

3 种林木凋落物分解特征及其对赤红壤酸度及养分含量的影响

刘姝媛^{1,2}, 胡浪云³, 储双双¹, 曹 珍¹, 曾曙才^{1,①}

(1. 华南农业大学林学院, 广东 广州 510642; 2. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875;
3. 江西省宜春市林业局, 江西 宜春 336000)

摘要: 在实验室条件下对黧蒴锥 [*Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils.]、湿地松 (*Pinus elliottii* Engelm.) 和尾叶桉 (*Eucalyptus urophylla* S. T. Blakely) 凋落物的分解特征及其对华南赤红壤的 pH 值、有机质和碱解氮、速效磷和速效钾含量的影响进行了研究。结果表明: 经过 1 a 的分解后, 黧蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物的失重率分别为 26.48%、13.80% 和 28.15%; 3 种凋落物中全氮均为净释放模式, 全磷为富集模式, 黧蒴锥和尾叶桉凋落物中全钾和有机碳为净释放模式, 湿地松凋落物中全钾和有机碳为富集模式。随凋落物分解时间的延长, 土壤 pH 值呈现逐渐上升至第 8 个月达到峰值、之后略有下降的变化趋势; 有机质含量呈波动的变化趋势; 碱解氮含量呈先升高后降低的变化趋势; 速效磷含量呈略有波动但总体下降的趋势; 速效钾含量呈“逐渐上升—急剧下降—急剧上升—趋于平稳”的变化趋势, 且均在第 8 个月最低。与实验初期相比, 实验结束时对照组及各处理组的土壤 pH 值和碱解氮含量均不同程度增加、有机质含量不同程度降低、速效磷含量显著下降, 对照组速效钾含量下降而各处理组速效钾含量明显提高。与对照相比, 实验结束时 3 种凋落物均导致土壤酸度减弱、速效钾含量增加、但有机质和速效磷含量没有明显提高。3 种凋落物对土壤 pH 值及土壤养分含量的影响有明显差异, 总体上看, 黧蒴锥凋落物覆盖可明显减弱土壤酸度, 增加土壤有机质、碱解氮和速效钾含量, 对土壤的改良效果最好。研究结果揭示: 不同凋落物对土壤 pH 值及养分含量的影响与凋落物的成分及生物学特性有关。

关键词: 黧蒴锥; 湿地松; 尾叶桉; 凋落物; 分解特征; 土壤养分含量

中图分类号: S718.55⁺4; S757.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2013)03-0011-07
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.03.02

Decomposition characteristics of three forest litters and their effects on acidity and nutrient content in lateritic red soil LIU Shuyuan^{1,2}, HU Langyun³, CHU Shuangshuang¹, CAO Zhen¹, ZENG Shucui^{1,①} (1. College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Forestry Bureau of Yichun City in Jiangxi Province, Yichun 336000, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2013, 22(3): 11-17

Abstract: Decomposition characteristics of litters of *Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils., *Pinus elliottii* Engelm. and *Eucalyptus urophylla* S. T. Blakely and their effects on pH value and contents of organic matter, available alkaline N, available P and available K in lateritic red soil of South China were studied under laboratory condition. The results show that after one-year decomposition, weight loss rate of *C. fissa*, *P. elliottii* and *E. urophylla* litters are 26.48%, 13.80% and 28.15%, respectively, and total N in three litters is net release mode while total P is enrichment mode. And total K and organic carbon in *C. fissa* and *E. urophylla* litters are net release mode while those in *P. elliottii* litter are enrichment mode. With prolonging of litter decomposition time, pH value of soil appears a

收稿日期: 2013-03-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31270675); 广东省农业攻关项目(2011B020302005; 2012B020310004); 东莞市高等院校科研机构科技计划资助项目(200910810174)

作者简介: 刘姝媛(1984—), 女, 山西运城人, 博士研究生, 主要从事森林土壤生态及地下水污染风险评价的研究。

①通信作者 E-mail: sczeng@scau.edu.cn

changing trend of gradually increasing, reaching at peak value in the eighth month, then slightly decreasing; organic matter content appears a fluctuation trend; available alkaline N content appears a changing trend of increasing at first and then decreasing; available P content appears a trend of slight fluctuation but generally decreasing; available K content appears a changing trend of “gradually increasing–sharply decreasing–sharply increasing–tending to stable” and reaches the lowest in the eighth month. Compared with the beginning of the experiment, at the end of the experiment, pH value and available alkaline N content in soils in the control and three treatment groups increase with different degrees, organic matter content decreases with different degrees and available P content decreases significantly, but available K content in the control group decreases while that in three treatment groups increases obviously. Compared with the control, at the end of the experiment, all of three litters cause weakening of soil acidity and increasing of available K content in soil, but contents of organic matter and available P in soil have no obviously increasing. Influence of three litters on pH value and nutrient content in soil has an obvious difference, and generally, soil improvement effect of *C. fissa* litter covering is the best due to obviously weakening of soil acidity and increasing contents of organic matter, available alkaline N and available K. It is suggested that influence of different litters on pH value and nutrient content in soil relates to litter composition and its biological features.

Key words: *Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils.; *Pinus elliottii* Engelm.; *Eucalyptus urophylla* S. T. Blakely; litter; decomposition characteristics; nutrient content in soil

森林凋落物是森林植物在其生长发育过程中新陈代谢的产物,是森林生态系统中养分的重要来源之一,是影响土壤化学和生物化学性质的重要因素之一^[1-3]。Chapin 等^[4]的研究结果表明:在大多数自然生态系统内,由土壤供给植物所吸收的养分中有 90% 以上的氮和磷以及 60% 以上的其他矿质元素都来自于植被凋落物的分解。

凋落物的分解是森林生态系统物质循环和能量流动的重要环节^[5],在维持森林生态系统生产力、土壤有机质的形成、养分供应、群落演替以及系统自我发展等方面具有不可替代的作用和地位^[6]。凋落物分解后产生的各种组分对土壤性质和养分状况有显著影响^[7-8]。已有的研究结果均表明^[9-12]:在不同森林凋落物作用下土壤的养分组成、腐殖质性质、酸碱状况以及微生物的活动明显不同。

黧蒴锥 [*Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils.]、湿地松 (*Pinus elliottii* Engelm.) 和尾叶桉 (*Eucalyptus urophylla* S. T. Blakely) 3 个树种在华

南地区的造林面积很大,具有较好的代表性和较高的研究价值,研究这 3 个树种凋落物对土壤 pH 值和速效养分的影响与作用机制、并对各项指标进行动态分析,可为人工林土壤养分管理提供科学依据。为此,作者在实验室条件下研究了黧蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物分解过程中土壤性质的动态变化,以揭示这 3 种林木凋落物分解对土壤性质的影响及可能存在的差异。

1 材料和方法

1.1 材料

在华南农业大学树木园分别采集黧蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物(主要为新鲜凋落叶)带回实验室;取 3 种凋落物少量,烘干、粉碎、过筛后装入封口袋供分析用。3 种凋落物的养分状况见表 1。

实验土壤采自华南农业大学树木园黧蒴锥林下,为华南地区地带性赤红壤,质地为轻壤土,母岩为花

表 1 黧蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物的养分含量

Table 1 Nutrient content in litters of *Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils., *Pinus elliottii* Engelm. and *Eucalyptus urophylla* S. T. Blakely

凋落物 Litter	含量/g · kg ⁻¹ Content				C/N 比 C/N ratio	C/P 比 C/P ratio
	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	有机碳 Organic carbon		
黧蒴锥凋落物 <i>C. fissa</i> litter	1.39	0.20	0.93	413.37	297.39	2 066.85
湿地松凋落物 <i>P. elliottii</i> litter	0.72	0.10	0.24	509.35	707.43	5 093.50
尾叶桉凋落物 <i>E. urophylla</i> litter	1.17	0.23	0.78	505.32	431.90	2 197.04

岗岩。在林下同一地点取3~30 cm土层的土壤,混合后带回实验室风干,碾碎后过2 mm筛、备用。土壤pH 3.98,有机质、全氮、全磷和全钾含量分别为17.85、0.55、0.18和1.12 g·kg⁻¹,碱解氮、速效磷和速效钾含量分别为33.01、6.26和19.82 mg·kg⁻¹。

1.2 实验设计和处理方法

实验共设置4个处理: 薰莨锥凋落物覆盖土壤、湿地松凋落物覆盖土壤、尾叶桉凋落物覆盖土壤、无凋落物覆盖土壤(CK)。每个处理凋落物用量为20 g(干质量),土壤用量为150 g(风干质量)。土壤用500 mL塑料烧杯盛放,凋落物均匀平铺在土壤上;每一处理18个重复。每周往每个塑料烧杯中喷洒25 mL超纯水(电阻率为18.25 Ω),置于室温条件下培养。每隔2个月分别从每一处理中随机取出3个烧杯,测定烧杯内土壤和凋落物的各项指标。实验周期1 a,共取样6次。

1.3 测定方法

凋落物样品先用H₂SO₄-H₂O₂消解,然后用于各项养分指标的测定。全氮含量测定采用碱解扩散法^{[13]265-266};全磷含量测定采用钼锑抗比色法^{[13]270};全钾含量测定采用火焰光度法^{[13]270-271};有机碳含量测定采用重铬酸钾容量法。

土壤样品经风干过筛后用于各项指标的测定。土壤pH值测定采用电位法^{[13]163-165};有机质含量测定采用重铬酸钾容量法^{[13]30-34};全氮和碱解氮含量测定采用碱解扩散法^{[13]56-58};全磷含量测定采用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法^{[13]76-78};速效磷含量测定采用氟化铵盐酸浸提-钼锑抗比色法^{[13]83-85};全钾含量测定采用氢氧化钠熔融-火焰光度法^{[13]101-103};速效钾含量测定采用醋酸铵浸提-火焰光度法^{[13]106-107}。

1.4 数据分析

各项指标的测定结果均取平均值,并根据以下公式计算凋落物失重率和养分释放率:凋落物失重率= $[(m_2-m_1)/m_1] \times 100\%$;养分释放率(负值为富

集率)= $[(c_1 \times m_1 - c_2 \times m_2)/(c_1 \times m_1)] \times 100\%$ 。式中, c_1 :凋落物初始养分含量(%); c_2 :凋落物分解之后的养分含量(%); m_1 :凋落物初始质量(g); m_2 :凋落物分解之后的质量(g)。

采用Excel 2010软件对数据进行整理,用SPSS 17.0统计分析软件对土壤各项测定指标进行方差分析和Duncan多重比较。

2 结果和分析

2.1 凋落物的失重率与养分释放率比较

在实验室内培养1 a后,薰莨锥、湿地松和尾叶桉凋落物的失重率和养分释放率见表2。由表2可见:3个树种凋落物的失重率及不同养分的释放率有明显差异。薰莨锥、湿地松和尾叶桉凋落物的失重率分别为26.48%、13.80%和28.15%,说明阔叶树种(薰莨锥和尾叶桉)叶凋落物的分解速率较快,而针叶树种(湿地松)叶凋落物的分解速率较慢。这一现象可能与不同树种叶凋落物的初始化学成分以及叶片的生物学特性有一定关系。

从表2还可以看出:尾叶桉凋落物的养分释放率明显高于薰莨锥和湿地松,这在一定程度上可以解释尾叶桉凋落物的失重率高于薰莨锥和湿地松凋落物的现象。除全氮外,薰莨锥凋落物中其他养分的释放率均高于湿地松。3种林木凋落物的全氮是净释放模式,其中湿地松和尾叶桉凋落物的全氮释放率差异不大,而薰莨锥凋落物的全氮释放率明显低于前二者;全磷呈现净积累模式,也即净富集模式,其中尾叶桉凋落物的全磷富集率明显低于薰莨锥和湿地松凋落物;有机碳和全钾的释放率因凋落物而异:湿地松凋落物的有机碳和全钾均为富集模式,而薰莨锥和尾叶桉凋落物的有机碳和全钾为净释放模式,其中尾叶桉凋落物的有机碳和全钾释放率明显高于薰莨锥凋落物。

表2 薰莨锥、湿地松和尾叶桉凋落物的失重率和养分释放率比较

Table 2 Comparison of weight loss rate and nutrient release rate of litters from *Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils., *Pinus elliottii* Engelm. and *Eucalyptus urophylla* S. T. Blakely

凋落物 Litter	失重率/% Weight loss rate	释放率/% Release rate			
		有机碳 Organic carbon	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K
薰莨锥凋落物 <i>C. fissa</i> litter	26.48	1.36	3.21	-127.91	15.41
湿地松凋落物 <i>P. elliottii</i> litter	13.80	-1.11	9.71	-149.98	-32.89
尾叶桉凋落物 <i>E. urophylla</i> litter	28.15	28.88	9.91	-49.95	44.73

2.2 凋落物分解对土壤 pH 值、有机质和速效养分含量的影响

2.2.1 对土壤 pH 值的影响 用薰蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物进行覆盖处理,随凋落物的分解土壤 pH 值的动态变化见表 3。由表 3 可见:随着 3 种林木凋落物分解时间的延长,土壤 pH 值呈前期逐渐上升、至 8 个月时达到峰值、之后略有下降的变化趋势;但与实验初期的土壤 pH 值 (pH 3.98) 相比,各处理的土壤酸性均有不同程度减弱,表明 3 种凋落物对华南赤红壤的酸性有一定缓冲作用。实验初期,3 种凋落物对

土壤酸度的缓冲能力差异不大,实验进行 4 个月之后,薰蒴锥凋落物对土壤酸度的缓冲能力渐显,用薰蒴锥凋落物覆盖的土壤 pH 值均明显高于用湿地松和尾叶桉凋落物覆盖的土壤。实验结束时薰蒴锥凋落物覆盖的土壤 pH 值最高,用尾叶桉凋落物覆盖的土壤 pH 值次之,用湿地松凋落物覆盖的土壤 pH 值最低。在整个实验过程中,3 种林木凋落物覆盖的土壤 pH 值均显著高于无凋落物覆盖的土壤(对照) ($P < 0.05$)。方差分析结果表明:3 种林木凋落物分解对土壤 pH 值有显著影响。

表 3 在不同凋落物分解过程中土壤 pH 值的动态变化 ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

Table 3 Dynamic change of pH value of soil during decomposition process of different litters ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	不同分解时间的土壤 pH 值 pH value of soil at different decomposition times					
	2 个月 Two months	4 个月 Four months	6 个月 Six months	8 个月 Eight months	10 个月 Ten months	12 个月 Twelve months
CK	4.08±0.02Abc	3.65±0.05Aa	3.89±0.04Ab	4.31±0.01Ad	4.16±0.05Acd	4.45±0.17Ae
CF	4.72±0.08Bb	4.40±0.02BCa	4.98±0.07Cc	5.55±0.06Cd	5.53±0.04Cd	5.43±0.02Cd
PE	4.74±0.02Bb	4.28±0.06Ba	4.65±0.07Bb	5.14±0.07Bd	5.02±0.10Bcd	4.85±0.03ABbc
EU	4.78±0.07Bab	4.53±0.06Ca	4.90±0.04Cbc	5.43±0.07Cd	5.10±0.08Bc	5.12±0.17Cc

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different capitals in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$); 同行中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same row indicate the significant difference ($P < 0.05$).

²⁾ CK: 对照,无凋落物覆盖土壤 The control, soil without any litter covering; CF: 用薰蒴锥凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils.; PE: 用湿地松凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Pinus elliottii* Engelm.; EU: 用尾叶桉凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Eucalyptus urophylla* S. T. Blakely.

2.2.2 对土壤有机质含量的影响 用薰蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物进行覆盖处理,随凋落物的分解土壤有机质含量的动态变化见表 4。由表 4 可见:随凋落物的分解,土壤中有机质含量均呈波动的变化趋势,至实验结束时,经 3 种林木凋落物覆盖的土壤有机质含量总体上没有明显提高;与实验初期相比(土壤有机质含量 $17.85 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),对照组的土壤及经

3 种林木凋落物覆盖的土壤中有有机质含量均有不同程度下降。总体上看,薰蒴锥凋落物覆盖的土壤中有有机质含量显著高于无凋落物覆盖土壤(对照)和其他凋落物覆盖的土壤 ($P < 0.05$),而经湿地松和尾叶桉凋落物覆盖的土壤中有有机质含量与对照无显著差异。在整个实验过程中,3 种林木凋落物覆盖的土壤中有有机质含量总体上没有显著变化。

表 4 在不同凋落物分解过程中土壤有机质含量的动态变化 ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

Table 4 Dynamics change of organic matter content in soil during decomposition process of different litters ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	不同分解时间的土壤有机质含量/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ Organic matter content in soil at different decomposition times					
	2 个月 Two months	4 个月 Four months	6 个月 Six months	8 个月 Eight months	10 个月 Ten months	12 个月 Twelve months
CK	13.53±1.14Aa	15.86±0.25Ab	14.37±0.29Aab	14.83±0.59Aab	14.05±0.33Aab	14.24±0.41Aab
CF	14.19±1.52Aa	17.25±2.06Aa	16.49±0.59Ba	15.87±0.37Aa	16.59±0.72Ba	17.45±0.84Ba
PE	14.79±0.25Aa	14.94±0.88Aa	15.42±0.32ABa	15.85±0.80Aa	12.90±1.25Aa	14.84±1.10Aa
EU	12.01±0.49Aa	17.36±1.48Ad	15.63±0.60ABbcd	16.54±0.52Acd	13.80±0.29Aab	14.80±0.59Abc

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different capitals in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$); 同行中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same row indicate the significant difference ($P < 0.05$).

²⁾ CK: 对照,无凋落物覆盖土壤 The control, soil without any litter covering; CF: 用薰蒴锥凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils.; PE: 用湿地松凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Pinus elliottii* Engelm.; EU: 用尾叶桉凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Eucalyptus urophylla* S. T. Blakely.

2.2.3 对土壤碱解氮含量的影响 用藜蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物进行覆盖处理,随凋落物的分解土壤碱解氮含量的动态变化见表5。由表5可见:经藜蒴锥凋落物覆盖的土壤中碱解氮含量总体上显著高于对照和其他2种凋落物($P<0.05$),这可能与凋落物分解的难易程度及微生物对氮的竞争性吸收差异有关。3种林木凋落物覆盖的土壤中碱解氮含量的动态变化趋势与对照基本一致,均呈先升高后降低的变化趋势,其中,藜蒴锥凋落物覆盖土壤中碱解氮含量在处理10个月时达到最高,对照以及湿地松和尾叶

桉凋落物覆盖的土壤中碱解氮含量在处理8个月时达到最高。至实验结束时,经藜蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物覆盖的土壤中碱解氮含量分别比实验初期($33.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)增加了427.17%、66.59%和131.05%,而对照组土壤碱解氮含量也增加了111.54%。在实验过程中,藜蒴锥凋落物覆盖的土壤碱解氮含量提升幅度最大,从实验2个月时的 $50.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加到实验10个月时的 $182.93 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,这一结果与藜蒴锥凋落物中全氮含量较高、C/N比相对较低(见表1)也有一定关系。

表5 在不同凋落物分解过程中土壤碱解氮含量的动态变化($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

Table 5 Dynamic change of available alkaline N content in soil during decomposition process of different litters ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	不同分解时间的土壤碱解氮含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Available alkaline N content in soil at different decomposition times					
	2个月 Two months	4个月 Four months	6个月 Six months	8个月 Eight months	10个月 Ten months	12个月 Twelve months
CK	43.35±1.00Aa	48.97±2.34Ab	52.12±0.64Ab	72.24±2.38Ac	69.47±2.24Ac	69.83±1.79ABc
CF	50.48±1.25BCa	91.04±1.60Cb	131.08±6.91Cc	136.76±5.40Cc	182.93±7.43Bd	174.02±15.22Cd
PE	56.53±4.40Ca	57.69±3.18ABa	57.50±1.01Aa	77.64±4.66Ab	60.00±1.78Aa	54.99±1.86Aa
EU	46.34±2.79ABa	63.57±6.77Bab	87.87±6.76Bcd	102.29±5.22Bd	75.53±9.29ABc	76.27±9.56Bbc

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示差异显著($P<0.05$) Different capitals in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$); 同行中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same row indicate the significant difference ($P<0.05$).

²⁾ CK: 对照,无凋落物覆盖土壤 The control, soil without any litter covering; CF: 用藜蒴锥凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils.; PE: 用湿地松凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Pinus elliottii* Engelm.; EU: 用尾叶桉凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Eucalyptus urophylla* S. T. Blakely.

2.2.4 对土壤速效磷含量的影响 土壤中速效磷含量是衡量土壤磷供应水平的重要指标。用藜蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物进行覆盖处理,随凋落物的分解土壤速效磷含量的动态变化见表6。由表6可见:在实验前期(2个月),用湿地松和尾叶桉凋落物覆盖的土壤速效磷含量均低于对照及藜蒴锥凋落物处理组;此后,随实验时间的延长,各凋落物处理组土壤速效

磷含量均高于对照;在实验结束时,仅尾叶桉凋落物处理组土壤速效磷含量与对照有显著差异。在实验过程中,对照及各处理组土壤速效磷含量的动态变化基本一致,均表现为随着分解时间的延长略有波动但总体下降的趋势,其中,用藜蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物覆盖的土壤速效磷含量分别较实验初期($6.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)下降了88.16%、88.16%和85.87%。

表6 在不同凋落物分解过程中土壤速效磷含量的动态变化($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

Table 6 Dynamic change of available P content in soil during decomposition process of different litters ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	不同分解时间的土壤速效磷含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Available P content in soil at different decomposition times					
	2个月 Two months	4个月 Four months	6个月 Six months	8个月 Eight months	10个月 Ten months	12个月 Twelve months
CK	6.070±0.085ABd	1.194±0.067Ab	1.719±0.059Ac	1.498±0.401Abc	0.538±0.060Aa	0.643±0.046Aa
CF	6.225±0.263Be	1.395±0.029Ab	2.807±0.294Bd	1.966±0.054Ac	0.775±0.182ABa	0.741±0.032ABa
PE	5.700±0.281ABd	1.223±0.125Aab	2.498±0.281Bc	2.913±0.303Ac	1.171±0.213Cab	0.741±0.032ABa
EU	5.613±0.226Ad	1.768±0.076Bb	2.496±0.124Bc	2.280±0.303Abc	0.934±0.069BCa	0.884±0.123Ba

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示差异显著($P<0.05$) Different capitals in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$); 同行中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same row indicate the significant difference ($P<0.05$).

²⁾ CK: 对照,无凋落物覆盖土壤 The control, soil without any litter covering; CF: 用藜蒴锥凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils.; PE: 用湿地松凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Pinus elliottii* Engelm.; EU: 用尾叶桉凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Eucalyptus urophylla* S. T. Blakely.

2.2.5 对土壤速效钾含量的影响 用藜蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物进行覆盖处理,随凋落物的分解土壤速效钾含量的动态变化见表 7。由表 7 可见:随实验时间的延长,对照及 3 种林木凋落物处理组的土壤速效钾含量均呈“逐渐上升—急剧下降—急剧上升—趋于平稳”的变化趋势,且均在处理 8 个月时最低。在实验结束时,藜蒴锥凋落物处理组的土壤速效钾含量最高,由实验初期的 $19.82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加至 $83.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增幅为 319.93%;尾叶桉凋落物处理组土壤速效钾含量为 $56.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增幅为 184.36%;

而湿地松凋落物处理组的土壤速效钾含量变化较小,增幅仅为 26.89%,且与对照无显著差异。3 种林木凋落物处理组的土壤速效钾含量有显著差异 ($P < 0.05$)。由表 7 还可以看出:在实验结束时,对照组和湿地松凋落物处理组的土壤速效钾含量均低于实验初期,表明土壤速效钾和无效钾之间存在动态的变化过程。用 3 种林木凋落物覆盖处理的土壤中速效钾含量在实验开始后的第 8 个月(当年 12 月份)急剧下降,可能的原因为:气温降低导致凋落物分解缓慢,对土壤速效钾的补充量减少。

表 7 在不同凋落物分解过程中土壤速效钾含量的动态变化 ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

Table 7 Dynamic change of available K content in soil during decomposition process of different litters ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	不同分解时间土壤速效钾含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Available K content in soil at different decomposition times					
	2 个月 Two months	4 个月 Four months	6 个月 Six months	8 个月 Eight months	10 个月 Ten months	12 个月 Twelve months
CK	19.86±0.01Ad	20.20±0.00Ad	15.07±0.84Ab	6.85±0.02Aa	16.05±0.18Abc	16.88±0.51Ac
CF	66.14±3.32Dab	70.73±0.03Dbc	78.71±0.02Dbcd	57.49±0.02Ca	85.85±0.78Dd	83.23±7.93Ccd
PE	29.80±0.01Bbc	30.32±0.01Bc	28.46±0.00Bb	16.95±0.00ABa	26.37±0.57Bb	25.15±2.30Ab
EU	39.70±5.75Cab	50.54±0.00Cc	48.53±0.00Cbc	27.22±7.42Ba	54.25±0.23Cc	56.36±1.81Bc

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different capitals in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$); 同行中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same row indicate the significant difference ($P < 0.05$).

²⁾ CK: 对照,无凋落物覆盖土壤 The control, soil without any litter covering; CF: 用藜蒴锥凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils.; PE: 用湿地松凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Pinus elliottii* Engelm.; EU: 用尾叶桉凋落物覆盖土壤 Soil covered with litter from *Eucalyptus urophylla* S. T. Blakely.

3 讨论和结论

研究表明:藜蒴锥凋落物的初始有机碳含量低于尾叶桉和湿地松凋落物,其有机碳释放率也低于尾叶桉凋落物,可能与各凋落物的化学性质不同及在微生物的作用下呈现出不同的分解速率有关。随着易分解有机物(如多糖、淀粉及低分子量有机物)含量的减少,不同凋落物的有机碳矿化速率和累积比率有所不同^[14]。藜蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物的分解速率明显不同,年失重率分别为 26.48%、13.80% 和 28.15%。在分解过程中,凋落物的分解速率和失重率除受外界环境条件(如温度和水分)的影响外,还决定于其本身的性质,尤其是 C/N 比和木质素含量。一般而言,C/N 比高的凋落物其组织中氮的比例较低,往往成为凋落物分解的制约因子之一^[15]。湿地松凋落物的 C/N 比高,且其针叶质地粗硬、纤维素含量高、透水性能差,均是影响其分解速率的重要因素。根据 C/N 比判断,藜蒴锥凋落物的年失重率应大于

尾叶桉,但本实验结果却显示藜蒴锥凋落物的失重率小于尾叶桉,推测其原因可能与藜蒴锥叶表面的角质层有关。Gallardo 等^[16]的研究结果显示:在凋落物分解后期,角质类物质与残留量呈显著正相关,因角质层对真菌菌丝的入侵有阻滞作用,从而导致凋落物分解减慢。由此可见,凋落物的分解过程受多种因素影响,不能仅凭凋落物的 C/N 比来估测其分解速率。

上述研究结果还显示:藜蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物对土壤酸度的缓冲作用有一定差异,实验结束时藜蒴锥凋落物覆盖土壤 pH 值最高、湿地松凋落物覆盖土壤 pH 值最低,与凋落物分解速率及分解过程中盐基释放数量的差异有关。湿地松凋落物分解较缓慢,因而对土壤酸度的影响小于藜蒴锥凋落物。

与供试土壤的初始有机质含量相比,实验结束时藜蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物覆盖的土壤有机质含量均有所下降,原因可能在于:1) 在水分淋溶和微生物分解的共同作用下,土壤有机质不断矿化分解,而凋落物分解速率低于其矿化速率,使土壤有机质含量下降;2) 土壤微生物的生长需要碳源,因而将土壤中

的部分有机质作为其碳源。

3种林木凋落物覆盖土壤中碱解氮含量均有一定程度的增加,这与凋落物中全氮的净释放模式相符;而对照组土壤碱解氮含量也呈现缓慢的持续增加的趋势,可能与土壤有机氮的矿化有关。湿地松凋落物覆盖土壤的碱解氮含量在实验后期低于对照,原因可能是湿地松凋落物 C/N 比值较高,造成微生物从土壤中吸收氮素用于自身生长,从而使土壤碱解氮含量在实验后期低于对照。这一结果与徐秋芳等^[7]和 Aoyama 等^[11]的研究结果一致。

实验初期3种林木凋落物覆盖土壤的速效磷含量大幅下降,而覆盖在土壤上的3种林木凋落物中的磷含量却有一定程度的升高,呈现磷富集的状况,这一现象在其他林分凋落物养分动态变化的研究中也得到证实^[17-19]。黧蒴锥、湿地松和尾叶桉凋落物覆盖土壤的速效磷含量下降可能与凋落物中磷富集有关,在凋落物分解过程中微生物利用土壤磷进行分解代谢,但随凋落物的分解,土壤磷得到一定的补充,使土壤有效磷含量波动减小,但是仍呈现下降趋势。

湿地松凋落物的全钾为富集模式;而尾叶桉和黧蒴锥凋落物的全钾为净释放模式,且黧蒴锥凋落物的全钾释放率低于尾叶桉,而前者覆盖土壤的速效钾含量高于尾叶桉凋落物。这可能是因为在微生物作用下,土壤中无效钾和缓效钾可以转化为易被植物吸收的速效钾,并且因凋落物的不同其转化速率也不同,进而导致土壤速效钾含量的变化与凋落物释放率不一致。在实验过程中,3种林木凋落物覆盖土壤的速效钾均有不同程度提高,说明土壤中的一部分速效钾来自于凋落物中钾的释放^[17-18],而另一部分速效钾则来自土壤缓效钾或无效钾的风化释放。

在3种林木凋落物的分解过程中,凋落物养分的释放对土壤养分的影响规律基本一致。土壤速效磷含量均显著下降,与此同时,凋落物中的磷则有一定的富集;土壤碱解氮和速效钾含量提高,则凋落物中养分释放;黧蒴锥凋落物可以显著增加土壤有机质和碱解氮含量。不同树种的凋落物对土壤养分含量的影响程度不同,产生这种差异的原因可能与凋落物化学组成和不同元素移动性的差异等有关。

参考文献:

[1] MAGUIRE D A. Branch mortality and potential litter fall from Douglas-fir tree in stands of varying density[J]. Forest Ecology and

Management, 1994, 70: 41-53.

- [2] WITKAMP M. Microbial population of leaf litter in relation to environmental conditions and decomposition[J]. Ecology, 1963, 44: 370-377.
- [3] LIU C J, ILVESNIEMI H, BERG B, et al. Aboveground litterfall in Eurasian forests[J]. Journal of Forestry Research, 2003, 14: 27-34.
- [4] CHAPIN F S III, MATSON P A, MOONEY H A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology [M]. New York: Springer-Verlag New York Inc., 2002.
- [5] 张浩,庄雪影. 华南4种乡土阔叶树种枯落叶分解能力[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2395-2403.
- [6] 杨万勤,邓仁菊,张健. 森林凋落物分解及其对全球气候变化的响应[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2889-2895.
- [7] 徐秋芳,钱新标,桂祖云. 不同林木凋落物分解对土壤性质的影响[J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(1): 27-31.
- [8] BEMHARD-REVERSAT F. The leaching of *Eucalyptus* hybrids and *Acacia auriculiformis* leaf litter: Laboratory experiments on early decomposition and ecological implications in Congolese tree plantations[J]. Applied Soil Ecology, 1999, 12: 251-261.
- [9] 刘长怀,罗汝英. 宁镇丘陵区森林土壤腐殖质的化学特征[J]. 南京林业大学学报, 1990, 14(1): 1-6.
- [10] 胡承彪,韦源连,梁宏温,等. 两种森林凋落物分解及其土壤效应的研究[J]. 广西农业大学学报, 1992, 11(4): 47-52.
- [11] AOYAMA M, NOZAWA T. Microbial biomass nitrogen and mineralization-immobilization processes of nitrogen in soil incubated with various organic materials[J]. Soil Science Plant Nutrition, 1993, 39: 23-32.
- [12] 梁宏温. 田林老山中山两类森林凋落物研究[J]. 生态学杂志, 1994, 13(1): 21-26.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [14] 吴庆标,王效科,欧阳志云. 活性有机碳含量在凋落物分解过程中的作用[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1295-1299.
- [15] 李淑兰,陈永亮. 不同落叶林林下凋落物的分解与养分归还[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2004, 28(5): 59-62.
- [16] GALLARDO A, MERINO J. Leaf decomposition in two Mediterranean ecosystems of Southwest Spain: Influence of substrate quality[J]. Ecology, 1993, 74: 152-161.
- [17] 杨玉盛,陈光水,郭剑芬,等. 杉木观光木混交林凋落物分解及养分释放的研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(3): 275-282.
- [18] 郭晋平,丁颖秀,张芸香. 关帝山华北落叶松林凋落物分解过程及其养分动态[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5684-5695.
- [19] 林开敏,章志琴,叶发茂,等. 杉木人工林下杉木、楠木和木荷叶凋落物分解特征及营养元素含量变化的动态分析[J]. 植物资源与环境学报, 2010, 19(2): 34-39.

(责任编辑:张明霞)