

万木林自然保护区 2 种天然林及杉木 人工林凋落量及养分归还

郭剑芬¹, 陈光水¹, 钱 伟¹, 杨少红¹, 杨玉盛^{1,*}, 郑群瑞²

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福州 350007; 2. 万木林自然保护区管理站, 建瓯 353105)

摘要:通过对福建建瓯万木林自然保护区内以观光木(*Tsoongiodendron odorum*, TSO)和细柄阿丁枫(*Altingia gracilipes*, ALG)为建群种的 2 种天然林及杉木(*Cunninghamia lanceolata*, 29 年生)人工林凋落量与养分归还为期 3a(2000~2002 年)的研究表明, 3 种林分年均凋落量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)范围从杉木人工林的 $4.63 \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 到观光木林的 $6.74 \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 叶所占比例范围为 62%~69%。细柄阿丁枫林凋落量每年只出现 1 次峰值(3 月份或 4 月份), 观光木林的出现 2 次(3 月份、6~8 月份), 而杉木林的则出现 3 次(3 月份或 4 月份、6~8 月份和 11~12 月份)。3 种林分 Ca 和 Mg 年归还量大小排序与按总凋落量的不同。除杉木人工林的 Ca 年归还量最大外, 其余养分年归还量均以观光木天然林的最大。通过凋落物各组分的养分归还中, 落叶是养分归还的主体。与针叶树人工林相比, 天然林的凋落量大、养分归还量高, 具有良好维持地力的能力。因此, 保护和扩大常绿阔叶林资源已成为南方林区实现森林可持续经营的重要措施之一。

关键词:凋落物; 养分归还; 观光木; 细柄阿丁枫; 杉木

文章编号: 1000-0933(2006)12-4091-08 中图分类号: Q948, S718.5 文献标识码: A

Litter production and nutrient return in two natural forests and a *Cunninghamia lanceolata* plantation in Wanmulin Nature Reserve

GUO Jian-Fen¹, CHEN Guang-Shui¹, QIAN Wei¹, YANG Shao-Hong¹, YANG Yu-Sheng^{1,*}, ZHENG Qun-Rui² (1.

Fujian Key Lab. of Subtropical Resources and Environments, College of Geography Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. Administrative Station of Wanmulin Nature Reserve, Jianou 353105, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 4091~4098.

Abstract: Litterfall represents a major biological pathway for element transfer from vegetation to soils. Seasonal variations in litter production and litter nutrient return affect stand nutrient cycling. Although considerable data exist for litter production and nutrient cycling in different forest ecosystems of the world, relatively few studies were carried out in forests of southern China. The primary purpose of this study was to determine litter production, seasonal dynamics and nutrient return in two natural forests of *Tsoongiodendron odorum* (TSO) and *Altingia gracilipes* (ALG), and an adjacent 29-year-old plantation of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*, CUL) in Wanmulin Nature Reserve in Jianou, Fujian, during a period of 2000~2002. Mean annual total litterfall over 3 years of observations varied from $4.63 \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ in the CUL to $6.74 \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ in the TSO; of total litterfall, the leaf contribution ranged from 62% to 69%. Litterfall in the ALG showed an unimodal distribution pattern with a peak in March or April of each year, while for the TSO, the litterfall peaks occurred in March and June-August. Litterfall in the CUL peaked in March (or April), June-August and November (or December), respectively. The rank order of the three forests, according to Ca

基金项目:国家高校优秀青年教师奖资助项目;福建省重大基础研究资助项目(2000F004)

收稿日期:2005-09-03; **修订日期:**2006-04-10

作者简介:郭剑芬(1977~),女,福建龙岩人,博士,主要从事亚热带常绿阔叶林 C、N 等元素循环研究。

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

Foundation item: The project was financially supported by The Teaching and Research Award Program for MOE P. R. C. (TRAPOYT) and the Key Basic Research Project of Fujian Province (No. 2000F004).

Received date: 2005-09-03; **Accepted date:** 2006-04-10

Biography: GUO Jian-Fen, Ph. D., mainly engaged in C and N cycling of subtropical broad-leaved forests.

and Mg returns from total litterfall, was different from the order when rank was according to total mass of litterfall. The highest annual Ca returns from total litterfall were noticed in the CUL. The amounts of N, P, K and Mg potentially returned to the soil were the highest in the TSO. The leaf fraction provided greater potential returns of N, P, K, Ca, and Mg to the soil than other litter fractions. The results of this study demonstrate that natural forests have a greater capability for maintaining site productivity than the monoculture coniferous plantation due to higher amount of aboveground litter coupled with greater nutrient returns; therefore conservation of natural forests is recommended as a practical measure in forest management to realize sustainable development of forestry in mountainous areas of southern China.

Key words: litterfall; nutrient return; *Tsoongiodendron odorum*; *Altingia gracilipes*; *Cunninghamia lanceolata*

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循环的重要组成部分,在维持土壤肥力方面起到了特别重要的作用。其种类、储量和数量上的消长反映着森林生态系统间的差别和动态特征^[1]。因此,森林凋落物历来是森林生态学、生物地球化学和森林土壤学等学科的重要研究内容。凋落物的研究可追溯到 19 世纪,德国的 Ebermayer 对森林凋落物的产量和化学组成做了经典研究,这篇文章大概是森林凋落物研究的最早报道。但直到 20 世纪 50 年代,森林凋落物才得到全面和系统的研究。国际上森林凋落物的研究已经从凋落物本身的特征,如凋落物数量、分解状况及分解影响因子等,逐渐深入到凋落物的生态功能上,如对土壤肥力、C 过程、植物种子萌发、植物生长、演替及生产力等的影响^[1~3]。我国自 20 世纪 60 年代初开展了凋落物的研究,80 年代有较大发展,特别是天然林凋落物^[4~7],但人工林凋落物的研究则集中于杉木、马尾松等少数几个造林树种^[8,9]。王凤友^[10]曾对世界范围内森林凋落量作了综述性研究,对国内森林凋落物的研究具有一定的指导作用。鉴于凋落物在森林生态系统 C 循环和养分平衡中的重要作用,我国学者开始对不同林分凋落量大小、季节动态及对全球气候变化(大气 CO₂ 浓度升高、氮沉降、酸沉降等)响应等进行了深入探讨^[11]。

位于福建建瓯的万木林自然区内具有树龄(约 120a 以上)和面积(189hm²)较大、保存较为完整的中亚热带天然常绿阔叶林,其中包括以观光木、木荷、细柄阿丁枫为建群种的阔叶混交林。20 世纪 60 年代,部分天然林(约 12hm²)曾被皆伐后营造杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工纯林,这人工林与现存的天然林毗邻、本底条件(母岩、土层)相似,从而为不同天然林和人工林的生态学比较提供良好的条件。由于天然林与人工林在林龄、抚育方式等方面的差异,其凋落特征也不相同。本文选择了观光木(*Tsoongiodendron odorum*)和细柄阿丁枫(*Altingia gracilipes*)两种天然林,以杉木人工林为对照,研究这些林分的凋落物数量、动态及养分归还量的差异。

1 试验地概况

试验地位于福建建瓯市万木林自然保护区(27°03'N, 118°09'E),地处武夷山脉东南,鹫峰山脉西北,海拔高度在 230~556m。本地属中亚热带季风型气候,2000~2002 年平均气温为 19.4℃,无霜期 277d 左右;年均降水量 1731mm,年均蒸发量 1466mm,年均相对湿度 81%。2000~2002 年月降雨量和月均气温详见图 1。土壤均为花岗岩发育的红壤。2000 年分别在观光木、细柄阿丁枫和杉木林中坡地段设置 20m×20m 标准地各 5 块,进行相关研究。

(1) 观光木天然林为西北坡向,坡度 11°。乔木层主要有观光木、木荷(*Schima superba*)、猴欢喜(*Sloanea sinensis*)、山黄皮(*Randia cochinchinensis*)等,以观光木占优势。灌木层以杜茎山(*Maesa japonica*)、桂北木姜子(*Litsea subcoriacea*)、尖叶水丝梨(*Sycopsis dunnii*)为主。草本层为零星分布,以狗脊(*Woodwardia japonica*)和金毛狗脊(*Cibotium barometz*)为主。

(2) 细柄阿丁枫天然林为东北坡向,坡度 26°。乔木层主要有细柄阿丁枫、米槠(*Castanopsis carlesii*)、木荷、木荚红豆(*Ormosia xylocarpa*)等,以细柄阿丁枫占优势。灌木层以沿海紫金牛(*Ardisia punctata*)、草珊瑚(*Sarcandra glabra*)、狗骨柴(*Tricalysia dubia*)为主。草本层以狗脊为主。

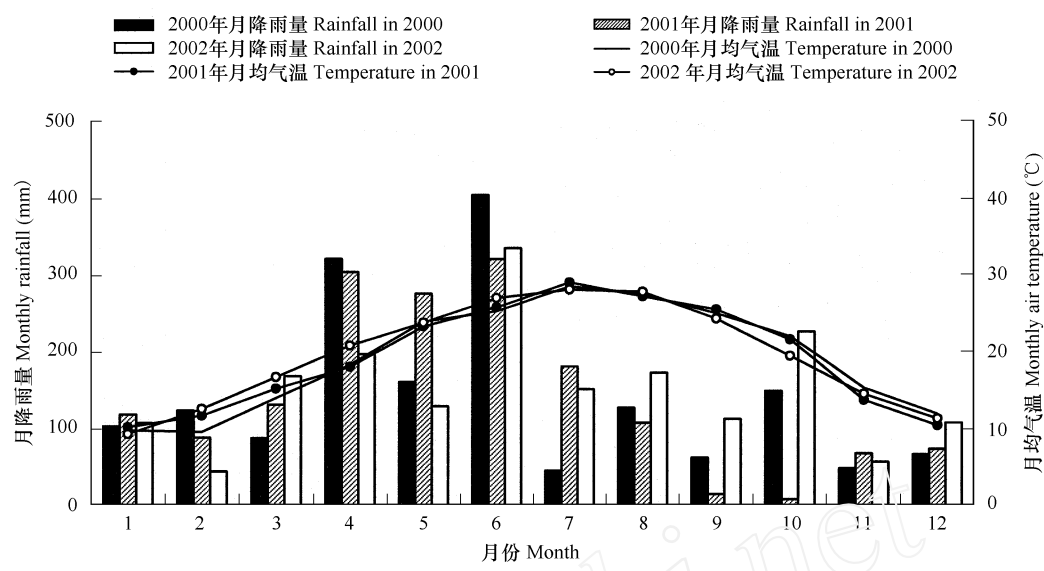


图1 试验地 2000~2002 年平均月降水量和月均气温
Fig. 1 Monthly rainfall and air temperature in years of 2000 , 2001 and 2002

(3) 杉木人工林为西北坡向,坡度 27° 林冠单层,灌木层以杜茎山、狗骨柴和草珊瑚为主。草本层以五节芒 (*Miscanthus floridulus*)、狗脊和乌毛蕨 (*Blechnum orientale*) 为主。

3 种林分的林分特征及土壤性质见表 1。

2 研究方法

2.1 凋落物收集

1999 年 12 月在 3 种林分标准地上,按随机加局部控制的原则(兼顾密度、坡向和坡位)分别布设 15 个 0.5m ×1m 的收集框(离地 20~25cm 水平放置),收集框上的尼龙网布孔径为 1mm,框高均为 5cm。从 2000 年 1 月开始每月的 28 日收集每个框架内的凋落物,同时观测林内外湿度、气温、地温、土壤含水量等。

2.2 凋落物处理

每个收集框内的凋落物按叶、枝(包括树皮和枝皮)、花、球果(包括脱落的种子)和其它组分(主要为虫鸟粪、蛹、小动物残体等)分成 5 个组分于 80 °C 下烘干、称重,按组分将 15 个收集框中的样品混合,将样品磨碎,过 60 目筛后贮存于广口瓶中备用。另取少量样品,于 80 °C 烘干测定含水率。

2.3 凋落物养分测定

采用硫酸-高氯酸消煮法,KDN-C 型定氮仪测定全 N,钼锑抗比色法测定全 P,火焰光度计法测定全 K,AA-670 原子吸收分光光度计测 Ca 和 Mg^[12]。

2.4 统计分析

统计分析用 SPSS(11.5) 软件进行。采用 3 因素方差分析法检验各林分间凋落量及养分归还量的差异,并

表 1 各林分特征和土壤性质

Table 1 Forest characteristics and soil properties of the study sites			
因子 Parameters	林分类型 Forest type ⁽¹⁾		
	TSO	ALG	CUL
林分特征 Stand characteristics			
林龄 Stand age (a)	120	150	29
平均树高 Mean tree height (m) ⁽²⁾	28	28	18
平均胸径 Mean tree diameter at breast height (cm) ⁽²⁾	42.2	45.2	18.3
密度 Stand density (stem hm ⁻²) ⁽²⁾	298	235	1117
蓄积量 Stand volume (m ³ hm ⁻²) ⁽²⁾	423	406	425
灌木层生物量 Biomass of shrub layer (t hm ⁻²)	6.12	4.58	1.89
草本层生物量 Biomass of herb layer (t hm ⁻²)	0.75	0.61	2.23
土壤性质 Soil (top 0~20cm depth)			
容重 Bulk density (g cm ⁻³)	0.92	0.90	1.20
有机质 Organic matter (%)	4.1	6.3	2.9
全 N Total N (%)	0.15	0.17	0.08
全 P Total P (%)	0.04	0.04	0.04
水解 N Hydrolyzable N (mg kg ⁻¹)	140	164	93
速效 P Available P (mg kg ⁻¹)	2.42	1.67	2.47

* (1) TSO, 观光木林 *Tsoongiodendron odorum* forest; ALG, 细柄阿丁枫林 *Altingia gracilipes* forest; CUL, 杉木林 Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) forest; (2) 只涉及优势种 Only dominant tree species is considered

用 LSD 多重比较法进行差异显著性检验 ($p < 0.05$)。

3 结果

3.1 凋落物的数量与组成

3 林分年均凋落量范围从杉木人工林的 $4.63 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 到观光木林的 $6.74 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表 2)。2 种天然林年均凋落量间差异不显著,但均显著高于杉木人工林年均凋落量。各林分年均落叶量占总凋落量的 62%~69%,落枝占总凋落量的 11%~26%,而落花、落果和其它组分合计占总凋落量的 12%~22%。

表 2 3 种林分凋落物数量及组成

林分类型 Forest type	主要树种叶 Leaf of dominant species	其它树种叶 Leaf of other trees ¹⁾	落叶总量 Subtotal of leaf	主要树种枝 Small branch of dominant species	其它树种枝 Branch of other trees ¹⁾	落枝总量 Subtotal of branch	落花 Flower	落果 Fruit	其它组分 Miscellaneous	合计 Total
TSO	1709 $\pm$ 160 (25)	2977 $\pm$ 282 (44)	4686 $\pm$ 318a (69)	447 $\pm$ 68 (7)	273 $\pm$ 127 (4)	720 $\pm$ 105b (11)	239 $\pm$ 103a (4)	69 $\pm$ 28b (1)	1023 $\pm$ 458a (15)	6737 $\pm$ 586a (100)
ALG	2421 $\pm$ 463 (38)	1663 $\pm$ 417 (26)	4084 $\pm$ 313a (64)	762 $\pm$ 190 (12)	106 $\pm$ 48 (2)	868 $\pm$ 154b (14)	116 $\pm$ 50b (2)	118 $\pm$ 60ab (2)	1159 $\pm$ 262a (18)	6345 $\pm$ 480a (100)
CUL	2879 $\pm$ 256 (62)		2879 $\pm$ 256b (62)	1215 $\pm$ 81 (26)		1215 $\pm$ 81a (26)	76 $\pm$ 11c (2)	144 $\pm$ 43a (3)	317 $\pm$ 60b (7)	4631 $\pm$ 415b (100)

数值为 3a 平均值 $\pm$ 标准差;同一列中标有不同字母的数值表示存在显著性差异, $p < 0.05$; 1) 其它树种指除主要树种外的乔木 Values are means $\pm$ s. d. of 15 traps per plot over three years; Means followed by different letters on the same column indicate significant differences at $p < 0.05$; 1) Other tree species indicate those species in the tree layer, except dominant tree species; TSO, 观光木林 *Tsoongiodendron odorum* forest; ALG, 细柄阿丁枫林 *Altingia gracilipes* forest; CUL, 杉木林 *Chinese fir (Cunninghamia lanceolata)* forest

3.2 凋落物动态

细柄阿丁枫林总凋落量的月变化呈单峰模式,在一年中的 3 月份或 4 月份出现明显峰值(图 2)。观光木林总凋落量一年中出现 2 个峰值,主峰值出现在 3 月份,另一小的峰值出现在 6~8 月份。而对于杉木林,凋落量一般在 3 月份(或 4 月份)、6~8 月份和 11~12 月份较大。落叶量的月变化模式与凋落物总量的基本相似,而天然林落枝量的月变化模式不同。

3.3 凋落物的养分归还

3 林分 Ca 和 Mg 年归还量大小排序与按总凋落量的不同(表 3)。2 种天然林凋落物 N 年归还量显著高于杉木人工林 ($p < 0.05$)。观光木林凋落物的 N 和 P 年归还量约是杉木人工林的 2 倍。细柄阿丁枫天然林与杉木人工林凋落物 K 归还量相近,但均显著低于观光木林 ($p < 0.05$)。各林分凋落物 Ca 年归还量中杉木林的最大 ($49.42 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),而细柄阿丁枫林的最小 ($20.04 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。3 种林分 Mg 归还量顺序为:观光木林 ($12.59 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) > 杉木林 ($8.02 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) > 细柄阿丁枫林 ($7.72 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。

各林分落叶归还的养分占养分归还总量约 60%~70%(图 3),说明落叶是凋落物养分归还的主要组分。观光木林内其它树种叶的 N、P、K、Ca、Mg 归还量占各养分归还总量的比例均大于 30%。杉木林落枝各养分归还量所占比例均高于其它林分。

观光木林落花、落果的 N、P、Ca 和 Mg 年归还量占各养分归还总量的比例高于其它林分,而杉木人工林落花、落果的 K 年归还量占凋落物 K 归还总量的比例最高。3 林分中细柄阿丁枫林其它组分的 N、P、K 归还量占各养分归还总量的比例均最高,而凋落物的 Ca、Mg 归还总量中,通过其它组分 Ca、Mg 归还量所占比例最大值分别出现在观光木林(细柄阿丁枫林)和杉木林(细柄阿丁枫林)(图 3)。

4 讨论

4.1 凋落物数量及动态

本研究中 2 种天然林年凋落量均落入热带、亚热带森林年均凋落量范围之内 ($3.0 \sim 14.44 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[13~16],且均高于寒温带和暖温带森林的平均凋落量 $3.5 \sim 5.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。本研究杉木人工林年均凋落量 ($4.63 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 与湖南会同 22 年生杉木人工林 ($4.47 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[8] 和广西成年杉木林的 ($4.62 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[17] 相似,但显著低于

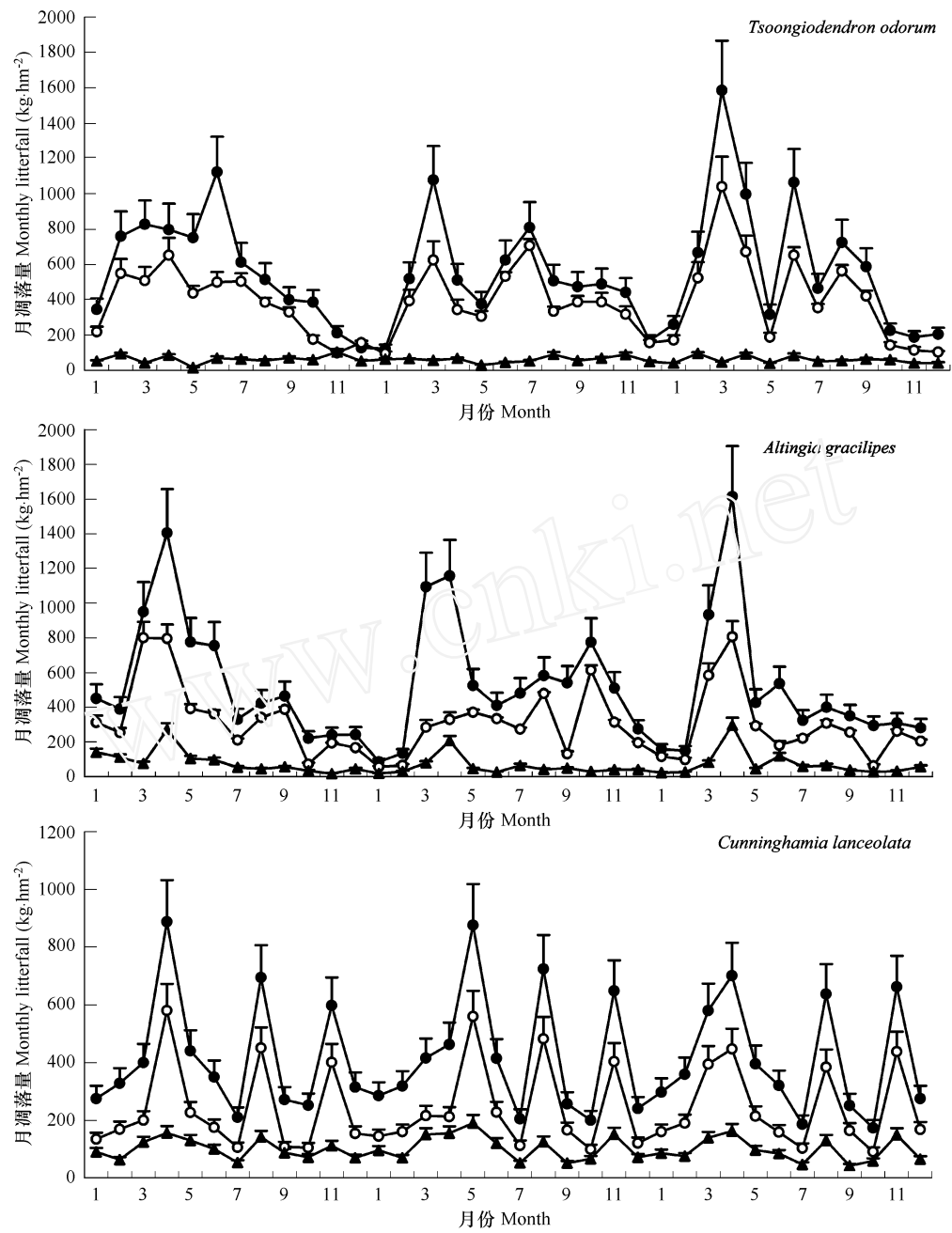


图2 凋落物总量及组分的月变化

Fig. 2 Monthly variation in total litterfall and its components in the three forests
—●—凋落物总量 Total litterfall; —○—落叶总量 Leaf litter; —▲—落枝总量 Small branch litter

本研究天然林,这与国内外大多数的研究结果一致^[14,18,19]。Facelli 和 Pickett 报道了相同气候条件下,树种组成是影响森林凋落物产量的一个重要因素^[20]。与杉木人工林相比,本研究 2 种天然林内树种多样且林分总蓄积量大^[21],这部分解释了天然林凋落量大的原因。此外,观光木林年均凋落量略高于细柄阿丁枫林(表 2),这可能与各树种凋落特征差异及对环境条件的不同反应有关。

王凤友综述世界上有关凋落物研究后认为^[10],凋落叶量占凋落物总量的 60 %~80 %。本研究中各天然林和杉木人工林凋落叶量占凋落物总量的比例均落于一般范围。本研究杉木落叶占 62 %,略高于广西田林老山^[9]和湖南会同杉木林^[8],低于丹麦的挪威云杉 (*Picea abies* (L.) Karst.) 林和西加云杉林 (*Picea sitchensis*

(Bong.) Carr.)^[22],比雨林、常绿阔叶林、落叶阔叶林落叶所占的比例则更低^[4,17],这与阔叶树凋落物中落叶所占比例比针叶树大的前人研究结果一致^[17,22,23]。

受树种生物学特性和气候因子的综合影响,不同林分及同一林分不同年份凋落物节律有一定规律,但亦表现一定差异性。虽然中亚热带常绿乔木在全年均有凋落物,但凋落物组分、数量在各个月的分布是不均匀的,多数是双峰,少数是单峰的,与组成群落的树种种类结构有关^[24]。本研究中细柄阿丁枫林在3月份或4月份出现明显凋落高峰,这与温度升高、降雨量增大,多数常绿树种春季大量萌发新叶并旺盛生长,从而促进衰老的叶子相继脱落有关^[5,7,9]。观光木林除3月份出现一个凋落高峰外,另一峰值出现在夏季(6~8月份),这与高温干旱,林木通过大量落叶以减少蒸腾作用有关^[25]。大多数研究表明^[8,9]杉木人工林一年中出现2个峰值(4~5月份和11~12月份),但本研究杉木林在8月份出现另一凋落高峰,这可能由于高温干旱造成大量落叶^[18]。

表3 3种林分年均凋落量($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)和养分年归还量($kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)

Table 3 Annual mass ($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$) and nutrient return to the forest floor ($kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$) from total litterfall in the three forests

	林分类型 Forest type		
	TSO	ALG	CUL
凋落量	6.74 $\pm$ 0.59a	6.35 $\pm$ 0.48a	4.63 $\pm$ 0.42b
N	70.41 $\pm$ 7.39a	50.09 $\pm$ 5.61b	34.89 $\pm$ 3.73c
P	3.93 $\pm$ 0.45a	2.67 $\pm$ 0.33b	2.39 $\pm$ 0.25b
K	20.83 $\pm$ 1.99a	12.89 $\pm$ 1.32b	12.52 $\pm$ 1.29b
Ca	24.87 $\pm$ 2.81b	20.04 $\pm$ 2.12b	49.42 $\pm$ 5.38a
Mg	12.59 $\pm$ 1.13a	7.72 $\pm$ 0.75b	8.02 $\pm$ 0.81b

数值为3a平均值 $\pm$ 标准差;同一行中标有不同字母的数值表示存在显著性差异, $p < 0.05$ 。Values are means $\pm$ s. d. of fifteen traps per plot over three years; Letters in each row indicate significant differences among forests ($p < 0.05$); TSO, 观光木林 *Tsoongiodendron odorum* forest; ALG, 细柄阿丁枫林 *Altingia gracilipes* forest; CUL, 杉木林 *Chinese fir (Cunninghamia lanceolata)* forest

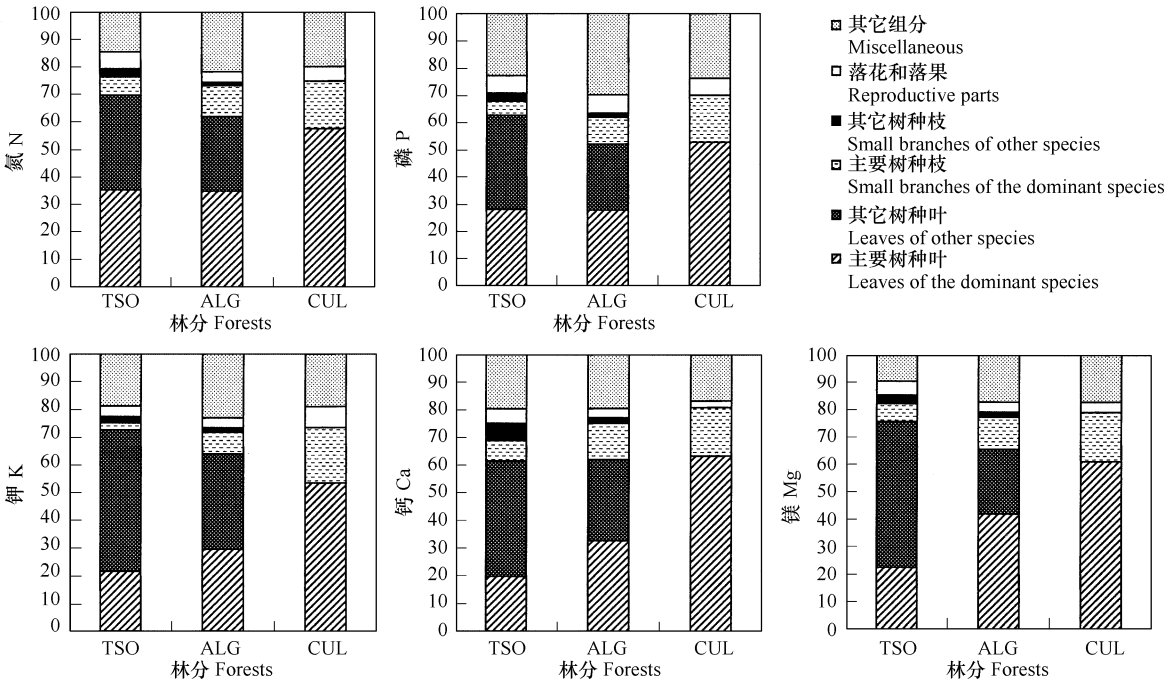


图3 3种林分凋落物各组分养分归还量占凋落物养分归还总量的比例

Fig.3 Nutrient inputs of litter fractions as a percentage of the same element input in total litterfall from the three forests

TSO: 观光木林 *Tsoongiodendron odorum* forest; ALG: 细柄阿丁枫林 *Altingia gracilipes* forest; CUL: 杉木林 *Chinese fir (Cunninghamia lanceolata)* forest

通过对各月降雨量、气温与2种天然林和杉木人工林凋落量的相关统计显示,观光木和细柄阿丁枫2种天然林总凋落量均与降雨量存在显著正相关,与温度也存在正相关,但不显著。而杉木林总凋落量与这两个气候因子的相关性均不显著,说明本研究地处杉木中心产区,其凋落物节律体现了树种生物学特性(少受气候

波动影响)。

4.2 凋落物的养分归还

通过凋落物的养分归还对维持林地地力,保持林分的长期生产力起到积极的作用。本研究中 3 种林分凋落物养分归还量均落在已报道的世界森林类型相同元素归还量的范围内^[13,26]。与亚热带其它森林类型凋落物 N、P 归还量相比,杉木林凋落物 N、P 归还量与广西田林^[9]和湖南会同杉木人工林^[8]的相似;2 种天然林凋落物 N 和 P 年归还量与三明格氏栲(*Castanopsis kawakamii*)天然林的相似^[18],但均高于鼎湖山马尾松(*Pinus massoniana*)^[6]和武夷山甜槠(*Castanopsis eyrei*)林^[7],低于鼎湖山亚热带常绿阔叶林^[5],体现了不同植物间的相同元素归还量的差异。落叶是凋落物养分归还的主要组分,特别是 N 和 P 的归还。本研究中天然林凋落叶 N 和 P 归还量分别占凋落物 N 和 P 归还总量的 62%~70%和 52%~63%,这与 Moroni and Smethurst 的研究结果相似^[27]。与阔叶树人工林相比^[13,18],本研究杉木人工林通过落叶的 N 和 P 归还量比例较低(N 和 P 分别为 58%和 53%),这可能与不同树种凋落叶 N 和 P 浓度差异有关。

因许多亚热带森林土壤酸度高,N 和 P 常成为限制林木生长的主要元素。本研究中天然常绿阔叶林凋落量大且凋落物的 N 和 P 归还量均比亚热带针叶林的高^[8,9],这进一步验证了在土壤养分供应方面,阔叶树种比针叶树种更为有利^[18]。因此,为了实现南方林区森林的可持续经营,保护和扩大常绿阔叶林资源已成为其重要措施之一。

References:

- [1] Norgrove L, Hauser S. Leaf properties, litter fall, and nutrient inputs of *Terminalia ivorensis* at different tree stand densities in a tropical timber-wood crop multistrata system. *Can. J. For. Res.*, 2000, 30(9): 1400~1409.
- [2] Xu X N, Hirata E. Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* plantations with and without broad-leaved trees. *For. Ecol. Manage.*, 2002, 157: 165~173.
- [3] Alegre J, Alonso-Bi áquez N, de Andr é E F, et al. Revegetation and reclamation of soils using wild leguminous shrubs in cold semiarid Mediterranean conditions: Litterfall and carbon and nitrogen returns under two aridity regimes. *Plant and Soil*, 2004, 263: 203~212.
- [4] Lu J P, Liu Q H. Studies on the litter in tropical forests in Jianfengling, Hainan Island. *Acta Phytoecol. Geobot. Sinica*, 1988, 12(2): 104~111.
- [5] Tu M Z, Yao W H, Weng H, et al. Characteristics of litter in evergreen broadleaved forest of the Dinghu Mountain. *Acta Pedologica Sinica*, 1993, 30(1): 34~42.
- [6] Weng H, Li Z A, Tu M Z, et al. The production and nutrient contents of litter in forest of Dinghushan. *Acta Phytoecol. Geobot. Sinica*, 1993, 17(4): 299~304.
- [7] Lin Y M, He J Y, Yang Z W, et al. The dynamics and production of litter falls of *Castanopsis eyrei* community in Wuyi Mountains. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1999, 38(2): 280~286.
- [8] Tian D L, Zhao K. Studies on the litter in a Chinese fir plantation ecosystem I. Amount, composition and dynamics of litter. *Journal of Central-South Forestry College*, 1989, 9: 38~44.
- [9] Liang H W. Studies on the litterfall of two forest types in mid-altitude of Laoshan mountain in Tianlin Country. *Chinese Journal of Ecology*, 1994, 13(1): 21~26.
- [10] Wang F Y. Review on the study of forest litterfall. *Advances in Ecology*, 1989, 6(2): 82~89.
- [11] Peng S L, Liu Q. The dynamics of forest litter and its responses to global warming. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1534~1544.
- [12] Department of National Forestry. Forest soil analysis methods. Beijing: Chinese Criteria Press, 2000.
- [13] Cuevas E, Lugo A E. Dynamics of organic matter and nutrient return from litterfall in stands of ten tropical tree plantation species. *For. Ecol. Manage.*, 1998, 112: 263~279.
- [14] Lian Y W, Zhang Q S. Conversion of a natural broad-leaved evergreen forest into pure and mixed plantation forests in a subtropical area: effects on nutrient cycling. *Can. J. For. Res.*, 1998, 28: 1518~1529.
- [15] Sundarapandian S M, Swamy P S. Litter production and leaf-litter decomposition of selected tree species in tropical forests at Kodayar in the Western Ghats, India. *For. Ecol. Manage.*, 1999, 123: 231~244.
- [16] Deng C Z, Hou J P, Li S C, et al. Study on forest litter in Ailao Mountain, North China. *Acta Phytoecol. Geobot. Sinica*, 1993, 17(4): 364~370.
- [17] Wen Y G, Wei B E, Li J J. A study on the litter production and dynamics of subtropical forest. *Scientia Silvae Sinicae*, 1989, 25(6): 542~547.
- [18] Yang Y S, Guo J F, Chen G S, et al. Litterfall nutrient return, and leaf-litter decomposition in four plantation compared with a natural forest in subtropical

- china. Ann. For. Sci. ,2004 ,61 :465~476.
- [19] Xu X N, Hirata E. Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* plantations with and without broad-leaved trees. For. Ecol. Manage. , 2002 , 157 : 165~173.
- [20] Facelli J M, Pickett S T A. Plant litter : its dynamics and effects on plant community structure. The Bot. Rev. , 1991 , 57 : 1~32.
- [21] Lin P, Qiu X Z. Study on the *Castanopsis kawakamii* forest in the Wakeng area of Sanming city, Fujian Province. Acta Phytocol. Geobot. Sinica , 1986 , 10(4) : 241~252.
- [22] Pedersen L B, Bille-Hansen J. A comparison of litterfall and element fluxes in even aged Norway spruce, Sitka spruce and beech stands in Denmark. For. Ecol. Manage. , 1999 , 114 : 55~70.
- [23] Yan Y S, Yu B N, Xie J S, et al. Amount, composition and seasonal dynamics of litterfall in mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoagiodendron odorum*. Scientia Silvae Sinicae ,2001 ,37(Sp. 1) :30~34.
- [24] Yu X T. Silviculture of Chines fir. Fuzhou : Fujian Science and Technology Press , 1996.
- [25] Yang Y S, Chen Y X, He Z M, et al. Comparatively study on litter properties between plantations of *Fokienia hodginsii* and *Cunninghamia lanceolata*. Scientia Silvae Sinicae , 2004 , 40(1) : 2~10.
- [26] Lisawork N, Michelsen A. Litterfall and nutrient release by decomposition in three plantations compared with a natural forest in the Ethiopian highland. For. Ecol. Manage. , 1994 , 65 : 149~164.
- [27] Moroni M T, Smethurst P J. Litterfall nitrogen and phosphorus fluxes in two Tasmanian *Eucalyptus nitens* plantations. Tasforests , 2003 , 14 : 53~64.

参考文献:

- [4] 卢俊培, 刘其汉. 海南岛尖峰岭热带林凋落物研究初报. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12 (2) : 104~111.
- [5] 屠梦照, 姚文华, 翁轰, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林凋落物的特征. 土壤学报, 1993, 30(1) : 34~42.
- [6] 翁轰, 李志安, 屠梦照, 等. 鼎湖山森林凋落物量及营养元素含量研究. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(4) : 299~304.
- [7] 林益明, 何建源, 杨志伟, 等. 武夷山甜槠群落凋落物的产量及其动态. 厦门大学学报(自然科学版), 1999, 38(2) : 280~286.
- [8] 田大伦, 赵坤. 杉木人工林生态系统凋落物的研究 I. 凋落物的数量、组成及动态变化. 中南林学院学报, 1989, 9 : 38~44.
- [9] 梁宏温. 田林老山中山两类森林凋落物研究. 生态学杂志, 1994, 13 (1) : 21~26.
- [10] 王凤友. 森林凋落物量研究综述. 生态学进展, 1989, 6(2) : 82~89.
- [11] 彭少麟, 刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应. 生态学报, 2002, 22(9) : 1534~1544.
- [12] 国家林业局. 森林土壤分析方法. 北京 : 中国林业出版社, 2000.
- [16] 邓纯章, 候建萍, 李寿昌, 等. 哀牢山北段主要森林类型凋落物的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(4) : 364~370.
- [17] 温远光, 韦炳二, 黎洁娟. 亚热带森林凋落物产量及动态的研究. 林业科学, 1989, 25(6) : 542~547.
- [21] 林鹏, 丘喜昭. 福建三明格氏栲天然林的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1986, 10(4) : 241~252.
- [23] 杨玉盛, 俞白楠, 谢锦升, 等. 杉木观光木混交林凋落物数量、组成及动态. 林业科学, 2001, 37(Sp. 1) : 30~34.
- [24] 俞新妥. 杉木栽培学. 福州 : 福建科学技术出版社, 1996.
- [25] 杨玉盛, 陈银秀, 何宗明, 等. 福建柏和杉木人工林凋落物性质的比较. 林业科学, 2004, 40(1) : 2~10.