

文章编号:1001-1498(2016)02-0202-07

西南桦和尾巨桉凋落叶分解及其与土壤性质的相关性

郝建^{1,2}, 莫慧华^{1,2}, 黄弼昌³, 周燕萍³, 蔡道雄^{1,2*}

(1. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600; 2. 广西友谊关森林生态系统定位观测研究站, 广西 凭祥 532699; 3. 天峨县林朵林场, 广西 天峨 547300)

摘要: [目的] 探讨南亚热带西南桦和尾巨桉人工纯林的凋落叶分解动态及其与土壤化学性质之间的相关关系。 [方法] 采用原位分解袋法研究凋落叶的分解过程。 [结果] 表明: 西南桦、尾巨桉人工林凋落叶分解系数分别为 0.96 a^{-1} 和 0.88 a^{-1} 。在为期 12 个月的分解试验中, 2 种凋落叶有机 C 含量在整个分解过程中呈逐渐下降趋势; 全 K 含量和 C/N 比在分解前期迅速下降, 之后趋于平缓; 全 N 含量和全 P 含量在整个分解过程中呈逐渐上升趋势; 2 种凋落叶 N/P 比则呈先升高后下降的趋势。无论是分解前期还是分解后期, 凋落叶质量损失与 N 含量均呈显著正相关(前期 $R=0.877$; 后期 $R=0.855$), 与 C/N 均呈显著负相关(前期 $R=-0.735$; 后期 $R=-0.697$)。与尾巨桉林地土壤性质相比, 西南桦凋落叶分解提高了林地 0~10、10~20 cm 土壤的有机 C、全 N、全 P、全 K、N/P, 对 20~30 cm 土壤有机 C、全 K、pH 值、C/N、N/P 则未产生显著影响。相关分析表明: 凋落叶初始有机 C 含量与土壤有机 C、全 N、全 P、全 K、N/P 显著相关; 凋落叶初始全 N 含量与土壤全 N、pH 值、C/N 显著相关。 [结论] 凋落叶的养分含量与土壤养分的关系紧密; 与尾巨桉相比, 西南桦凋落叶的养分含量明显较高, 分解速率更快, 释放到土壤中的养分也更多。

关键词: 西南桦; 尾巨桉; 凋落叶; 养分含量; 分解速率; 化学性质; 南亚热带

中图分类号: S714

文献标识码: A

Leaf Litter Decomposition and Its Relationship with Soil Properties in *Betula alnoides* and *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*

HAO Jian^{1,2}, MO Hui-hua^{1,2}, HUANG Bi-chang³, ZHOU Yan-ping³, CAI Dao-xiong^{1,2}

(1. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Guangxi, China; 2. Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang 532699, Guangxi, China; 3. Linduo Forest Farm of Tian'e County, Tian'e 547300, Guangxi, China)

Abstract: [Objective] To study the decomposition dynamics of leaf litter and its relationship with soil chemical properties in two young plantation stands (monocultures of *Betula alnoides* and *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*) in subtropical China. [Method] The decomposition processes of leaf litter were measured using mesh nylon bag method. [Result] The decomposition coefficients of leaf litter of *B. alnoides* and *E. urophylla* × *E. grandis* were 0.96 a^{-1} and 0.88 a^{-1} , respectively. During the 12-month decomposition, the organic carbon contents declined gradually in the two leaf litter. The total K and C/N ratio rapidly decrease at the early stage, and tended towards stability thereafter. The total N and total P in the two leaf litter increased gradually, whereas the N/P ratio increased at first and then decreased throughout the entire decomposition. In both early and late phase of decomposition, the dry mass loss of the leaf litter was correlated positively with the N contents ($R=0.877$ and 0.855 , respectively), and a negative relation was observed with C/N ratio ($R=-0.735$ and -0.697 , respectively).

收稿日期: 2015-06-09

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目; 广西速生、珍优树种选择与营林可持续发展的研究(桂科攻 11217003).

作者简介: 郝建, 工程师. 主要研究方向: 主要从事南亚热带人工林培育科研工作. E-mail: xuzhouhaojian@126.com.

* 通讯作者.

Compared with the *E. urophylla* × *E. grandis* stand, the *B. alnoides* had significantly higher contents of soil organic carbon (SOC), total N, total P, total K as well as higher N/P ratio in 0–10 and 10–20 cm soil depth. However, the litter decomposition had no significant effects on SOC, total K, pH, C/N ratio and N/P ratio in 20–30 cm soil depth. The correlation analysis revealed that the organic C of leaf litter was significantly related to SOC, total N, total P, total K and N/P ratio, whereas the total N of leaf litter was significantly related to soil total N, pH and C/N ratio. [Conclusion] The nutrient contents of leaf litter were found to be significantly correlated with the soil nutrient condition. Compared with the *E. urophylla* × *E. grandis*, the nutrient contents of leaf litter were significantly higher in *B. alnoides*, and subsequently, faster decomposition rate of leaf litter resulted in higher soil nutrient contents.

Keywords: *Betula alnoides*; *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*; leaf litter; decomposition rate; nutrient content; chemical properties; subtropical China

森林凋落物通过分解参与森林生态系统物质循环和能量转换,逐步把养分输入给土壤^[1],影响土壤的理化性质、养分及生物活性。凋落物分解速率的高低在一定程度上影响了土壤的养分状况^[2-3],加快其分解,可促进养分循环,改善土壤肥力。在我国亚热带地区,人工造林、再造林已成为森林培育和经营的重要方式;然而,随着大规模、持续单一人工针叶林如马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)和杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)等或桉树(*Eucalyptus* sp.)等外来树种短周期工业用材林的发展,造成了诸如生物多样性减少、土壤退化、生态系统稳定性降低等问题^[4]。为促进人工林的多目标经营,提高人工林的生态功能和经济价值,许多乡土珍贵阔叶树种如西南桦(*Betula alnoides* Buch.-Ham. ex D. Don)、格木(*Erythrophleum fordii* Oliv.)、红椎(*Castanopsis hystrix* Miq.)等,逐渐被用于亚热带人工林营建的生产实践中^[5]。近年来,有关不同林分对土壤养分影响方面的研究在国内已有报道;然而,对乡土珍贵树种和外来树种用于人工林营建后凋落物养分状况与土壤养分关系的研究仍相对缺乏。西南桦是广西重要的优良乡土树种,具有速生、适应性强、材性上等和经济效益好等特点;桉树是世界著名的速生树种,也是世界重要的硬质阔叶树之一,具有适应性强,生长快、产量高、周期短、材油兼备、用途广泛等优良性状,是增加农民收入、壮大林产业的一条有效途径。为此,本文以南亚热带具有相同经营历史与立地条件的乡土珍贵树种西南桦和外来树种尾巨桉(*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*)人工林为对象,研究比较不同人工林凋落物养分状况和土壤养分含量及凋落物养分含量对土壤性质的影响,旨在

更深入认识该地区不同人工林生态系统的生态功能,以期更有效地对人工林进行经营管理。

1 研究区概况

研究地点位于广西天鹅县林朵林场,海拔600~900 m,属亚热带季风气候。年均最高气温37.9℃,最低气温2.9℃,年平均气温20.9℃,年均积温7 475.2℃,平均日照时数1 232.2 h,年平均降水量1 253.6 mm,年平均无霜期336 d。林场造林地土壤为砂页岩发育而成的黄壤、黄红壤和红壤,大部分林地土层厚度约100 cm,表土层厚度10~30 cm,土壤质地多为壤土或轻壤土,结构疏松。植被类型为亚热带季雨林植被带,乔木主要有杉木、桉树、马尾松、八角(*Illicium verum* Hook. f.)等;灌木有鸭脚木(*Schefflera minutistellata* Merr. ex Li)、野牡丹(*Melastoma candidum* D. Don)、山黄麻(*Trema tomentosa* (Roxb.) Hara)等;草本有铁芒萁(*Dicranopteris linearis* (Burm.) Underw.)、五节芒(*Miscanthus floridulus* (Lab.) Warb. ex Schum. et Laut.)、黄毛草(*Pogontherum paniceum* (Lam.) Hack.)、龙须草(*Eulaliosis binate* (Retz.) C. E. Hubb.)等^[6]。

选择2007年以该区域主要的造林、再造林树种营建的西南桦纯林和尾巨桉纯林人工林生态系统为研究对象。造林前2种林分造林地均为杉木采伐迹地,立地条件基本一致,造林后的森林经营管理方式相同。林分基本情况见表1。

2 研究方法

2.1 试验设计

2012年5月,分别在西南桦和尾巨桉2种人工林内,各设置大小为20 m × 20 m的固定样地4个,

表1 研究样地林分基本情况

林分类型	林龄/a	树高/m	胸径/cm	林分密度/(株·hm ⁻²)	海拔/m	坡向	坡度/(°)	土层厚度/cm	腐殖质厚/cm
西南桦	5	12.69 ± 1.13	13.13 ± 1.46	1 335	700	半阳	25	100	1
尾巨桉	5	16.45 ± 3.75	14.70 ± 4.19	1 245	650	半阳	25	100	1

每个固定样地间至少间隔 12 m 以上。2012 年 6 月,从西南桦和尾巨桉各自林下收集新近自然凋落、上层未分解的凋落叶样品(为避免破坏样地,凋落叶样品均收集自固定样地以外),带回实验室后放置于地板上风干至恒质量^[7]。分别称取 10 g 风干的 2 种凋落叶样品装入尼龙网质分解袋(分解袋规格为孔径 1 mm,尺寸 25 cm × 25 cm),然后将装好袋的 2 种凋落叶样品于同一天放回到初始样地中^[8]。按样地坡度大小将凋落叶袋倾斜放置,并用铁针固定。每个固定样地分 5 个点放置凋落叶袋,每个点放置 5 袋,每个树种总计放置 100 袋。

2.2 凋落叶样品采集与测定

2012 年 6 月至 2013 年 6 月间,每隔 3 个月从西南桦和尾巨桉各自样地中随机取回 20 袋凋落叶分解袋(4 个固定样地 × 5 袋/每次每个样地),用镊子小心地清除侵入到分解袋内的土壤颗粒、植物根和菌体等,带回实验室置入 70℃ 烘箱中烘干至恒质量,称干质量并计算干质量残留率和分解速率^[8]。随后将样品磨粉过 0.25 mm 细筛,用于凋落物养分含量的测定。凋落叶有机 C 含量采用重铬酸钾氧化-外加热法;全 N 采用凯氏定氮法;P、K 含量用等离子发射光谱法测定^[9]。

2.3 土壤样品采集与理化性质分析

凋落叶分解试验结束后(2013 年 6 月),在每个固定样地内(采样点位于凋落叶分解袋之外)用土钻(直径 8 cm)采集 0~10、10~20、20~30 cm 深度的土壤,每层各取 5 钻,除去动植物残体和石块等杂质,并将同一固定样地内同层的 5 钻土壤充分混合为 1 个土样后装入塑料袋中带回实验室。采集的土样在实验室内自然风干后一分为二,其中一份过 2 mm 土壤筛后用于土壤 pH 值测定;另外一份过 0.25 mm 细筛,用于其他土壤理化性质的分析。土样总有机 C、全 N、全 P 和全 K 含量测定方法同凋落叶测定方法,土壤 pH 值(水土比 2.5:1)采用玻璃电极测定。

2.4 数据处理与分析

采用常用的 Olson^[10]单指数模型计算西南桦和尾巨桉凋落叶分解质量损失系数:

$$X_t / X_0 = e^{-kt}$$

式中: X_t 表示分解时间 t 时刻的凋落叶残体质量, X_0 表示凋落叶初始质量(kg), e 是自然对数的底, k 表示凋落物的分解系数, t 是分解时间(月)。

采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和多重比较(LSD)检验不同林分之间凋落叶养分含量、分解速率、分解系数 k 和土壤化学性质之间的差异。凋落叶养分含量与土壤化学性质之间的关系采用 Spearman 相关分析法进行分析。所有方差分析均在统计分析软件 SPSS 16.0 中进行,显著性水平设为 $\alpha = 0.05$ 。采用 Sigmaplot10.0 作图。

3 结果与分析

3.1 凋落叶分解残存率的动态变化与分解系数

从图 1 可看出:西南桦和尾巨桉凋落叶的分解分为 2 个阶段,在分解的前 9 个月,凋落叶残存率下降较快,即为凋落叶的快速失重期;在分解的后 3 个月,凋落叶残存率下降缓慢,即为凋落叶的慢速失重期。经过 12 个月的分解,西南桦和尾巨桉残存率分别为 38.2% 和 41.5%。在整个分解期间,西南桦凋落叶的分解速率始终高于尾巨桉凋落叶的($p < 0.05$),西南桦凋落叶分解系数为 0.96 a^{-1} ,明显高于尾巨桉凋落叶的 0.88 a^{-1} 。

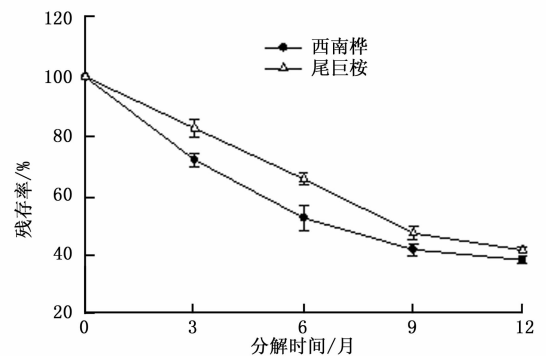


图1 西南桦和尾巨桉凋落叶残存率的动态变化

3.2 凋落叶基本化学性质及其养分动态变化

表 2 表明:西南桦凋落叶的有机 C、全 P、全 K 含量显著高于尾巨桉;尾巨桉凋落叶的 N/P 比显著高于西南桦;2 种凋落叶的全 N 含量和 C/N 比则无显著差异。

表2 西南桦和尾巨桉凋落叶基本化学性质

项目	西南桦	尾巨桉
有机C/(g·kg ⁻¹)	54.97 ± 1.02a	52.80 ± 0.88b
全N/(g·kg ⁻¹)	1.32 ± 0.06a	1.29 ± 0.04a
全P/(g·kg ⁻¹)	0.05 ± 0.00a	0.04 ± 0.00b
全K/(g·kg ⁻¹)	0.48 ± 0.02a	0.28 ± 0.02b
C/N	41.73 ± 2.05a	40.95 ± 1.37a
N/P	29.16 ± 1.45b	32.09 ± 1.32a

注:表中同一行不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

在为期12个月的分解试验中,西南桦和尾巨桉2种凋落叶养分含量呈不同的变化趋势(图2),其中,2种凋落叶有机C含量在整个分解过程中呈逐渐下降的趋势,分解末期西南桦和尾巨桉凋落叶有机C含量较初始C含量分别下降37.7%和39.5%;全K含量和C/N比在分解前期(前6个月)迅速下降,之后趋于平缓;全N含量和全P含量在分解前

期呈逐渐上升趋势,之后略有下降,分解末期西南桦和尾巨桉凋落叶全N含量较初始N含量分别升高20.4%和30.1%,全P含量较初始P含量分别升高11.4%和34.1%;2种凋落叶N/P比则呈先升高后下降的趋势。

整个分解期间,不同树种凋落叶养分含量的动态变化也存在差异(图2),其中,西南桦凋落叶有机C含量始终高于尾巨桉;2种凋落叶初始全N含量差异不大,但随着分解时间的延长,西南桦凋落叶全N含量高于尾巨桉,到分解末期西南桦全N含量反而低于尾巨桉;在分解前3个月,西南桦凋落叶全P含量、全K含量和C/N比高于尾巨桉,而在分解的后6个月,西南桦凋落叶全P含量、全K含量和C/N比低于尾巨桉。

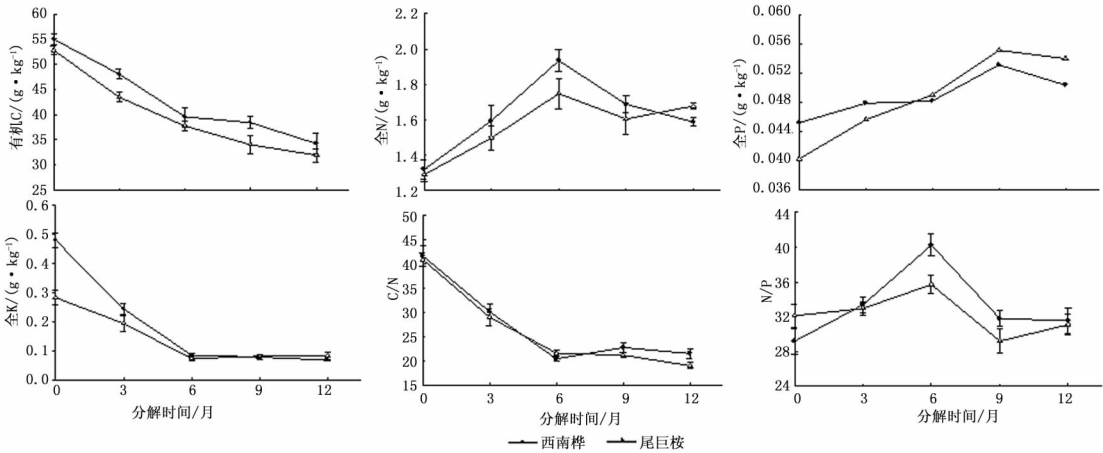


图2 西南桦和尾巨桉凋落叶分解过程中养分的动态变化

3.3 土壤化学性质

表3表明:除土壤C/N外,土壤各化学性质指标均随土层深度增加而降低;林分对土壤化学性质也产生显著影响,从0~10、10~20 cm土层看,西南桦土壤有机C、全N、全P、全K均显著高于尾巨桉

($P < 0.05$);2种林分土壤pH值和C/N仅在10~20 cm土层差异显著($P < 0.05$);从20~30 cm土层看,西南桦林地土壤全N和全P含量显著高于尾巨桉($P < 0.05$),而林分对该层土壤有机C、全K、pH值、C/N、N/P影响不显著($P > 0.05$)。

表3 西南桦和尾巨桉林地0~30 cm土壤化学性质

土壤化学性质	西南桦			尾巨桉		
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
有机C/(g·kg ⁻¹)	34.15 ± 1.39aA	24.98 ± 1.55bA	18.12 ± 1.59cA	31.33 ± 1.03aB	21.88 ± 1.73bB	16.90 ± 0.55cA
全N/(g·kg ⁻¹)	2.14 ± 0.05aA	1.27 ± 0.07bA	0.86 ± 0.08cA	2.05 ± 0.07aB	1.08 ± 0.05bB	0.76 ± 0.04cB
全P/(g·kg ⁻¹)	0.49 ± 0.02aA	0.40 ± 0.01bA	0.34 ± 0.02cA	0.40 ± 0.01aB	0.30 ± 0.03bB	0.25 ± 0.03cB
全K/(g·kg ⁻¹)	16.70 ± 0.57aA	14.46 ± 0.84bA	11.68 ± 0.45cA	15.06 ± 0.32aB	13.03 ± 0.41bB	10.93 ± 0.80cA
pH值	4.56 ± 0.10aA	4.51 ± 0.10aA	4.45 ± 0.11aA	4.39 ± 0.18aA	4.37 ± 0.14aB	4.36 ± 0.04aA
C/N	15.05 ± 0.94cA	23.29 ± 0.32aA	21.00 ± 0.76bA	15.28 ± 0.76bA	20.20 ± 0.77aB	22.36 ± 1.92aA
N/P	4.38 ± 0.17aB	2.71 ± 0.17bB	2.58 ± 0.43bA	5.18 ± 0.03aA	3.64 ± 0.48bA	3.07 ± 0.45bA

注:同一林分同一指标的不同小写字母表示土层间差异显著($P < 0.05$);同一土层同一指标的不同大写字母表示不同林分间差异显著($P < 0.05$);表中数据均为4次重复的平均值 ± 标准误。

3.4 凋落叶养分含量对凋落物分解的影响

西南桦、尾巨桉凋落物养分含量不同具有不同的分解速率,而凋落叶不同的养分特征与分解过程中质量损失的相关关系也不同。表4表明:分解前期,凋落叶质量损失与N含量和N/P显著正相关(R

分别为0.877和0.812),与C/N显著负相关($R = -0.735$);而分解后期,凋落叶质量损失与N含量显著正相关($R = 0.855$),与C/N显著负相关($R = -0.697$)。

表4 凋落叶质量损失与养分含量的相关关系

凋落叶分解	C	N	P	K	C/N	N/P
分解前期(前6个月)	-0.512(0.112)	0.877(0.022)	-0.190(0.718)	0.426(0.184)	-0.735(0.044)	0.812(0.037)
分解后期(后6个月)	0.353(0.493)	0.855(0.030)	-0.268(0.607)	-0.482(0.136)	-0.697(0.049)	-0.320(0.537)

注:表中数值为 Spearman's 相关系数,括号中数值为显著性水平。

3.5 凋落叶养分含量对土壤化学性质的影响

2种人工林的初始凋落叶养分含量与0~10 cm土壤化学性质间的相关分析结果(表5)表明:凋落叶初始有机C含量与土壤有机C、全N、全P、全K、N/P显著或极显著相关;凋落叶初始全N含量与土壤全N、pH值显著或极显著相关;凋落叶初始全P

含量和N/P与土壤全P、全K、N/P显著或极显著相关;凋落叶初始全K含量则与土壤全N、全P、全K、pH值、N/P显著或极显著相关;而凋落叶初始C/N比与土壤各化学性质(除全N外)的相关性均不显著。

表5 初始凋落叶养分含量与0~10 cm土壤化学性质间的相关系数

凋落叶初始养分含量	土壤化学性质						
	有机C	全N	全P	全K	pH值	C/N	N/P
有机C	0.578 *	0.586 *	0.898 * *	0.528 *	0.469	-0.236	-0.910 * *
全N	-0.028	0.880 * *	0.483	0.213	0.572 *	-0.387	-0.290
全P	0.455	0.465	0.714 * *	0.923 * *	0.341	0.112	-0.745 * *
全K	0.220	0.509 *	0.886 * *	0.926 * *	0.559 *	-0.140	-0.946 * *
C/N	0.153	-0.633 *	0.195	0.191	-0.183	0.410	-0.381
N/P	-0.485	-0.048	-0.490 *	-0.825 * *	-0.028	-0.427	0.611 *

注:*表示 $P < 0.05$; **表示 $P < 0.01$ 。

4 讨论与结论

分解系数 k 的生态学意义即为凋落物分解速率的快慢, k 值越大,分解越快。本研究中,西南桦和尾巨桉2种凋落叶分解系数分别为 0.96 a^{-1} 和 0.88 a^{-1} ,西南桦凋落叶分解比尾巨桉快。宋新章等^[11]研究我国鼎湖山小叶青冈栎(*Cyclobalanopsis gracilis* (Rehd. et Wils.) Cheng et T. Hong)和毛竹(*Phyllostachys heterocycla* (Carr.) Mitford cv. Pubescens)2种凋落叶分解特征时发现,其 k 值分别为 0.89 a^{-1} 和 1.05 a^{-1} ,与本研究结果的 k 值差异不大。一般认为,在大尺度的气候带下,气候因素如年均气温(MAT)、年均降水(MAP)、实际蒸散(AET)等对凋落物的分解起主要的控制作用。唐仕姍等^[12]研究发现,我国森林生态系统凋落叶分解系数 k 值为 $0.13 \sim 1.80 \text{ a}^{-1}$,与郭忠玲等^[13]研究发现的 $0.10 \sim 2.17 \text{ a}^{-1}$ 差异不大,而全球陆地生态系统的分解系数 k 值变化较大,为 $0.006 \sim 4.993 \text{ a}^{-1}$ ^[14]。造成分

解速率产生差异的主要原因在于全球陆地森林生态系统森林类型多样、地理地貌特征丰富、自然气候条件复杂、环境因子空间异质性大和复杂性高,因而,凋落物分解速率的空间异质性也大;然而,笔者的研究对象为南亚热带同一地区2种类型的林分,这2种森林生态系统仅仅是全球陆地生态系统的一部分,因而其 k 值也在此范围内。此外,我国森林凋落叶分解速率随气候带的不同呈规律性变化,即分解速率从大到小依次为热带>亚热带>温带^[12]。刘颖等^[15]在研究我国温带4种森林类型凋落物分解动态时得出,阔叶红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)林、岳桦(*Betula ermanii* Cham.)林、红松云杉(*Picea jezoensis* var. *microsperma*)冷杉(*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim)林、岳桦云杉冷杉林的凋落物分解系数为 $0.25 \sim 0.47 \text{ a}^{-1}$,明显低于本研究的 k 值。这也进一步证实了亚热带森林凋落叶分解速率明显高于温带的结论。

2种森林凋落叶在整个分解过程中,有机C浓

度始终呈逐渐下降的趋势,这可能是由于该地区年均温始终处于相对较高的水平,即使是冬天,地温也能达到 10°C 左右^[16]。在较高的温度下,与枯落物分解有关的动物和微生物活性、酶活性等始终维持在较高的水平,因而,凋落叶的有机C始终处于分解释放状态。2种凋落叶N和P的养分动态均呈先富集后释放的现象,但富集阶段持续时间的长短因养分元素的不同而不同。凋落叶N浓度在分解的前6个月内迅速积累,后6个月则迅速释放,但分解末期时凋落叶N浓度仍高于初始N浓度。凋落叶P浓度在分解的前9个月迅速积累,后3个月逐渐释放,分解末期时凋落叶P浓度也高于初始P浓度,这与游巍斌等^[17]的研究结果有差异。游巍斌等^[17]研究发现,凋落叶N浓度在分解后期出现富集现象,P则处于波动的富集状态,并认为凋落物P分解与气候因子密切相关,尤其是温度和湿度。本研究中,凋落叶K浓度在分解的前6个月迅速释放,后6个月趋于平稳,可能是因为分解的前6个月(即2012年6月至2012年11月)主要为该区的雨季,较高的温湿度等环境条件使凋落叶分解速率加快(图1),因而K的释放也较快;而分解的后6个月(即2012年12月至2013年5月)主要为该区的干季,因而,凋落叶K的释放也较慢。相关研究表明,凋落物K浓度随着分解时间的延长呈单调递减趋势,呈淋溶—释放模式^[18]。

影响凋落物分解的因素众多,除环境影响因子外,凋落物初始养分特征和其养分归还速度也具重要影响^[19]。本研究中,西南桦和尾巨桉2种凋落叶初始养分特征存在显著差异,其中,2种凋落叶的N含量和C/N的差异是影响凋落叶分解最主要的控制因子(表4)。已有研究表明,在凋落叶分解过程中,N素与微生物生长繁殖关系密切,环境中N量越高,微生物的繁殖越快,活性越强^[20]。研究表明,凋落物中N、P、K含量越多,其养分分解归还越快^[21],反之越慢^[22]。Xu等^[23]研究发现,在凋落物分解初期(前3~4个月),凋落物的干质量损失与N含量显著正相关,与木质素/N和C/N显著负相关;在凋落物分解后期(1~2a),凋落物的干质量损失与N含量显著正相关,与木质素含量、木质素/N和C/N显著负相关。本研究结果也表明,在凋落物分解前期(前6个月),凋落物分解与N含量和N/P显著正相关,与C/N显著负相关;而凋落物分解后期(6~12个月),其分解速率与N含量也显著正相关,与

C/N仍显著负相关(表4)。因本研究未探讨凋落叶中难分解物质如木质素和纤维素等含量对凋落叶分解的影响,故有必要开展更长久的凋落叶分解实验来观察凋落叶的养分释放动态。

西南桦和尾巨桉2种人工林凋落叶对土壤化学性质的影响显著(表2),且二者之间存在一定的关系(表5)。凋落物是森林生态系统土壤养分的重要来源^[24-26],其养分含量和分解过程对森林土壤肥力有重要影响^[27]。凋落叶有机C含量与土壤有机C含量呈显著正相关,原因在于西南桦凋落叶中有机C含量较高,分解较快,释放到土壤中的有机C也越多。Ohri等^[28]发现,凋落物的C/N与土壤N矿化呈负相关。这与笔者的研究结果一致,凋落叶C/N与土壤N含量显著负相关(表5)。N矿化速率和土壤N的输入受凋落叶中N含量的影响^[29],本研究结果也显示,土壤全N含量与凋落叶中N含量极显著正相关。此外,Moore等^[30]研究表明,凋落物养分的释放模式显著影响土壤表层的N、P等养分含量,凋落物中N、P等含量越高,土壤养分越易于富集^[31]。本研究也表明,凋落叶中的P含量与土壤P含量极显著正相关。

综上所述,在我国亚热带地区,西南桦凋落叶的分解速率显著大于尾巨桉。在为期12个月的分解试验中,2种凋落叶中各元素含量呈不同的动态变化,有机C含量在整个分解过程中呈逐渐下降的趋势;全K含量和C/N在分解前期迅速下降,之后趋于平缓;全N含量和全P含量在分解前期呈逐渐上升趋势,之后略有下降;2种凋落叶N/P则呈先升高后下降的趋势。无论是分解前期还是分解后期,凋落叶分解与凋落叶中的N含量呈显著正相关,与C/N呈显著负相关。通过凋落叶分解过程中养分的释放,显著影响了林地的土壤养分水平,西南桦林地土壤有机C、全N、全K含量等显著高于尾巨桉。本研究结果表明:凋落叶的养分含量与土壤养分状况之间的关系紧密。西南桦凋落叶养分含量相对较高,分解速率较快,释放到土壤中的养分越多;相反,尾巨桉凋落叶养分含量相对较低,分解速率较慢,土壤相对越贫瘠。该结果可为我国亚热带地区未来人工林的经营管理提供科学参考。

参考文献:

- [1] Berg B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils[J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, 133(1): 13-22.

- [2] Wang G G, Klinka K. White spruce foliar nutrient concentrations in relation to tree growth and soil nutrient amounts[J]. *Forest Ecology and Management*, 1997, 98(1): 89–99.
- [3] 葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等. 不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系[J]. *生态学报*, 2012, 32(3): 852–862.
- [4] Wang H, Liu S, Wang J, *et al.* Effects of tree species mixture on soil organic carbon stocks and greenhouse gas fluxes in subtropical plantations in China[J]. *Forest Ecology and Management*, 2013, 300: 4–13.
- [5] 梁瑞龙. 广西乡土阔叶树种资源现状及其发展对策[J]. *广西林业科学*, 2007, 36(1): 5–9.
- [6] 周燕萍, 庞正姝, 黄弼昌, 等. 林朵林场西南桦造林试验[J]. *广西科学*, 2012, 19(2): 192–195.
- [7] Mo J, Brown S, Xue J, *et al.* Response of litter decomposition to simulated N deposition in disturbed, rehabilitated and mature forests in subtropical China[J]. *Plant and Soil*, 2006, 282(1–2): 135–151.
- [8] Ostertag R, Marín-Spiotta E, Silver W L, *et al.* Litterfall and decomposition in relation to soil carbon pools along a secondary forest chronosequence in Puerto Rico [J]. *Ecosystems*, 2008, 11(5): 701–714.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 南京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems[J]. *Ecology*, 1963, 44(2): 322–331.
- [11] 宋新章, 江 洪, 马元丹, 等. 中国东部气候带凋落物分解特征——气候和基质质量的综合影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(10): 5219–5226.
- [12] 唐仕姍, 杨万勤, 殷 睿, 等. 中国森林生态系统凋落叶分解速率的分布特征及其控制因子[J]. *植物生态学报*, 2014, 38(6): 529–539.
- [13] 郭忠玲, 郑金萍, 马元丹, 等. 长白山各植被带主要树种凋落物分解速率及模型模拟的试验研究[J]. *生态学报*, 2006, 26(4): 1037–1046.
- [14] Zhang D, Hui D, Luo Y, *et al.* Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: global patterns and controlling factors[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 1(2): 85–93.
- [15] 刘 颖, 武耀祥, 韩士杰, 等. 长白山四种森林类型凋落物分解动态[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(3): 400–404.
- [16] 罗 达, 史作民, 唐敬超, 等. 南亚热带乡土树种人工纯林及混交林土壤微生物群落结构[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(9): 2543–2550.
- [17] 游巍斌, 刘勇生, 何东进, 等. 武夷山风景名胜区内不同天然林凋落物分解特征[J]. *四川农业大学学报*, 2010, 28(2): 141–147.
- [18] 刘 颖, 韩士杰, 林 鹿. 长白山 4 种森林凋落物分解过程中养
- 分动态变化[J]. *东北林业大学学报*, 2009, 37(8): 28–30.
- [19] Meier C L, Bowman W D. Links between plant litter chemistry, species diversity, and below-ground ecosystem function [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105(50): 19780–19785.
- [20] Krashevskaya V, Sandmann D, Maraun M, *et al.* Consequences of exclusion of precipitation on microorganisms and microbial consumers in montane tropical rainforests[J]. *Oecologia*, 2012, 170(4): 1067–1076.
- [21] Mendonça E S, Stott D E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil [J]. *Agroforestry Systems*, 2003, 57(2): 117–125.
- [22] Jensen L S, Salo T, Palmason F, *et al.* Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil[J]. *Plant and Soil*, 2005, 273(1–2): 307–326.
- [23] Xu X, Hirata E. Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical forest: N and P dynamics[J]. *Plant and Soil*, 2005, 273(1–2): 279–289.
- [24] Aerts R, de Caluwe H. Nutritional and plant-mediated controls on leaf litter decomposition of *Carex* species [J]. *Ecology*, 1997, 78(1): 244–260.
- [25] 潘开文, 何 静, 吴 宁. 森林凋落物对林地微生境的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 153–158.
- [26] Maisto G, De Marco A, Meola A, *et al.* Nutrient dynamics in litter mixtures of four Mediterranean maquis species decomposing in situ [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(3): 520–530.
- [27] 解宪丽, 孙 波, 周慧珍, 等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析[J]. *土壤学报*, 2004, 41(1): 35–43.
- [28] Ohrui K, Mitchell M J, Bischoff J M. Effect of landscape position on N mineralization and nitrification in a forested watershed in the Adirondack Mountains of New York [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, 29(4): 497–508.
- [29] 陈印平, 赵丽华, 吴越华, 等. 森林凋落物与土壤质量的互作效应研究[J]. *世界科技研究与发展*, 2006, 27(4): 88–94.
- [30] Moore T R, Trofymow J A, Prescott C E, *et al.* Patterns of carbon, nitrogen and phosphorus dynamics in decomposing foliar litter in Canadian forests [J]. *Ecosystems*, 2006, 9(1): 46–62.
- [31] Moore T R, Trofymow J A, Prescott C E, *et al.* Nature and nurture in the dynamics of C, N and P during litter decomposition in Canadian forests [J]. *Plant and Soil*, 2011, 339(1–2): 163–175.

(责任编辑: 徐玉秀)