankliniella occidentalis</i> to vegetable hosts	YUAN Chengming, ZHI Junrui, CAO Yu, et al (1720)
Genetic structure of <i>Pine caterpillars</i> (<i>Dendrolimus</i>) populations based on the analysis of Cyt b gene sequences	GAO Baojia, ZHANG Xuwei, ZHOU Guona, et al (1727)
Pricing method and application effects of biogas slurry	ZHANG Changai, LIU Ying, CAO Man, WANG Yanqin, et al (1735)
Effects of compost from municipal solid waste on ecological characteristics and the quality of different turfgrass cultivars	ZHAO Shulan, LIAN Fei, DUO Li'an (1742)
Degradation kinetics and bioavailability of pentachlorophenol in paddy soil-rice plant ecosystem	WANG Shisheng, LI Depeng (1749)
Review and Monograph	
Concepts and techniques of landscape genetics	XUE Yadong, LI Li, WU Gongsheng, ZHOU Yue (1756)

2009 年度生物学科总被引频次和影响力因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响力因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响力因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 6 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 6 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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		

