

南亚热带 4 种人工林凋落物动态特征

邹碧, 李志安*, 丁永祯, 谭万能

(中国科学院华南植物园, 广州 510650)

摘要: 森林凋落物是森林生态系统能量与物质过程的重要环节。研究了南亚热带 4 种常见人工林凋落物特征, 材料取自中国科学院鹤山丘陵综合试验站, 人工林栽植于 1984 年, 从 2002 年至 2003 年进行了每月凋落物测定, 同时测定了地表凋落物量。人工林凋落物总量大小依次为马占相思 ($10.433 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$) > 大叶相思 ($7.538 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$) > 湿地松 ($6.445 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$) > 荷木 ($5.541 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$), 凋落物量年度间无显著变化, 凋落叶量占总凋落物量的 83.2% (马占相思) 至 93.7% (湿地松)。上半年凋落物量通常较平稳, 下半年 7~9 月份多有一个峰值凋落期, 主要原因是台风雨及叶子进入成熟期。除台风等因素引起激烈变化的月份外, 二年度对应月份凋落物量极为相似。除大叶相思外, 其它林型从 14a 林龄开始凋落物量有所下降。4 种林型中, 只有马占相思与湿地松的凋落物量与气温或降雨有显著的相关, 特别是马占相思的总凋落物量与这些气候因素相关性最高。地表凋落物蓄积量大小为湿地松 ($13.81 \text{ t}/\text{hm}^2$) > 马占相思 ($13.53 \text{ t}/\text{hm}^2$) > 大叶相思 ($6.46 \text{ t}/\text{hm}^2$) > 荷木 ($5.02 \text{ t}/\text{hm}^2$), 马占相思的高蓄积量源于大凋落物量及较慢的分解速率, 湿地松的高蓄积量源于针叶的难分解性。与世界其它类型的比较显示, 低气温高纬度地区, 地表凋落物蓄积量大大高于凋落物量, 高温高湿的低纬度地区, 地表凋落物蓄积量通常低于年凋落物量, 但松林在不同纬度地区, 地表凋落物量均高于年凋落物量。

关键词: 人工林; 凋落物; 凋落物蓄积量; 南亚热带

文章编号: 1000-0933(2006)03-0715-07 中图分类号: S718.55 文献标识码: A

Litterfall of common plantations in south subtropical China

ZOU Bi, LI Zhi-An*, DING Yong-Zhen, TAN Wan-Neng (South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 715 ~ 721.

Abstract: Litterfall plays an important role in nutrient cycling and energy flow of forest ecosystems. In this paper, four common plantations of *Acacia mangium*, *Acacia auriculaeformis*, *Pinus elliottii* and *Schima superba* in south subtropical China were studied for their litter production and litter stock on the ground. Research site was in Heshan Hilly Land Experimental Station of Chinese Academy of Sciences ($112^{\circ}54'E, 22^{\circ}41'N$). The plantations were set up in 1984. Monthly litterfall was monitored for 2 yrs starting in January 2002. Litter stock of forest floor was also estimated. Annual litterfall production was in a descending order: *A. mangium* ($10.433 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$), *A. auriculaeformis* ($7.538 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$), *P. elliottii* ($6.445 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$), *S. superba* ($5.541 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$). No significant difference of litterfall production between years was detected. Leaf litter accounted for 83.2% (*A. mangium*) ~ 93.9% (*P. elliottii*) of total amount of the litterfall. Litterfall in first six months was stable. However, peaks occurred from July to September, which mainly resulted from fallen mature leaves by storms. Litterfall of corresponding months during the 2 years was very similar except some months with storms. Litterfall production of 3 plantations started to decrease when

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30170191); 中国科学院知识创新工程方向性资助项目(KSCX2-SW-133); 广东省自然科学基金资助项目(2000 0976, 5006760); 华南植物研究所所长基金资助项目

收稿日期: 2005-08-15; 修订日期: 2005-12-25

作者简介: 邹碧(1978-), 男, 江西人, 主要从事森林土壤与生态系统养分过程研究. E-mail: zoubi@scbg.ac.cn

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lizan@scbg.ac.cn

Foundation item: The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (No.30170191), The Chinese Academy of Sciences Knowledge Innovation Program (No. KSCX2-SW-133), Guangdong Natural Science Foundation (No.20000976, 5006760), Director Foundation of South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences

Received date: 2005-08-15; Accepted date: 2005-12-25

Biography: ZOU Bi, mainly engaged in forest soil and nutrient processes in ecosystems. E-mail: zoubi@scbg.ac.cn

the plantations were at the age of 14. *A. auriculaeformis* behaved differently. Significant correlations between litterfall and temperature or precipitation were found only for *A. mangium* and *P. elliotii*. Litter stock of forest floor ranked as *P. elliotii* (13.81 t/hm^2) > *A. mangium* (13.53 t/hm^2) > *A. auriculaeformis* (6.46 t/hm^2) > *S. superba* (5.02 t/hm^2). High litter stock of *A. mangium* was derived from high litterfall and relatively slow decomposition, but *P. elliotii* mainly from low decomposability. Globally, at the region of low temperature, litter stock was much higher than annual litterfall production. At the region of high temperature and high precipitation, litter stock was generally lower than annual litterfall. Pine was an exception in that the litter stock was higher than annual litterfall production in different regions.

Key words: plantation; litterfall; litter stock; south subtropical China

我国南方自 20 世纪 80 年代以来大规模植造人工林,森林覆盖率从 20 世纪 80 年代初期的 26% 增加至 90 年代末的 57.1%^[1]。在此期间,以营造各类速生纯林为主,如湿地松林、马尾松林、马占相思林等,目前这些人工林林龄接近 20a。随着我国经济发展水平的提高,营造强生态功能的人工林引起了广泛重视,近年来各地进行大规模林分改造,以营造以乡土树种为主的生态公益林,尽管如此,目前华南森林仍以各类纯林为主^[2]。针对先期建立的各种人工纯林,对它们的生态功能进行合理的评估,可为林分改造提供科学的依据。

森林凋落物是森林生态系统功能过程的重要组成部分,凋落物维持土壤养分库、影响初级生产力、调节生态系统能量流动与养分循环^[3],凋落物转化形成的土壤腐殖质可大幅提高土壤的阳离子交换量^[4,5],提高土壤有效养分供应能力。近年,它更被放在全球碳过程的背景下进行研究,它使碳从生物库向土壤库转移,土壤是最大的碳库,约为 2000Pg,是大气碳库的 2 倍多,植被碳库的 4 倍^[6],正是森林凋落物在维持土壤碳库平衡中起到了关键作用^[7]。因而,尽管已有大量凋落物研究资料,但全球仍在深入研究各类型森林凋落物的特征^[8]。本文以我国南方常见的人工林为对象,研究其凋落物动态特征及其影响因素,对认识这些人工林的生态功能具有重要意义。

1 方法与材料

研究样地位于中国科学院鹤山丘陵综合试验站内($112^{\circ}54'E, 22^{\circ}41'N$),该地气候属南亚热带季风气候,年均气温 21.7°C ,年均降雨量 1700mm。该地为低丘地貌,区内最高峰海拔 99.8m,相对高度多在 30~40m。土壤为发育于砂页岩的富铁土,质地多为壤质土。试验站有各种以集水区为单元的人工林类型,全部栽植于 1984 年,种植规格为 $2\text{m} \times 3\text{m}$ 。造林前,本地区为退化荒坡地,坡面几乎无乔木植物,只有稀灌丛草地覆盖。本研究选择其中的马占相思、大叶相思、湿地松及荷木为材料,研究其凋落物特征。据 2003 年调查,马占相思平均胸径为 12.28cm,树高 17.38m,大叶相思平均胸径 16.16cm,树高 9.68m,湿地松平均胸径 12.08cm,树高 9.17m,荷木平均胸径 13.61cm,树高 9.71m。4 种人工林相互毗邻,每一类型面积约 4~5 hm^2 ,林冠密闭,林下植物较少,有一定的草本与藤本植物,尚未出现明显的演替过程。在面积为 1 hm^2 的林内,随机建立 10 个合理分散的凋落物收集箱,收集箱为面积 $1 \times 1\text{m}^2$ 的铁框纱网结构,固定于离地约 30cm。每月底收集箱内凋落物,称重,同时取样测定其含水量,计算凋落物干重。由于人工林林冠密闭,其它植物入侵不多,特别是乔木层,只是在林缘位置偶见一些其它种,因而,收集箱内凋落物主要来源于所栽植的人工林。从 2002 年 1 月起,连续 2a 收集测定了凋落物量。同时一次性测定了地面凋落物蓄积量,测定方法为,用 $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ 的铁框放置于地表,先收集框内表层粗凋落物,再收取半腐解凋落物至矿物质土表,凋落物区分为枝与叶,分别称重,再从每个重复中取一样回实验室,测定含水量。每个林型测定了 10 个重复。

2002 年 8 月,采集了林下土壤并测定其主要养分指标。每个林型共采集了 6 个混合样,每个混合样由 10 个小土体混合而成,用内径 3cm、长 20cm 的钢筒获得均一的小土体。用常规方法^[9]测定了土壤的主要养分指标,结果见表 1,其中,有机质用重铬酸钾湿灰化法;速效磷用氟化铵提取,氯化亚锡还原法;速效钾用醋酸铵提取,原子吸收光谱测定;水解性氮用扩散吸收法。试验站有一气象观测站,记录常规气象指标,其降水量、气温等用于分析凋落物动态特征。

表 1 鹤山人工林土壤主要养分含量

Table 1 Nutrient content of plantation soils in Heshan

林型 Forest	有机质 OM(g/kg)	有效磷 Avail. P(mg/kg)	速效钾 Avail. K(mg/kg)	水解性氮含量 Hydrolyzed N(mg/kg)
马占相思 <i>Acacia mangium</i>	35.14 ± 3.68	2.18 ± 0.35	40.44 ± 8.45	116.54 ± 16.42
大叶相思 <i>Acacia auriculaeformis</i>	24.02 ± 2.42	1.11 ± 0.22	67.16 ± 2.43	98.82 ± 7.40
湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	28.88 ± 3.44	3.47 ± 0.70	40.46 ± 3.61	100.83 ± 11.63
荷木 <i>Schima superba</i>	23.36 ± 2.33	2.08 ± 0.21	59.40 ± 6.99	94.62 ± 5.07

2 结果与讨论

2.1 几种人工林年凋落物量比较

从表 2 看出, 几种人工林凋落物总量大小依次为马占相思(10.433 t/(hm²·a)) > 大叶相思(7.538 t/(hm²·a)) > 湿地松(6.445 t/(hm²·a)) > 荷木(5.541 t/(hm²·a))。显然, 即使人工林年龄相同, 但不同人工林类型的凋落物量差别很大, 马占相思凋落物约为荷木林的 2 倍, 达到统计上的显著差异。马占相思是外来种, 在当地适应性强, 生长快, 其凋落物量大是该林型具有明显土壤改良作用的最重要因素, 它使有机质与含氮量显著高于其它类型(表 1), 然而, 大叶相思尽管也是豆科外来种, 但其生长过程明显较慢, 其凋落物质地不良, 尽管其凋落物高于荷木林约 2 t/(hm²·a), 但对土壤改良不显著(表 1)。荷木是本地种, 也是地带性顶极群落的构成种, 凋落物量相对较小可能是乡土树种在生长前期的一个特征。与其它类型相比, 马占相思林凋落物量达到或超过了许多热带人工林或成熟森林的凋落物量, 如海南岛尖峰岭山地雨林凋落物量 8.244 t/(hm²·a)^[10], 鼎湖山南亚热带季风常绿阔叶林凋落物量 9.056 t/(hm²·a)^[11], 巴西东部林龄为 36 年的多种人工林凋落物量在 8.0 ~ 10.3 t/(hm²·a)^[12]。但印度东北部亚热带湿润次生林凋落物量在 10.7 ~ 19.5 t/(hm²·a)^[8], 多数林份大大高于鹤山人工林, 这些次生林林龄在 7 ~ 16a, 显然, 亚热带次生林在演替前期的凋落物量极大。

从凋落物构成看, 凋落叶量占总凋落物量的 83.2% ~ 93.7%, 其中, 马占相思叶量比例最低, 湿地松最高, 印度亚热带湿润次生林叶凋落量占总凋落物量的 78% ~ 88%^[8], 稍低于鹤山人工林凋落叶所占比例。相对应, 凋落枝量以马占相思最大, 湿地松最小, 森林木质凋落物随机性较大, 枝的凋落通常与物候没有直接联系, 当月收集到的凋落枝往往是以前枯死于树上的死枝^[13]。枝的凋落受气候因素影响很大, 台风可以把以前一段时间枯死的枝一起刮落于地面, 这种随机性造成凋落枝在不同月份间变化极大, 表 2 中, 只有马占相思与湿地松有显著差异, 其它林型间没有显著差异, 就是由于林型内方差大之故。这些人工林是先锋群落, 凋落枝量所占比例不大, 成熟自然森林木质凋落物所占比例通常可达 30% 以上^[13]。

凋落物相邻年度间变化较小, 只是湿地松有较明显的变化, 所有林型年度间的差异均未达到统计上的显著水准。从表 2 看出, 除湿地松外, 各个林型两年度总凋落物量非常接近, 表明人工林生长过程已相对稳定, 不象前期那样逐年大幅上升^[14]。2002 年降雨量 1617.5mm, 而 2003 年降雨量只有 1019.2mm, 是一干旱年, 这也表明只有湿地松对这种气候的变化有明显的响应。

2.2 人工林凋落物月动态特征

图 1 是 4 种人工林凋落物量的月动态特征。结果显示, 马占相思林没有明显的落叶季节, 全年均有较大的凋落物量。在 6 月份之前, 凋落物量相对稳定, 2 年度的凋落物量几乎一样, 而且标准差小, 7 月份之后出现较大幅度的升降变化, 各月的标准差也较大。

表 2 华南典型人工林凋落物量 (t/(hm²·a))

Table 2 Litterfall of typical plantations in south China

项目 Item	马占相思 <i>A. mangium</i>	大叶相思 <i>A. auriculaeformis</i>	湿地松 <i>P. elliotii</i>	荷木 <i>S. superba</i>
叶 Leaf				
2002	9.304	6.885	5.527	4.765
2003	8.056	6.310	6.556	3.965
平均值 Mean	8.680 ^a	6.598 ^{ab}	6.041 ^{bc}	4.365 ^c
枝 Branch				
2002	1.317	0.518	0.199	0.951
2003	2.189	1.363	0.609	1.402
平均值 Mean	1.753 ^a	0.940 ^{ab}	0.404 ^b	1.176 ^{ab}
总量 Total				
2002	10.622	7.403	5.726	5.716
2003	10.245	7.672	7.165	5.367
平均值 Mean	10.433 ^a	7.538 ^{ab}	6.445 ^{ab}	5.541 ^b

方差分析并用 LSD 法检验林型间差异, 差异显著性标示于平均值($\alpha = 0.05$); 林型内年度间的差异用配对法 t 检验 ($\alpha = 0.05$), 均没有显著差异, 未作标示 Significance of difference among the forest types was tested by anova and LSD ($\alpha = 0.05$), denoted in mean values. Paired t test was used to check the difference between years within each forest type ($\alpha = 0.05$). No significant difference was found for all forests

大叶相思全年也有较大的凋落物量,无明显的凋落季节,只在9~11月份有小幅度的上升。2003年3月大叶相思凋落物量有一个反常的大跃升,达到 1.386 t/hm^2 ,大量落叶后次月的落叶量则大幅度下降,只有 0.147 t/hm^2 ,这种大幅度上升的凋落物量原因未明,一是当月没有台风记录,如有台风,其它类型也应有相应的上升;二是头年未有相似的现象,不像是生物节律自身的原因。同样,大叶相思两年度多数月份的凋落物量很相似,只在3月份、4月份和12月份有较大的差别。

湿地松上半年落叶量处于极低的水平,下半年的落叶量则显著高于上半年,并有一个比较明显的落叶期(约从7月至9月份),之后也维持相对较高的落叶量。两年度的落叶量非常相似,即使是较高落叶量时期也是如此,只是在7月份有大的差别,两年度上半年的落叶量曲线几乎重叠。

荷木林全年的凋落物量起伏较小,只是在7~9月份有小幅度上升,与湿地松相似,两年度的凋落物曲线几乎重叠。

所有类型凋落物量有一共同特征,当某一月份凋落物达到最大值,则次月往往成为或接近最小值,即一段时间的大量落叶后,跟着是一个少落叶时期。同时,所有林型在2003年7月有一个峰值,马占相思、湿地松与荷木在7月份的落叶量达到全年的最大值,不同林型的这一共同特征显然是环境条件引起的,7月24日有一次较大的台风降雨过程,台风造成了大量的落叶,它甚至把未成熟的枝叶折落,因而,8月份即使有2次台风雨,凋落物量也远不如7月份大。从全年看,7月份之后的台风雨,以及叶子进入成熟期,是下半年凋落物量起伏较大的原因。

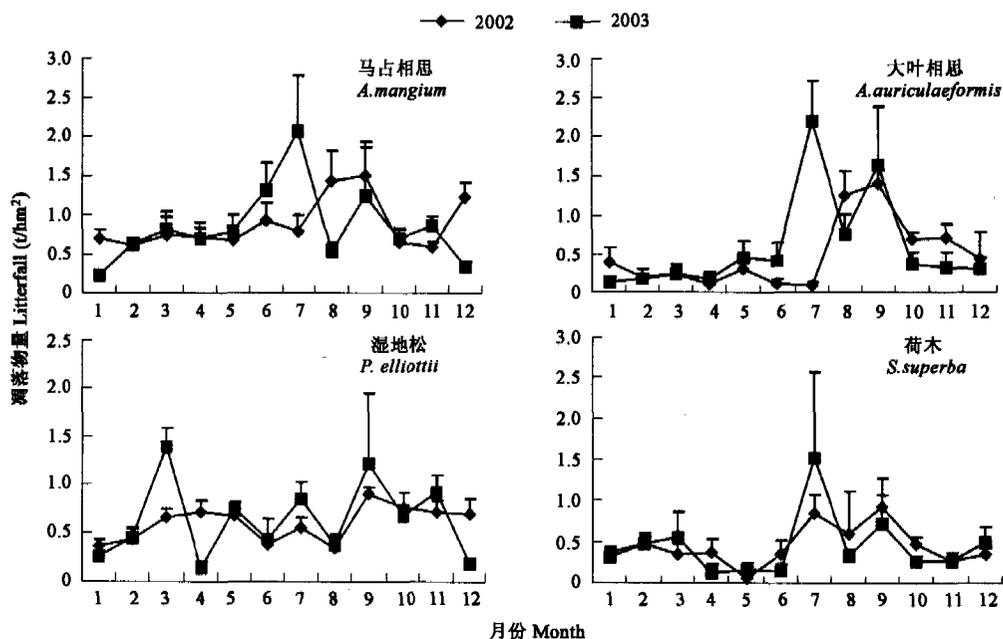


图1 华南4种人工林凋落物量月动态

Fig.1 Monthly litterfall of four plantations in south China

与本地带成熟的鼎湖山自然林相比^[11],月动态特征有较明显的差别,鼎湖山天然林全年通常有两个落叶高峰期,一是在4~5月份,此时是较明显的换叶期,同时,植食性虫害也带来大量的落叶,二是在9~10月份,叶子成熟期,同时,还常有台风的作用。我国袁牢山森林凋落物也有较明显的双峰特征^[15],一是在旱季末(4~5月份),二是在初冬(10~11月份)。本研究的4种人工林,除大叶相思在2002年3月份出现异常峰值外,其它3种林上半年均处于低调落物量水平,但在7月份以后通常有一峰值。印度东北部亚热带次生林凋落物动态特征与鹤山人工林也有明显区别,其峰值较规则地出现于2月至4月份,而6~8月份则是最低凋落物期^[8]。显然,鹤山人工林凋落物动态特征,既不同于成熟森林,也不同于次生林。

2.3 人工林凋落物年动态特征

该地人工林凋落物曾在不同时期进行过间断性测定^[14,16],图2显示1988年以来凋落物量的动态特征,

1988 至 1989 是马占相思与大叶相思前期生长最旺盛的时期,凋落物在 2a 间大幅上升,马占相思在 1998 年的测定结果高于 1989 年,而大叶相思 1998 年则低于 1989 年,但 2002 与 2003 年的结果又高于 1989 年,显然,凋落物量仍处于一定的波动变化中,在鼎湖山的测定结果显示成熟自然森林凋落物有明显大小年的交替特征^[11],但衰牢山亚热带山地常绿阔叶林凋落物在年际间没有显著变化^[15]。这两种人工林是速生性豆科树种,5a 林龄时(1989 年),凋落物量已接近成熟林的水平。湿地松林 1998 年的凋落物量是 7.30t/(hm²·a),2002 年的结果是 5.73 t/(hm²·a),而 2003 年又回复 7.17 t/(hm²·a),因而,约 7 t/(hm²·a)的凋落物量可能是正常的凋落水平。荷木从 1998 年以后有持续下降的趋势,但下降幅度不大,特别是 2002 与 2003 年的落叶量很接近,下降幅度应在正常变异范围内。从凋落物的年动态特征并结合对生长过程的观察,人工林凋落物量上升趋势大致与自身生长速率同步,马占相思与大叶相思在前 8a 生长最快,同期也是凋落物量的快速上升期,但荷木凋落物量的上升期稍后,目前,这些接近 20a 林龄的人工林,其凋落物量已接近相应林型的最大值,年际间的变化属自身的正常波动。

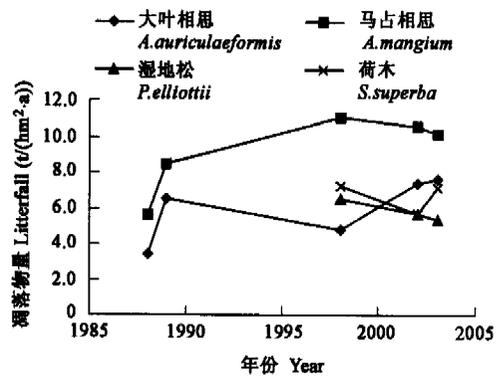


图 2 华南 4 种人工林多年凋落物量动态

Fig. 2 Annual litterfall dynamics of four plantations in south China

2.4 人工林凋落物与气候因子的关系

Jorgensen 等^[17]认为,气温、降雨与养分可利用性是森林凋落物的决定因素, Meentemeyer 等^[18]在建立世界凋落物模型时,也把气候因素作为决定性因素。将不同林型的总凋落物量及各个组份凋落物量与多个气候因子进行了相关分析,发现只有少数数据对是高度相关的,表 3 列举了显著相关的结果,因而,对于某个具体林型,凋落物量不是简单地由气候因素所决定。4 种林型中,只有马占相思与湿地松的凋落物量与气温或降雨有显著的相关,特别是马占相思的总凋落物量与这些气候因素相关性最高。Liu 等^[19]发现,阔叶林与针叶林相比,前者对气温与降雨的变化更为敏感,相关性较高,而气温变化的影响则大于降雨量的影响。这里,尽管马占相思凋落物量与气温及降雨的相关性高于湿地松,但 4 种林型来看,阔叶树凋落物并不比针叶树有更高的相关性。表 3 显示,森林的凋落过程在一定程度上受气候因子的直接调节,一些突发性的气候因子,如强降雨、台风更导致了大量的枯枝落叶,2002 年的 9 月多达 4 次台风雨,使该月成为当年所有林型凋落物最大值的月份。2003 年 7~9 月有频繁的台风雨,也使该时期的总凋落物量水平较高。然而,多数情况下,凋落物与气候因子没有简单的相关关系,凋落物量还受自身生物节律的支配,下半年叶子进入成熟期,它是台风雨产生大量凋落物的内在决定因素。如前所述,2002 年是正常降雨年,2003 年是干旱年,但两年度的凋落物量只有湿地松有较大的差别,其它 3 个种年度间凋落物量均极为接近,这也表明气候只是有限度调节凋落过程。

表 3 人工林凋落物与气候因子的回归分析

Table 3 Regression analysis between litterfall of plantations and climate variables

	湿地松 <i>P. elliotii</i>		马占相思 <i>A. mangium</i>	
	落叶 Leaf	凋落物总量 Total litterfall	落叶 Leaf	凋落物总量 Total litterfall
平均气温 Mean temp.	回归方程 Regression $Y = -0.526 + 0.0449 x$	$Y = -0.591 + 0.0492 x$	$Y = 0.195 + 0.0219 x$	$Y = -0.062 + 0.0406 x$
	F value (1,22) 5.25	5.58	6.26	7.13
	P 0.032	0.027	0.021	0.014
降雨量 Rainfall	回归方程 Regression $Y = 0.272 + 0.00211 x$	$Y = 0.293 + 0.00223 x$	$Y = 0.622 + 0.000922 x$	$Y = 0.658 + 0.00193 x$
	F value (1,22) 6.35	6.16	5.46	9.01
	P 0.019	0.021	0.029	0.007
气温 + 降雨量 Temp. + rainfall	回归方程 Regression $Y = -0.221 + 0.0246 T + 0.00146 R$			$Y = 0.221 + 0.0218 T + 0.00135 R$
	F value (2,22) 3.70			5.29
	P 0.042			0.014

2.5 人工林地表凋落物蓄积量

图 3 是 4 种人工林地表凋落物的比较。地表凋落物蓄积量大小为湿地松(13.81 t/hm²) > 马占相思(13.53 t/hm²) > 大叶相思(6.46 t/hm²) > 荷木(5.02 t/hm²)。显然,蓄积量的大小与年凋落物量大小次序不一致,马占相思与湿地松蓄积量最大,显著高于大叶相思和荷木(大于 2 倍),以荷木最低。从图上看,叶占地表凋落物的主体部分,其中马占相思叶占 93%,湿地松叶占 91%,大叶相思叶占 83%,荷木叶占 76%,这一比例与年凋落物枝叶比例大致相同,只是马占相思叶所占比例较明显高于年凋落物叶的比例(83%),因而,除马占相思外,其它林型枝叶分解速率大致相当,而马占相思枝分解速率则高于叶分解速率。

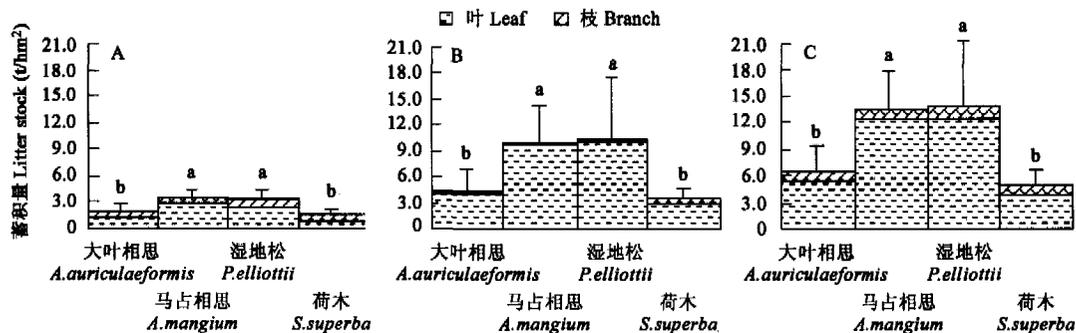


图 3 华南 4 种人工林地表凋落物蓄积量

Fig. 3 Litter stock on forest floor of four plantations in south China

A: 粗凋落物 Newly shed litter, B: 半腐解凋落物 Half decomposed litter, C: 凋落物总量 Total litter on forest floor; LSD 检验林型间的差异性 ($\alpha = 0.05$). 图中标准差是枝叶总量的标准差 Difference among forests was tested by LSD at $\alpha = 0.05$; Standard deviation bars were shown for sum of branch and leaves

表 4 列举了不同纬度森林凋落物量、地表蓄积量及分解速率。分解速率 k 是利用前两个量,依据质量平衡原理计算而来^[20,21],即 $k = \frac{L}{L + A}$,其中 L 为年凋落物量, A 为地表凋落物蓄积量。从本研究的结果看,马占相思的地表凋落物蓄积量稍高于年凋落物量 (10.43 t/(hm²·a)),大叶相思稍低于年凋落物量 (7.54 t/(hm²·a)),荷木几乎相等于年凋落物量 (5.54 t/(hm²·a)),但湿地松则二倍于年凋落物量 (6.45 t/(hm²·a))。地表凋落物蓄积量决定于 2 个因素,一是输入量,即凋落物量,二是分解速率,马占相思的高蓄积量源于高凋落物量和相对较慢的分解速率,而湿地松的高蓄积量则主要源于低分解速率。从表 4 看出,在高温多雨的低

表 4 不同纬度森林凋落物特征参数比较

Table 4 Important litterfall parameters of forests at different latitudes

	年凋落量 Annual litterfall t/(hm ² ·a)	地表凋落物量 Litter stock (t/hm ²)	分解速率 k (%)	续度 Latitude	温度 Temp(°C)/降雨 Rainfall(mm)	来源 Sources
巴西 热带湿润森林 ^①	9.7	7.2	57.4	2.0	26/1900	[12]
巴西 加勒比松人工林 ^②	10.3	11.0	48.4	2.0	26/1900	[12]
巴西 豆科人工林 ^③	10.1	8.0	55.8	2.0	26/1900	[12]
鹤山 马占相思 ^④	10.43	13.53	43.5	22°41'	21.7/1700	本研究 This study
鹤山 大叶相思 ^⑤	7.54	6.46	53.9	22°41'	21.7/1700	本研究
鹤山 湿地松 ^⑥	6.45	13.81	31.8	22°41'	21.7/1700	本研究
鹤山 荷木 ^⑦	5.54	5.02	52.5	22°41'	21.7/1700	本研究
鼎湖山 自然林 ^⑧	9.056	8.74	50.9	23.09	20.9/1956	[11] [22]
袁牢山 亚热带自然林 ^⑨	7.12	12.69	35.9	24.32	11.3/1931	[15]
希腊 Maritime 松林 ^⑩	1.42	32	4.2	41.06	13.5/498	[23]
希腊 冷杉人工林 ^⑪	2.5	82	3.0	39.30	8.6/1140	[23]

① tropical native forest in Brazil; ② plantation of *Pinus caribaea* in Brazil; ③ mixed legume plantation in Brazil; ④ *A. mangium* plantation in Heshan; ⑤ *A. auriculata* plantation in Heshan; ⑥ *P. elliottii* plantation in Heshan; ⑦ *S. superba* plantation in Heshan; ⑧ natural forest in Dinghushan; ⑨ subtropical natural forest in Ailao Mts; ⑩ maritime pine in Greece; ⑪ Fir plantation in Greece.

纬度地区, 地表凋落物蓄积量通常低于年凋落物量, 但也出现高于年凋落物量, 如加勒比松, 显然是由于其分解速率较慢的缘故。在低温少雨的高纬度地区, 则蓄积量大大高于年凋落物量, 如希腊冷杉林, 年凋落物量只有 $2.5 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 但地表蓄积量达 $82 \text{ t}/\text{hm}^2$, 低温可能对高积累量起了更大的作用, 该地冷杉林降雨量达到了 $1140 \text{ mm}/\text{a}$, 而年均温只有 8.6°C 。同样, 袁牢山降雨量与鼎湖山降雨量极为相似, 均超过 $1900 \text{ mm}/\text{a}$, 但袁牢山地表凋落物蓄积量约为凋落物量的 2 倍, 而鼎湖山地表凋落物蓄积量却低于 $8.45 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 的年凋落物量, 两地的主要区别在于平均气温, 鼎湖山为 20.9°C , 而袁牢山为 11.3°C 。因而, 地表凋落物的累积决定于气候特征, 同时决定于凋落物自身特性。高温多湿地区, 地面凋落物积累少, 而针叶类森林通常会有更多的积累。

References:

- [1] Ren H, Huang P, Zhang Q M and Hou C M. Forest resource and its ecosystem service of Guangdong province. Beijing: Environmental Science Press of China, 2002. 62 ~ 68.
- [2] Lin S M, Li Z H, Ye W X. On construction of ecological forestry in Guangdong Province. Guangdong Reconnaissance and Design of Forestry, 2004, 1: 10 ~ 15.
- [3] Waring R H, Schlesinger W H. Forest Ecosystems: Concepts and Management. New York: Academic Press, 1985. 115 ~ 160.
- [4] Jordan C F. The nutrient balance of an Amazonia rain forest. Ecology, 1982, 61: 14 ~ 18.
- [5] Klinge H and Herrera R. phytomass structure of the Amazon Caatinga ecosystem in Southern Venezuela. 1. Tall Amazon Caatinga. Vegetatio, 1983, 53: 65 ~ 84.
- [6] Janzen H H. Carbon cycling in earth systems—a soil science perspective. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2004, 104: 399 ~ 417.
- [7] Quideau S A, Chadwick O A, Benesi A, Graham R C and Anderson M A. A direct link between forest vegetation type and soil organic matter composition. Geoderma, 2001, 104: 41 ~ 60.
- [8] Arunachalam A, Arunachalam K M, Pandey H N, Tripathi R S. Fine litterfall and nutrient dynamics during forest regrowth in the humid subtropics of north-eastern India. Forest. Ecol. Manag, 1998, 110: 209 ~ 219.
- [9] Nanjing Institute of Soil. Chemical and Physical Analysis of Soil. Beijing: Science Press, 1978. 73 ~ 141.
- [10] Wu Z M, Lu Z P and Du Z G. Litter production and storage in the natural and regenerated tropical montane rain forests at Jianfengling, Hainan island. Acta Phytoecologica Sinica, 1994, 18(4): 306 ~ 313.
- [11] Weng H, Li Z A, Tu M Z and Yao W H. The production and nutrient contents of litter in forests of Dinghushan Mountain. Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica, 1993, 17: 299 ~ 304.
- [12] Smith K, Gholz H L, Oliveira F D A. Litterfall and nitrogen-use efficiency of plantations and primary forest in the eastern Brazilian Amazon. Forest Ecology and Management, 1998, 109: 209 ~ 220.
- [13] Gosz J R, Likens G E, and Bormann G H. Nutrient content of litter fall on the Hubbard Brook experimental forest, New Hampshire. 1972, Ecology, 53 (5): 699 ~ 784.
- [14] Li Z Z, Weng H and Yu Z Y. On the litterfall of two types of man-made highly productive forest in South China, Tropical and Subtropical Forest Ecosystem, 1990, 7: 69 ~ 77.
- [15] Liu W Y, Fox J E D and Xu Z F. Litterfall and nutrient dynamics in a montane moist evergreen broad-leaved forest in Ailao mountains. SW China. 2002, Plant Ecology, 164: 157 ~ 170.
- [16] Li Z A, Lin Y B and Peng S L. Nutrient content in litterfall and its translocation in plantation forests South China, 2000. Chinese Journal of Applied Ecology, 11(3): 321 ~ 326.
- [17] Jorgensen J R, Wells C G & Metz L J. The nutrient cycle—Key to continuous forest production. Journal of Forestry, 1975, 73: 400 ~ 403.
- [18] Meentemeyer V, Box E O & Thompson R. World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. Bioscience, 1982, 32(2): 125 ~ 128.
- [19] Liu C J, Westman C J, Berg B, Kutsch W, Wang G Z, Man R Z and Ilvesniemi H. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. Global Ecology and Biogeography, 2004, 13: 105 ~ 114.
- [20] Attiwill P M. The loss of elements from decomposing litter. Ecology, 1968, 49(1): 143 ~ 145.
- [21] Xu X N, Hirata E. Forest floor mass and litterfall in Pinus luchuensis plantations with and without broad-leaved trees. Forest Ecology and Management, 2001, 157: 165 ~ 173.
- [22] Zhang D Q, Yu Q F, Kong G H and Zhang Y C. Chemical properties of forest floor litter in Dinghushan monsoon evergreen broad-leaved forest, Acta Ecologica Sinica, 1998, 18(1): 96 ~ 100.
- [23] Kavadias V A, Alifragis D, Tsiontsis A, Brofas G and Stamatelos G. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. Forest Ecology and Management, 2001, 144: 113 ~ 127.

参考文献:

- [1] 任海, 黄平, 张倩娟, 侯长谋. 广东森林资源及其生态系统服务功能. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 62 ~ 68.
- [2] 林寿明, 李志洪, 叶渭贤. 广东生态林业建设之思考. 广东林勘设计, 2004, 1: 10 ~ 15.
- [9] 南京土壤研究所. 土壤理化分析. 北京: 科学出版社, 1978. 73 ~ 141.
- [10] 吴仲民, 卢俊培, 杜志鹤. 海南岛尖峰岭热带山地雨林及其更新群落的凋落物量与贮量. 植物生态学报, 1994, 18(4): 306 ~ 313.
- [11] 翁轰, 李志安, 屠梦照, 姚文华. 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.
- [14] 李志安, 翁轰, 余作岳. 华南二种人工丰产林凋落物之研究. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990, 7: 69 ~ 77.
- [16] 李志安, 林永标, 彭少麟. 华南五种人工林凋落物养分及其转移. 应用生态学报, 2000, 11(3): 321 ~ 326.
- [22] 张德强, 余清发, 孔国辉, 张佑倡. 鼎湖山季风常绿阔叶林凋落物层化学性质的研究. 生态学报, 1998, 18(1): 96 ~ 100.