

杉木与楠木叶凋落物混合分解及其养分动态

林开敏¹, 章志琴², 曹光球¹, 何宗明¹, 马祥庆¹

(1. 福建农林大学, 福州 350004; 2. 江西省上饶师范学院, 上饶 334000)

摘要:采用网袋法研究了杉木和楠木叶凋落物以不同比例的混合分解及其养分动态, 结果表明: 杉木与楠木叶凋落物混合处理的分解速率和 K 释放率基本上均大于单独的纯杉木和纯楠木, 而 N 和 P 释放率则介于单独的纯杉木和纯楠木之间; 杉楠混合分解可加快了混合中杉木叶凋落物的分解速率和 N、K 两元素的释放率, 并且随楠木叶比例的增加, 促进作用越明显; 混合分解对混合处理的分解速率和 K 元素释放有明显的促进作用, 而对 N、P 元素的释放影响不明显。

关键词:杉木; 楠木; 混合分解; 分解速率; 养分释放

文章编号:1000-0933(2006)08-2732-07 **中图分类号:**Q715 **文献标识码:**A

Decomposition characteristics and its nutrient dynamics of leaf litter mixtures of both Chinese fir and *Phoebe bournei*

LIN Kai-Min¹, ZHANG Zhi-Qin², CAO Guang-Qiu¹, HE Zong-Ming¹, MA Xiang-Qing¹ (1. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350004, China; 2. The College of Teachers of Shangrao City, Jiangxi Province, Shangrao 334000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2732 ~ 2738.

Abstract: Chinese fir, which is deemed as one of the most important species of timber sourced at plantations around Southern China, has shown under extensive research that due to slower decomposition of Chinese fir leaves, the level of soil fertility has diminished considerably within the region. Research has been carried out to investigate the following: (1) whether the mixture of Chinese fir and *Phoebe bournei* will increase decomposition rates of Chinese fir litter, and (2) whether interactions exist in decomposition rates and show any nutrient releases whilst being mixed and decomposed. The experimental investigation carried out are as follows: (a) single leaf litter of Chinese fir, (b) single leaf litter of *Phoebe bournei*, (c) mixture of leaf litter, 75% Chinese fir and 25% *Phoebe bournei*, (d) mixture of leaf litter, 50% Chinese fir and 50% *Phoebe bournei*, (e) mixture of leaf litter, 25% Chinese fir and 75% *Phoebe bournei*. Under extensive research and field investigations, it has found that the decomposition rate of leaf litter mixtures between Chinese fir and *Phoebe bournei* are a lot faster than singular materials and the K release rate is quicker also, however, N and P release rates differ between both singular materials. Leaf litter, when mixed (Chinese fir and *Phoebe bournei*), accelerates the decomposition rate of Chinese fir litter, even more so when the *Phoebe bournei* is added in greater quantities, the decomposition rate, N and K release rates of Chinese fir litter show significant proportions of increase. The decomposition rate and K release rate are significantly increased when both materials are mixed together, however, no visible increase is found in the form of N or P.

Key words: Chinese fir; *Phoebe bournei*; leaf litter mixtures; decomposition rate; nutrient release

森林凋落物是森林生态系统中生产者的绿色植物光合作用产物的一部分, 也是森林归还养分的一个主要途径^[1]。有关凋落物分解的研究, 国外已经有很长的历史, 可以追溯至 20 世纪的 20 年代, 而我国对凋落物分

基金项目:福建省自然科学基金资助项目(B0310016)

收稿日期:2005-06-04; **修订日期:**2006-05-09

作者简介:林开敏(1965~), 男, 福建省仙游人, 博士, 研究员, 主要从事森林培育研究. E-mail: lkmyx@163.com

Foundation item: The project was supported by Natural Science Foundation of Fujian Province (No. B0310016)

Received date: 2005-06-04; **Accepted date:** 2006-05-09

Biography: LIN Kai-Min, Ph. D., Professor, mainly engaged in silviculture. E-mail: lkmyx@163.com

解的研究相对较晚,大约始于 20 世纪 80 年代。过去研究凋落物分解时往往只针对某单一树种,而近些年来国内外学者对凋落物混合分解的研究逐渐重视,开展了不同树种叶凋落物混合分解的相互作用形式和程度研究,进一步揭示混交树种种间关系^[2~8]。

杉木是我国南方重要的速生用材树种,然而由于多代连栽现象的加剧,杉木人工林生态系统出现了比较严重的地力衰退现象^[9]。研究表明,引起杉木人工林地力衰退的一个重要原因可能是杉木凋落物不易分解,造成养分归还林地较少,自肥能力差^[10]。虽然采用疏伐和施肥等营林技术,可在一定程度上加速凋落物的分解,但毕竟采用人为经营管理措施是有限的。因而充分利用植物种间关系的有利作用,组建合理的人工林群落结构,改变杉木人工林凋落物的组成、质量和数量,促进杉木凋落物分解,加快养分归还速度,已成为当前杉木人工林经营过程中急待解决的一个重大的问题。有鉴于此,本文将杉木和楠木叶凋落物以不同比例进行混合分解,着重探讨叶凋落物混合分解是否产生相互作用(如促进作用、抑制作用等),倘若存在相互作用,相互作用达多大程度。旨在为解决杉木凋落物分解难的问题和杉木混交树种的选择提供科学的理论依据。

1 试验地自然概况与研究方法

1.1 试验地自然概况

凋落物分解试验位于福建农林大学南平西芹教学林场 25 年生杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)人工林内。该教学林场位于福建北部,地理位置为 26°40'N, 118°10'E, 为武夷山脉东伸支脉的中低山山地,海拔为 200~500m,属中亚热带季风气候带的杉木中心产区,年平均降雨量为 1817mm,年均日照时数 1709.8h。其主要成土母岩是沉积岩和变质岩,土壤为黄红壤,土层较厚,土壤(0~5cm)年平均含水量为 17.42%,年均地表温度为 17.2℃;林内年均大气相对湿度为 86.7%,年平均大气温度为 18.5℃。林下植物覆盖度为 75%~80%,林下植物种类较多,主要有狗脊(*Woodwardia japonica*)、杜茎山(*Maesa japonica*)、三龙爪(*Ficus simplicissima*)、芒萁(*Dicranopteris dicotoma*)、观音座莲(*Angiopteris fokiensis*)、芒麻(*Boehmeria nivea*)等。

1.2 材料与方法

于 2003 年 10 月收集新近凋落的杉木(含小枝条)和楠木叶凋落物,楠木叶直接使用;杉叶从小枝上扯下,整叶使用。将所收集的叶凋落物置于 65℃烘箱内烘干至恒重后备用。

试验共设计 5 个处理,单一分解处理(作为对照)有 2 个,即纯杉木叶(15g)(PS)和纯楠木叶(15g)(PN);混合分解处理有 3 个,杉木叶与楠木叶凋落物混合重量比分别为 3:1、1:1 和 1:3,即杉木 11.25g + 楠木 3.75g (SN3:1)、杉木 7.5g + 楠木 7.5g (SN1:1)和杉木 3.75g + 楠木 11.25g (SN1:3)。

凋落物分解采用尼龙网袋(litter bag)法,网袋大小为 20cm × 20cm,网孔为 1mm²。按照上述试验设计的要求,称取各处理规定数量的样品(15g)分别装入网袋,进行编号挂牌。于 2003 年 11 月 13 日将所有样品袋(每处理 40 袋)放入杉木人工林下。以后每月采样 1 次,共采样 12 次,每次每个处理随机取 3 袋,仔细分开凋落物,并去除杂物,烘干至恒重后称重,计算凋落物残留率和失重率。再把样品进行粉碎,过 0.149mm 筛,连同分解前样品(0d)保存好留做养分分析。

凋落物养分测定方法^[11]:N(H₂SO₄-HClO₄ 消煮-扩散法),P(H₂SO₄-HClO₄ 消煮-钼锑抗比色法),K(H₂SO₄-HClO₄ 消煮-火焰光度计法)。

1.3 数据分析

采用 Excel、SPSS 软件对数据进行计算和处理。

杉木与楠木叶凋落物混合分解的重量和养分残留率预测值用下列式子计算^[5]:

杉木与楠木叶凋落物混合分解的预测值 = [(杉木叶凋落物单独分解时的实测值) × X + (楠木叶凋落物单独分解时的实测值) × Y] / (X + Y), 式中, X, Y 分别为杉木和楠木叶凋落物在混合凋落物中的比重(%)。

混合凋落物重量及养分残留率实测值与预测值的比较采用 *t* 检验进行的。根据 *t* 检验的结果就可以对杉木与楠木叶凋落物混合分解是否存在相互作用进行判断:

(1)若实测值与预测值无明显差异($p < 0.05$),则 A 与 B 之间无相互作用;

(2)若实测值显著 ($p < 0.05$)或极显著 ($p < 0.01$)低于预测值,则 A 与 B 之间存在促进作用;

(3)若实测值显著 ($p < 0.05$)或极显著 ($p < 0.01$)高于预测值,则 A 与 B 之间存在抑制作用。

2 结果与分析

2.1 杉木与楠木叶凋落物混合分解的干重动态变化

2.1.1 混合分解对杉木叶凋落物干重残留率的影响 从表 1 可以看出,分解过程中,前期混合分解中的杉木叶凋落物残留率大于纯杉木,而后又转变为混合分解的残留率小于纯杉木,经多重比较,分别在 210、240、300、330d 表现出显著差异。说明楠木叶凋落物对杉木叶凋落物的前期分解影响不明显,而对后期分解有明显的促进作用。3 种不同混合比例的处理中,随着楠木叶比例的增加,杉木叶凋落物残留率基本上呈现下降趋势,即对杉木叶凋落物分解促进作用越来越明显。

表 1 不同混合分解处理中杉木叶凋落物的重量残留率

Table 1 Weight remaining rates of Chinese fir leaf litter in different mixture treatments

处理 Treatments	分解天数 Decomposition days												
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
PS	100.0a	93.0a	92.7a	90.6a	89.2a	85.1a	76.7a	73.2a	72.8a	70.4a	69.5a	66.0a	59.4a
SN3:1	100.0a	94.0a	92.3a	91.0a	89.0a	86.8a	80.9a	76.8b	75.7b	69.8a	65.7b	61.8b	56.8a
SN1:1	100.0a	94.9a	93.0a	89.5a	89.5a	85.1a	80.6a	73.9a	72.4a	68.7a	61.4c	61.2b	57.5a
SN1:3	100.0a	95.5a	92.9a	89.9a	89.0a	86.0a	84.5a	74.0a	63.9c	67.6a	60.6c	60.6b	56.4a

* 表中同一列中有相同字母表示多重比较后差异不显著 ($p < 0.05$) Same characters in same row mean no significant difference between treatments after multiplicative comparison in the table ($p < 0.05$)

表 2 凋落物混合分解过程中杉木的 Olson 指数模型及腐解率

Table 2 The Olson exponential models and decomposition coefficients of Chinese fir leaf litter in various treatments

项目 Items	处理 Treatments	Olson 指数模型 Olson exponential models	相关系数 (R) Correlation coefficients	腐解率 (k) Decomposition coefficient (d^{-1})	分解 50% 所需时间 Time of 50% decomposition (a)	分解 95% 所需时间 Time of 95% decomposition (a)
干重 Dry weight	PS	$y = 1.0050e^{-0.0013t}$	-0.965**	0.0013	1.47	6.32
	SN3:1	$y = 1.0255e^{-0.0015t}$	-0.959**	0.0015	1.31	5.52
	SN1:1	$y = 1.0279e^{-0.0016t}$	-0.978**	0.0016	1.23	5.18
	SN1:3	$y = 1.0347e^{-0.0017t}$	-0.941**	0.0017	1.10	4.88
N	PS	$y = 1.0111e^{-0.0007t}$	-0.772**	0.0007	2.76	11.77
	SN3:1	$y = 1.0282e^{-0.0008t}$	-0.698*	0.0008	2.47	10.35
	SN1:1	$y = 0.9866e^{-0.0008t}$	-0.868**	0.0008	2.32	10.21
	SN1:3	$y = 1.0347e^{-0.0009t}$	-0.761*	0.0009	2.21	9.22
P	PS	$y = 1.0517e^{-0.0009t}$	-0.553	0.0009	2.66	9.27
	SN3:1	$y = 1.0116e^{-0.0004t}$	-0.696*	0.0004	4.83	20.60
	SN1:1	$y = 0.9866e^{-0.0006t}$	-0.892*	0.0006	3.20	13.71
	SN1:3	$y = 1.0046e^{-0.0007t}$	-0.829*	0.0007	2.73	11.74
K	PS	$y = 0.6482e^{-0.0057t}$	-0.653*	0.0057	0.12	1.23
	SN3:1	$y = 0.9134e^{-0.0059t}$	-0.948**	0.0059	0.28	1.35
	SN1:1	$y = 0.8159e^{-0.0059t}$	-0.931**	0.0059	0.23	1.30
	SN1:3	$y = 0.7438e^{-0.0063t}$	-0.843**	0.0063	0.17	1.17

为了进一步分析其分解进程差异,采用 Olson 指数衰减数学模型对不同混合分解处理的干重残留率 (y) 与分解时间 (t) 关系进行拟合,得出的 Olson 指数衰减数学模型的相关系数 R 均达到极显著水平(表 2),说明拟合效果良好。从表 2 可看出,杉木与楠木叶凋落物混合分解在一定程度上提高了杉木叶凋落物的腐解率,混合处理的杉木叶凋落物腐解率分别为 0.0015、0.0016 d^{-1} 和 0.0017 d^{-1} ,随着楠木叶比例的增大,杉木叶凋落物的腐解率随之提高;混合处理的杉木叶凋落物完成 95% 分解所需的时间分别比纯杉木缩短了 0.81、1.15a 和 1.44a,完成 50% 分解所需的时间缩短了 0.16、0.24a 和 0.37a。

2.1.2 混合分解的干重残留率预测值与实测值比较

杉木与楠木叶凋落物以不同比例混合分解时,各月干重残留率的实测值低于预测值。SN3:1 混合处理分别在分解 180d 和 210d 时表现明显的促进作用;而 SN1:1 混合处理则在分解 30d 和 330d 时发现有明显的促进作用;SN1:3 混合处理也在分解 30、240d 以及 330d 时观察到有明显的促进作用。此外,所有混合处理都在分解进行到 360d 时表现出显著的促进作用(表 3),说明杉木与楠木叶凋落物混合分解对凋落物分解有明显的促进作用,这对于今后指导杉木混交林营造具有重要现实指导意义。

从表 3 还可看出,不同混合处理干重残留率(实测值)均随分解时间的推移而逐渐降低。不同混合处理之间干重残留率(实测值)分别在分解 60、90、150、180、240、300d 以及 330d 表现出显著差异。分解初期,干重残留率实测值表现出随着楠木叶凋落物比例的增加而增加的趋势(即混合分解速率减缓);而当凋落物分解到 240d 后,残留率实测值又表现出随楠木叶凋落物比例的增加而减小(即混合分解速率加快),可能与楠木叶凋落物单独分解的前期慢于杉木而后期快于杉木的特性有关。

2.2 杉木与楠木叶凋落物混合分解过程中养分动态变化

2.2.1 混合分解对杉木叶凋落物各养分释放的影响

采用 Olson 指数衰减数学模型对不同分解处理中杉木的各养分残留率(γ)与分解时间(t)关系进行拟合(表 2),得出的 Olson 指数衰减数学模型的相关系数 R ,除少数的未达到显著水平外,其余均达到显著或极显著水平,说明拟合效果较好。

从表 2 可看出,混合分解对杉木叶凋落物各养分的释放有一定的影响。从腐解率来看,杉木与楠木混合分解后,对杉木的 N、K 两元素的释放有一定的促进作用,并随楠木叶比例的增加,促进作用越大,这与重量损失率的变化规律一致;但对 P 元素的释放则有微弱的抑制作用,但随楠木叶比例的增加而减小。

杉木与楠木混合分解时,P、K 元素出现较为异常的规律可能与它们在凋落物中含量较低,分解过程中富集和释放交替出现等有关。

2.2.2 混合分解过程中养分释放规律 3 种混合处理的 N 残留率实测值均随时间的推移而逐渐降低(表 4),随着楠木叶比例的增加,残留率下降幅度也越大,并在分解进行到 60、240、300d 和 360d 时表现出显著差异,表明混合分解中,楠木叶添加比例越多,N 释放越快。在 1a 分解期间,SN3:1 和 SN1:3 混合处理的 N 残留率基本上呈现出实测值大于预测值的趋势,且 SN3:1 混合处理分解到 240d 和 300d 时二者差异显著;SN1:3 混合处理在 60、120d 和 300d 时二者差异显著;SN1:1 混合处理在分解前期残留率的预测值显著大于实测值,而后期则小于实测值,其中在分解 240d 和 300d 时也有显著差异。这说明在分解后期,SN3:1 和 SN1:3 混合处理在一定程度上抑制了 N 的释放;SN1:1 混合处理在前期对 N 的释放有促进作用,而后期则表现出抑制作用。但当

表 3 混合分解重量残留率预测值与实测值的比较

Table 3 Comparisons of expected value and observed value of weight remaining rate in mixture treatments

分解天数 Decomposition(d)	项目 Items	混合处理 Mixture treatments		
		SN3:1	SN1:1	SN1:3
0	预测值*	100.00 ± 0.0	100.00 ± 0.0	100.00 ± 0.0
	实测值*	100.00 ± 0.0a	100.00 ± 0.0a	100.00 ± 0.0a
30	预测值	93.60 ± 0.3	94.13 ± 0.4	94.74 ± 0.5
	实测值	93.47 ± 2.5a	92.71 ± 0.7* a	93.13 ± 0.0* a
60	预测值	92.54 ± 1.9	93.32 ± 1.4	93.91 ± 0.9
	实测值	91.82 ± 1.0a	94.18 ± 0.9b	93.82 ± 0.91b
90	预测值	91.58 ± 2.1	92.56 ± 1.6	93.52 ± 0.3
	实测值	91.42 ± 0.3a	91.73 ± 1.5a	93.87 ± 0.29b
120	预测值	90.15 ± 0.2	91.03 ± 0.4	92.08 ± 0.3
	实测值	88.20 ± 3.9a	90.44 ± 1.1a	92.20 ± 0.07a
150	预测值	87.10 ± 2.8	89.13 ± 3.9	92.64 ± 3.9
	实测值	87.78 ± 1.9a	88.20 ± 1.0a	91.69 ± 2.1b
180	预测值	81.82 ± 1.4	85.18 ± 2.7	86.56 ± 3.2
	实测值	79.90 ± 0.3* a	83.07 ± 0.2b	86.18 ± 0.3c
210	预测值	78.29 ± 1.6	79.20 ± 0.2	82.64 ± 1.3
	实测值	75.67 ± 0.5* a	78.13 ± 1.5a	79.55 ± 1.4a
240	预测值	77.10 ± 1.0	77.29 ± 1.5	79.66 ± 2.6
	实测值	75.06 ± 0.6a	77.56 ± 2.1a	73.44 ± 0.2* b
300	预测值	67.40 ± 2.7	66.37 ± 3.4	63.77 ± 0.5
	实测值	67.35 ± 1.9a	65.36 ± 1.2ab	62.87 ± 0.7b
330	预测值	63.98 ± 1.2	64.18 ± 0.4	63.31 ± 0.2
	实测值	62.36 ± 1.6b	60.98 ± 1.0* a	60.04 ± 0.9* a
360	预测值	59.09 ± 0.9	58.73 ± 0.5	58.71 ± 0.7
	实测值	56.29 ± 0.2* a	56.17 ± 0.3* a	56.01 ± 0.3* a

* 预测值 Expected value, 实测值 Observed value;表中数据显示方式是:平均值 ± S·E($n = 3$);同一行中有相同字母的表示多重比较后处理间差异不显著($p < 0.05$);星号(*)表示 t 检验后预测值与实测值之间差异显著(* $p < 0.05$) Data was shown with (mean ± S·E)($n = 3$); Same characters in same row mean no significant difference between treatments after multiplicate comparison in the table ($p < 0.05$); The significant difference between expected and observed value was shown by asterisk (* $p < 0.05$)

分解进行到 360d 时,所有混合分解处理的 N 残留率实测值与预测值均无显著差异,说明在试验结束时,杉木与楠木叶凋落物混合分解对 N 元素释放的影响不明显,即混合分解无相互作用。

由表 5 可见,3 种混合处理中 P 残留率的实测值随分解时间的推移而呈现有所波动地缓慢下降的趋势。除 240d 外,3 种混合处理的 P 残留率实测值与 N 残留率表现出相似的变化趋势,也是随着楠木叶比例的增加,P 残留率随之减小,并分别在 60、120、240、300d 表现出显著差异。这同样表明混合分解中,随着楠木叶比例的增加,P 释放越快。各混合比例的 P 残留率呈现前期实测值小于预测值,而后期则实测值大于预测值的趋势,这说明杉木与楠木叶凋落物混合分解对 P 的释放影响较为复杂,前期有一定程度的促进作用,而后期则有一定程度的抑制作用。但当分解进行到 360d 时,所有混合分解处理的 P 残留率均未发现实测值显著大于预测值,说明在本试验结束时,杉木与楠木叶凋落物混合分解对 P 释放的影响不明显,即混合分解无相互作用。

各混合比例 K 残留率的实测值均随分解时间的推移而逐渐下降,初期下降幅度较大,随之平缓下降,最后又有较大幅度的降低(表 6)。3 种混合处理的实测值在每次采样时都发现有显著差异,但与 N、P 的变化规律相反,即随着楠木叶比例的增加而 K 残留率随之增加。在一年分解过程中,各混合处理的残留率实测值基本上均低于预测值,且基本上表现出显著或极显著差异,表明楠木与杉木叶凋落物混合分解对 K 的释放有明显的促进作用。

总的来说,杉木与楠木混合分解对 N、P 的释放影响不明显;对 K 的释放有明显的促进作用。

3 讨论

3.1 混合分解与单独分解的差异比较

从本试验分解 1 年后的实测值来看,混合分解处理与单独分解处理存在一定的差异。5 种不同分解处理的干重残留率实测值表现出 $SN1:3 < SN1:1 < SN3:1 < PN < PS$,说明杉楠混合分解速率均大于单独的纯杉木和纯楠木,且随着楠木叶凋落物比例的增加,混合分解速率越来越快。5 种分解处理的 N 和 P 残留率实测值呈现出 $PN < SN1:3 < SN1:1 < SN3:1 < PS$,说明杉楠混合分解的 N 和 P 释放率介于单独的纯杉木和纯楠木之间,且随着楠木叶凋落物比例的增加,混合分解的养分释放率越来越大;而 5 种分解处理的 K 残留率实测值则表现出 $SN3:1 < SN1:1 < PS < SN1:3 = PN$,说明杉楠混合分解的 K 释放率基本上大于单独的纯杉木和纯楠木(但杉楠 1:3 处理例外),且随着楠木叶凋落物比例的增加,混合分解的 K 释放率越来越小。造成这种不同分解处理的差异主要是由于种间的分解差异(楠木分解快,杉木分解慢)和混合分解的种间相互作用两个因素共同作用的结果;但种间相互作用对加快混合处理的

表 4 凋落物混合分解 N 残留率预测值与实测值的比较

Table 4 Comparisons of expected value and observed value of N remaining rate in mixture treatments

分解天数 Decomposition(d)	项目 Items	混合处理 Mixture treatments		
		SN3:1	SN1:1	SN1:3
0	预测值	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0
	实测值	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0
60	预测值	99.3±2.0	97.9±1.4	96.6±1.0
	实测值	98.8±1.1a	93.1±0.9* ^b	100.0±1.0* ^a
120	预测值	95.0±0.3	93.3±0.4	91.7±0.5
	实测值	96.2±4.3a	89.1±1.1* ^a	92.9±0.1* ^a
180	预测值	85.6±0.4	86.9±0.2	87.1±0.4
	实测值	87.0±1.3a	84.6±2.7a	84.0±3.0a
240	预测值	79.5±0.7	78.2±1.5	77.1±2.4
	实测值	86.9±1.1* ^a	84.2±2.3* ^a	77.6±1.8b
300	预测值	78.6±2.7	71.6±2.4	65.3±2.2
	实测值	85.9±3.5* ^a	80.8±4.0* ^{ab}	73.8±4.3* ^b
360	预测值	75.8±5.0	71.1±4.1	66.9±3.6
	实测值	77.2±6.0a	74.1±1.3a	67.8±1.4b

* * $p < 0.01$, 其余同表 3; * * $p < 0.01$ The others were same as table 3; 以下同 the same below

表 5 凋落物混合分解 P 残留率预测值与实测值的比较

Table 5 Comparisons of expected value and observed value of P remaining rate in mixture treatments

分解天数 Decomposition(d)	项目 Items	混合处理 Mixture treatments		
		SN3:1	SN1:1	SN1:3
0	预测值	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0
	实测值	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0
60	预测值	102.6±2.1	102.4±1.7	102.2±1.2
	实测值	99.4±1.0a	90.0±0.9* ^b	82.8±0.8* ^c
120	预测值	95.3±0.2	90.8±0.3	86.2±0.4
	实测值	94.2±4.1a	90.6±1.3a	86.7±0.1b
180	预测值	86.8±0.5	86.7±0.2	86.5±0.3
	实测值	89.2±1.6a	88.8±3.0a	84.8±2.9a
240	预测值	93.9±0.6	94.7±1.6	96.6±2.9
	实测值	88.5±1.2* ^a	97.2±2.6b	77.3±0.2* ^c
300	预测值	66.9±2.3	68.9±2.3	70.9±2.4
	实测值	93.9±3.9* ^a	87.2±4.6* ^{ab}	84.8±5.0* ^a
360	预测值	80.4±5.0	77.3±4.6	74.2±4.0
	实测值	82.6±7.9a	78.0±1.3a	76.6±1.5a

分解速率和 K 元素释放率起了主导的作用,而对 N 和 P 元素释放率的影响不明显。

3.2 凋落物混合分解相互作用

从本试验来看,在凋落物混合分解过程中的不同阶段,有时会表现出不同相互作用形式,如 N、P 元素的分解释放在前期表现出一定程度的促进作用,后期又表现出抑制作用,而分解 1 年时又表现出无明显相互作用;对于不同的分解指标,混合分解相互作用形式也有所不同,如干重和 K 元素的残留率指标,混合分解表现出促进作用,而对于 N、P 元素残留率指标,则表现出无明显相互作用,这可能与不同分解阶段所处的环境(如水分、温度、酸度、有机化合物分解释放以及参与分解的微生物和动物数量和种类等)和凋落物自身特性(如质地和化学组成等)有关。因此,凋落物混合分解相互作用是一个较为复杂的问题,究竟表现出何种形式相互作用,是促进作用还是抑制作用,或是无任何作用,仍无规律可循。

关于凋落物混合分解相互作用的机理问题,不同质地的凋落物混合在一起会促进分解的可能原因归纳有以下几类:①养分含量高的凋落物为养分含量低的凋落物分解过程中的有机体提供所需养分^[5];②不同质地的凋落物混合在一起提供了对分解者更为有利的微环境^[12];③相对单独分解中的凋落物而言,混合凋落物的水分吸附特征得到改善,从而改善了混合凋落物的湿度环境^[8];④混合分解过程中,不同质地的凋落物之间形成“菌丝桥”,养分可以通过该“菌丝桥”从质地较好的凋落物一边迁移到质地较差的凋落物一边^[2],从而改善质地较差凋落物的营养状况,加速其分解速率。廖利平等对杉木与几种阔叶树叶凋落物混合分解研究指出,阔叶树叶凋落物初始 N 含量与促进作用的强弱有一定的正相关关系,可作为选择杉木混交树种的参考指标^[5]。胡亚林等研究发现混合凋落物覆盖在土壤表层后土壤微生物量增加,土壤微生物活性改善^[14]。在本试验中,楠木叶凋落物初始 N 含量($7.608 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)比杉木($6.187 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)高,而 C/N 比值则比杉木低。此外,在凋落物混合分解对土壤微生物区系和数量的影响研究中,发现杉木与楠木混合分解后的土壤细菌数量急剧增加,大大地超过纯杉木和纯楠木。因此,笔者初步认为凋落物混合分解可改变凋落物组成,改善了凋落物的养分状况(如 N 元素),从而有利于某类微生物繁殖生长,促进了凋落物的分解,这可能是杉木与楠木叶凋落物混合分解对总体以及其中的杉木叶凋落物分解速率和养分释放均有明显促进作用一个重要原因,但至于两种凋落物的养分以何种途径发生作用以及是否还有其他的机理还需探讨。

4 结论

杉木与楠木叶凋落物混合分解对杉木凋落物的分解速率有明显的促进作用,对杉木凋落物 N、K 两元素的释放有一定的促进作用,并随楠木叶添加比例的增加,促进作用越大。

杉楠不同比例混合处理的分解速率均大于单独的纯杉木和纯楠木,N 和 P 释放率则介于单独的纯杉木和纯楠木之间,且随着楠木叶凋落物比例的增加,混合的分解速率以及 N、P 释放率越来越大;而混合分解的 K 释放率基本上也大于单独的纯杉木和纯楠木,但随着楠木叶凋落物比例的增加,混合分解的 K 释放率却越来越小。

杉木与楠木叶凋落物混合分解对分解速率有明显的促进作用;对养分释放的影响相对较为复杂,有时在混合分解过程中会产生抑制作用和促进作用交替出现的现象,但混合分解总体上对 N 和 P 的释放影响不明显,而对 K 的释放有明显的促进作用。

表 6 凋落物混合分解 K 残留率预测值与实测值的比较

Table 6 Comparisons of expected value and observed value of K remaining rate in mixture treatments

分解天数 Decomposition(d)	项目 Items	混合处理 Mixture treatments		
		SN3:1	SN1:1	SN1:3
0	预测值	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
	实测值	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a
60	预测值	63.9 ± 1.2	72.2 ± 1.0	81.2 ± 0.8
	实测值	61.3 ± 0.6* a	56.6 ± 0.5* b	64.7 ± 0.6* c
120	预测值	32.5 ± 0.0	34.6 ± 0.1	36.9 ± 0.2
	实测值	28.2 ± 1.3* a	31.4 ± 0.4* b	28.7 ± 0.1* a
180	预测值	24.8 ± 0.9	29.7 ± 1.0	35.0 ± 1.2
	实测值	26.4 ± 1.0a	31.4 ± 1.4b	28.6 ± 1.7* a
240	预测值	27.6 ± 1.8	28.3 ± 1.6	29.0 ± 1.6
	实测值	22.9 ± 1.9* a	24.6 ± 0.5* ab	25.2 ± 0.6* b
300	预测值	15.8 ± 0.0	19.8 ± 0.0	24.3 ± 0.1
	实测值	13.7 ± 0.2* a	19.5 ± 0.6b	22.6 ± 0.9b
360	预测值	14.7 ± 0.2	18.3 ± 0.5	22.1 ± 0.8
	实测值	11.3 ± 0.2* a	15.7 ± 0.4* b	18.9 ± 0.1* c

杉木与楠木叶凋落物的混合分解可加快杉木凋落物的分解,并能促进一些元素的养分释放,且随着楠木叶添加的越多,促进作用越明显。因此,在杉木人工林经营过程中,应该充分利用凋落物混合分解的种间有利关系,尽量营造杉木与阔叶树(如楠木等)混交林,并促进杉木林下植被恢复,改变杉木人工林凋落物的组成、质量和数量,这对于杉木人工林生态系统的养分循环和地力维护具有重要的意义。

References:

- [1] Wang F Y. Review on the study of forest litterfall. *Chinese Journal of Ecology*, 1989, 6(2): 82 ~ 98.
- [2] Briones M J, Ineson P. Decomposition of eucalyptus leaves in litter mixture. *Soil Biol Biochem*, 1996, 28(10/11): 1381 ~ 1388.
- [3] Blair J M, Paramalee R W, Beare M H. Decay rates, nitrogen fluxes and decomposer communities of single and mixed species foliar litter. *Ecology*, 1990, 71(5): 1976 ~ 1985.
- [4] Fyles J W, Fyles L H. Interaction of Douglas fir with red alder and salal foliage litter during decomposition. *Canadian Journal of Forest Research*, 1993, 23(3): 358 ~ 361.
- [5] Liao L P, Ma Y Q, Wang S L, *et al.* Decomposition of leaf litter of chinese fir in mixture with major associated broad-leaved plantation species. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(1): 27 ~ 33.
- [6] Lin K M, Hong W, Yu X T, *et al.* Decomposition interaction of mixed litter between Chinese fir and various accompanying plant species. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(3): 321 ~ 325.
- [7] Yang Y S, Chen G S, Guo J F, *et al.* Litter decomposition and nutrient release in a mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongiodendron odorum*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(3): 275 ~ 282.
- [8] Talyor B R, Parsons W F J, Parkisons D. Decomposition of *Populus tremuloides* leaf litter accelerated by addition of *Alnus crispa* litter. *Canadian Journal of Forest Research*, 1989, 19: 674 ~ 679.
- [9] Sheng W T, Fan S H. Impact of growth and development characters of *Chinese fir* and its plantation on the long-term site productivity. *Forest Research*, 2002, 15(6): 629 ~ 636.
- [10] Chinese society of forest, Chinese accessory society of forest ecology, Chinese fir timber intensive plantation dissertation group. Research on site degradation of timber plantation. Beijing: Chinese Scientific & Technological Press, 1992. 49 ~ 71.
- [11] National Forest Bureau. Forest soil analysis methods. Beijing: Chinese Standard Press, 1999. 71 ~ 273.
- [12] 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(6): 947 ~ 953.
- [13] Wang Q, Huang J H. Comparison of major nutrient release patterns in leaf litter decomposition in warm temperate zone of China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(3): 375 ~ 380.
- [14] Hu Y L, Wang S L, Huang Y, *et al.* Effects of litter chemistry on soil biological property and enzymatic activity. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2662 ~ 2668.

参考文献:

- [1] 王凤友. 森林凋落物量研究综述. *生态学进展*, 1989, 6(2): 82 ~ 98.
- [5] 廖利平, 马越强, 汪思龙, 等. 杉木与主要阔叶造林树种叶凋落物的混合分解. *植物生态学报*, 2000, 24(1): 27 ~ 33.
- [6] 林开敏, 洪伟, 俞新妥, 等. 杉木与伴生植物凋落物混合分解的相互作用研究. *应用生态学报*, 2001, 12(3): 321 ~ 325.
- [7] 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. *植物生态学报*, 2002, 26(3): 275 ~ 282.
- [9] 盛炜彤, 范少辉. 杉木及其人工林自身特性对长期立地生产力的影响. *林业科学研究*, 2002, 15(6): 629 ~ 636.
- [10] 中国林学会森林生态学会, 杉木人工林集约栽培研究专题组. 人工林地力衰退研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 49 ~ 71.
- [11] 国家林业局. 森林土壤分析方法. 北京: 中国标准出版社, 1999. 71 ~ 273.
- [13] 王瑾, 黄建辉. 暖温带地区主要树种叶片凋落物分解过程中主要元素释放的比较. *植物生态学报*, 2001, 25(3): 375 ~ 380.
- [14] 胡亚林, 汪思龙, 黄宇, 等. 凋落物化学组成对土壤微生物学性状及土壤酶活性的影响. *生态学报*, 2005, 25(10): 2662 ~ 2668.