

森林凋落物分解研究^①

廖崇惠 林少明 李耀泉 陈锦华

(广东省昆虫研究所, 广州 510260)

摘要 研究对象是南亚热带自然林和人工林, 地点在广东省鼎湖山自然保护区和鹤山市林科所试验区。在固定的、开放的围栏内测定地面凋落物原始现存量及周年后残留量, 同时用一般方法测量凋落量。所有量的测定均包括重量和热量, 并用分解量与凋落量比较, 计算出分解率, 以解释森林凋落物分解和贮存的平衡状况; 鼎湖山 1990~1993 年正处于动态平衡的“超支期”; 鹤山的人工林则处于“积存期”。研究结果表明, 用热量的变化来表达自然的分解状况比用重量更为准确。

关键词 森林, 凋落物, 分解, 现存量, 热量。

森林凋落物的贮存与分解是森林能量流动和养分循环的一个重要环节。至今为止对凋落物的研究, 主要集中于凋落量变化及其影响因子、凋落物营养元素的动态及与土壤肥力的关系、分解速率及其调控措施等^[1]。出于不同研究目的, 分解试验方法大体可分成三类: 1) 为测量营养元素损失和微生物作用等主要是化学过程的, 一般都用尼龙布袋包装试验材料, 或将材料直接放于土壤表面, 并盖以金属网罩, 然后定期随机抽样测试^[2,3]。这些分解研究多用分解速率 (decomposition rate) 来描述。2) 为测量某些土壤动物摄食作用 (主要是物理过程的), 用叶面积损失法或用不同型号网眼的金属网袋法^[4,5] 研究。3) 为了测量凋落物在自然状态下的分解 (包括微生物、土壤动物等化学的, 物理的综合过程), 则采用调查地面凋落物现存量变化和在变化期间的凋落量来研究总的分解^[6,7,8]。这些研究多用分解系数 K (coefficient of decomposition)^[6] 来描述。一般地, 凋落物的现存量、分解量和凋落量都用重量来衡量。但是分解是一个放能过程^[9], 除产生重量的消失之外, 还产生热量的消失。这两种消失量并不一定相等, 因为每种物质的热值是不相同的, 即使同一物质在不同外界条件作用下也不同。用热量来研究分解似乎更有意义, 但这种研究不多见。

本研究试验样地设在鼎湖山季风常绿阔叶林和鹤山的人工林内。已发表与此有关的研究有屠梦照 (1984, 1993) 和李志安 (1990) 关于凋落物量和分解速率^[2,3,10] 等论文。这些研究都是采用上述第一类方法来研究的。它们从理论上比较不同凋落物在严格控制条件下的分解速率, 但是与其它同样的研究一样, 不能回答在自然条件下凋落物的分解、周转与平衡状况。这些恰恰是研究生态系统能量转换与物质循环要了解的重要数据。至于凋落物现存量的动态, 在已发表鼎湖山凋落物研究中更未涉及。

本文研究自然状态下的分解状况, 并以通过凋落物的重量和热量变化探讨自然林和人工林凋落物现存量的动态。关于凋落物分解过程中的土壤动物和土壤微生物的分解作用已经另文发表^[5,11]。

^① 国家自然科学基金资助项目 (3880149)。

1 研究样地

研究样地设在广东省的鼎湖山自然保护区和鹤山市林科所的人工试验林内。鼎湖山位于北纬 $23^{\circ}10'$ ，东经 $112^{\circ}32'$ 。样地设在海拔约 150m 的季风常绿阔叶林内，该种森林植被类型是中国南亚热带所特有的。所在林内的植物群落为锥栗 (*Castanopsis chinensis*)、荷木 (*Schima superba*)、厚壳桂 (*Cryptocarya chinensis*)。这是鼎湖山自然林中的典型群落，也是自然林中保护较好的群落^[12]。鹤山林科所人工林位于北纬 $22^{\circ}40'07''$ ，东经 $112^{\circ}53'15''$ 。该地区在历史上原为森林地带，亦属季风常绿阔叶林^[13]。因为人为活动，原植被早已消失。试验样地是人工培植近 7~8 年的人工试验林：已开始进入生长缓滞期的马占相思 (*Acacia mangium*) 林和才开始进入快速生长期的荷木林。开始试验时，马占相思树高已达 10m 以上，地面枯枝落叶厚，几乎无其它草本植物。荷木林则只有 2m 上下，地面未成荫，禾本科等低矮植物覆盖地面。到试验结束时，马占相思林内，生境无大的变化，荷木林则已高达 4~5m，林内郁闭，灌木、芒箕 (*Dicranopteris linearis var. dichotoma*) 及藤蔓铺满林下。这里的气候与鼎湖山一样温暖、多雨，只有短暂的轻霜日，年平均气温为 21.7°C ，年降雨量 1801mm^[13]。

2 研究方法

2.1 凋落量的测定

在样地内布置 5 个由塑料窗纱制成 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 的收集袋。在鼎湖山，成线形布放，袋间距 5~10m；在鹤山则在面积约 200m^2 范围内随机布放。每月收集袋中凋落物， 40°C 烘干、称重及测量热值。

2.2 年分解量测定

基本采用 Wiegert 等 (1964, 1975) 方法^[7,8]，直接测量林地上固定样方的凋落物损失量。具体操作如下：在收集袋旁的地面上各设一个 $1\times 1\text{m}^2$ 的围栏，这是用 $1\times 1\text{cm}^2$ 网眼的铁丝网围成的，栏高 15cm。从 1 月份开始，将栏内凋落物收集称重，这部分概称为“未分解部分”，然后将地面上难于手捡的半分解的凋落物碎片用小镊子抽样收集，每个围栏抽样 5 个，每个面积为 0.02m^2 。将抽取的样品留作烘干、称重及热值测量用。最后，将未分解部分放回原处，这部分的干重是通过在样方附近取样，烘干称重后来估计的。没有直接烘干称重，首先是为了尽可能保持凋落物原始状态，因为烘过后可能会加速分解，譬如烘过的木段容易被白蚁分解^[14]；其次是同时烘干十几公斤的凋落物是困难的。这些半分解的和未分解的凋落物无需严格区分，因为最后这两部分的估计重量(干)要加在一起作为地面凋落物的现存量的。一年试验结束后，再作同样的处理。其中荷木林由于有地被植物，在试验方法上有些不同：除用 $1\times 1\text{m}^2$ 凋落物收集袋之外，在每试验样方旁，贴近地面处设两个共 0.1m^2 面积的小收集兜(用窗纱制成)。每月收集枯死的草本植物，把跨搭在小收集兜上的枯草剪下，当作凋落物。在试验围栏内用铁丝拉两条对角线，把样方分为四格，将任相对两格(作 a 组)内的草剪下并和枯枝落叶一起收集、烘干、称重，作为对留下的 b 组原始凋落量的估计。因为一年生草本植物，在年内总会凋落并参加分解。半分解部分和其它样地一样地收集，并参加原始量的估计。一年后，将 b 组作同样收集、处理，作为对样方残留量的估计。

年自然分解率(R)的计算是以分解量(D)相对于原始凋落物量+凋落量为基础的。其公式为：

$$D = W_{t1} + F_{t1,2} - W_{t2}$$

$$R = D / (W_{t1} + F_{t1,2})$$

平衡分解率(C)的计算是以分解量相对于凋落量为基础的,其公式为:

$$C = D / F_{t1,2}$$

其中 W_{t1} 、 W_{t2} 分别为地面凋落物在开始和结束时的重量; $F_{t1,2}$ 为试验开始到结束时凋落物的总重量。

2.3 热值的测定

将收集到的凋落物分别打碎取样,再用粉碎机打成粉末,取重 1g 左右压成饼状,供氧弹式热量计测量。如无大的差异,每个样品只测两次,取平均数。热值单位用焦耳/克(J/g)。

野外试验自 1989 年 1 月开始,到 1993 年 1 月止。其中 1990 和 1992 两年,因为三个林都在同一块地上重复试验,所得资料具有可比较性,故作为下面的结果及讨论的主要依据。

3 结果与讨论

3.1 自然分解强度

这里研究的是自然的分解,指地面上原有的和不断落下的凋落物在一定时间内的重量的消失,而不是通常研究特定时间落下的凋落物,在人为控制下(如在尼龙袋中或网罩下)重量的衰减。因此所谓分解量和分解率都是指自然状态下的,与一般研究者所指的“分解速率”有所区别。

分解量 包括单位面积重量($g \cdot m^{-2}$)和热量($J \cdot m^{-2}$)的损失。表 1 结果表明:①自然林的分解量最大,其次是马占相思林,最小为荷木林;②年份的差异上,鼎湖山自然林 1992 年的分解量小于 1990 年,而两个人工林则相反。分解量的大小与现存量有直接关系,系统中参与分解的物质越多,分解损失的总量自然越大,每个样地上无例外地原始量较大的试验年份,其分解量也较大。

表 1 各样地地面凋落物的分解

Table 1 Decomposition of litter on the ground in the sampling Plots

	鼎湖山季风常绿阔叶林				鹤山马占相思林				鹤山荷木林			
	1990		1992		1990		1992		1990		1992	
	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H
原始量 W_{t1}	728.30	13.55	497.50	9.40	908.60	18.26	1067.1	20.09	593.6	10.13	763.40	13.58
凋落量 $F_{t1,2}$	753.70	14.99	729.50	14.61	720.90	15.41	769.50	16.65	398.6	7.70	537.00	9.70
残留量 W_{t2}	550.30	10.01	478.00	9.23	1459.5	23.40	1182.6	22.88	681.0	11.33	729.30	14.19
分解量 D	931.70	18.51	749.00	14.78	170.00	10.27	654.00	13.86	311.2	6.50	571.10	9.09
年自然分解率 R (%)	62.87	64.90	61.04	61.60	10.43	30.50	35.61	37.72	31.36	36.46	43.91	39.05
积存率 A (%)	-24.40	-26.10	-3.92	-1.81	60.60	28.15	10.82	13.89	14.70	11.85	-4.50	4.49
分解系数 C	1.24	1.24	1.03	1.01	0.24	0.67	0.85	0.83	0.78	0.84	1.06	0.94
分解系数 K	1.46	1.57	1.54	1.59	0.14	0.49	0.58	0.65	0.49	0.61	0.77	0.65

注: W ——重量($g \cdot m^{-2}$); W_{t1} ——当年 1 月份的重量; W_{t2} ——下一年 1 月份的重量;

H ——热量($\times 10^6 J \cdot m^{-2}$); $D = W_{t1} + F_{t1,2} - W_{t2}$; $R = D / (W_{t1} + F_{t1,2})$; $C = D / F_{t1,2}$ (C 又称为平衡分解率);

$A = (W_{t2} - W_{t1}) / W_{t1}$; $K = D / [(W_{t1} + W_{t2}) \cdot 0.5]$ (K 又称为周转分解率)。

分解率 是表达分解速度的一种相对指标。分解率有不同的计算方法。以(原始凋落物量 - 残留量) \times 原始凋落物量 $^{-1}$ 来计算的,即为一般的分解速率(decomposition rate)。它只表达一定条件下的分解。另一种计算是要表达自然状态下的,其公式为(原始凋落物量 + 凋落量 -

残留量) $\times [0.5 \times (\text{原始凋落物量} + \text{残留量})]^{-1}$, 即为 Jeny et al. (1949)、Ney (1961) 和 Olson (1963) 所提出的分解系数 $K^{[6]}$ 。这实际就是凋落物库 (pools) 的周转率 (turnover rates), 也就是由于分解而引起的凋落物周转速度。所以我们称它为“周转分解率”。本文则用自然分解量相对于凋落量的分解系数 C , 以表达凋落物库的“收支”关系。故又称这种分解率为“平衡分解率”。表 2 的结果显示出以下值得讨论的问题:

表 2 地面凋落物总热值的年变化 ($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)

Table 2 Annual change of heat value of litter on the ground ($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)

试验期	测定年月	鼎湖山季风常绿阔叶林	鹤山马占相思林	鹤山荷木林
1990	1990.1	18.6	20.1	16.5
	1991.1	18.2	16.0	16.8
1992	1992.1	18.9	18.5	17.2
	1993.1	19.3	19.1	19.1

3.1.1 “平衡分解率”即分解系数 C , 可以直接地表示出分解损失和凋落所增加的量之间的平衡关系, 表明凋落物贮存的动态。这种表达对于了解热带、亚热带森林生态系统的能量与物质循环动态是十分重要的。表 1 中显示, 鼎湖山自然林的分解系数 C 在 1 以上者, 即分解量大于凋落量, 出现负值的积存率。两人工林的分解系数 C 则在 1 以下, 即分解量小于凋落量, 地面凋落物有积存。马占相思林分解率低于荷木林, 凋落物积累较快。用“周转分解率”即分解系数 K , 则不反映这种情况, 但能表明地面凋落物的分解周转强度, 有利于对不同地区、不同类型森林的生物循环强度的表达。

3.1.2 重量的损失和热能的损失不一致, 甚至会有较大的差距。如马占相思林 1990 年二者的差异 (10.43% 和 30.56%)。它表明该年残留重量很大, 重量消失很少。但这些残留物的热值是很低的, 只有 $16.0 \text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 远低于 1991 年 1 月测得的其他二林的热值 (18.2 和 $16.8 \text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) (见表 2)。与其原始凋落物热值 ($20.1 \text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) 比较, 低了 4.0%。这样, 残留的热量并不随着重量一起增加, 因而出现两种计算结果的差异。为什么会出现这种不一致的现象? 从理论上可以解释为土壤动物生物量和微生物生物量二者高峰期 (或周期变化) 不一致所造成。因为微生物主要起化学作用, 使凋落物质变, 从高热值变成低热值的, 因而形体上或重量上变化较小。土壤动物是摄食或啮食的, 直接使凋落物产生形变和重量损失, 而不会使残留物质降低热值。也就是说, 当土壤动物作用大于微生物作用时, 重量的消失会大一些; 相反, 重量消失就会小些。事实上该年马占相思林样地上的土壤动物生物量明显地小于 1992 年, 特别是枯食性土壤动物的生物量只有 1992 年的 50% 左右。而其他林并非如此。

3.1.3 基于以上原因, 可以认为研究包括土壤动物和土壤微生物共同作用的自然分解, 用热量损失来表达, 比一般用重量表达要科学些。

3.2 现存量的收支动态

表 3 是根据分解试验中的原始量和残留量列出的。这些量都是在每年的 1 月份测定的。它们实际上都代表试验样地凋落物连续出现的现存量。人工林 4 年的连续变化是呈增长趋势的。马占相思林 1991 年和 1992 年的数据缺少连续性, 是因为 1991 没有安排试验, 原样方位置的凋落物易受到人们的践踏干扰。2 个人工林从 1990 到 1993 年间凋落物现存量基本稳定或上升。鼎湖山自然林 II 号样地的凋落物现存量则从 1990 年的 $728.3 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 逐年下降, 到 1993 年只有 $478 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。这种趋势从样地 III 两年的资料来看, 也是如此。但下降的速度越来越慢, 积

存率与凋落物贮存量的消耗越来越少;1990年一年内重量减少近1/4,到1992年只减少约4%,用热量计算,只减少1.8%。也就是说,鼎湖山自然林生态系统从凋落量<分解量的“超支”状况逐渐走向收支平衡。估计还会发展到有“盈余”的情况。因为从I号样地1987年6月到1988年6月的另一分解试验中,确曾有过地面凋落物积存量是增加的情况。把这些情况联系起来,说明鼎湖山自然林地面凋落物的贮存量不是稳定不变的,也不是象温带林那样缓慢地增加的。很可能存在着一个由“亏损”到“盈余”的周而复始的变化周期,也就是说其“稳定”或“平衡”也是动态的、相对的。

表3 各样地凋落物现存量($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)资料
Table 3 The standing crop($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) of forest litter

测定日期	鼎湖山自然林						鹤山人工林	
	现存量			积存率*			马占相思林	荷木林
	I	II	III	I	II	III	现存量	现存量
1987.6**	530.0							
1988.6**	965.8			82.2				
1990.1		728.3(13.5)					908.6(18.3)	593.6(10.13)
1991.1		550.3(10.0)	969.8		-24.4		1459.5(23.4)	681.0(11.33)
1992.1		497.5(9.4)	778.0		-9.6	-19.8	1067.5(20.1)**	763.4(13.58)
1993.1		478.0(9.2)			-3.9		1182.6(22.9)	729.3(14.19)

注: I, II, III: 三个不同的样地; () 内为热量($\times 10^6 \text{J} \cdot \text{m}^{-2}$); * 积存率=(当年现存量 - 上年现存量)/上年现存量 $\times 100$; ** 据廖崇惠(1990)原研究资料重新整理; *** 过去的一年内无安排试验, 受人的践踏干扰。

4 小结

4.1 鼎湖山季风常绿阔叶林是一个成熟的稳定的生态系统,其凋落物的分解量和凋落量之间存在着动态的平衡,1990~1993年是由“超支”过渡到收支平衡。鹤山的人工林仍在幼龄期,凋落量和分解量都在上升,收大于支,地面凋落物积累在增加。

4.2 用热量损失来表达自然的分解比用重量损失来表达更科学一些。

4.3 用凋落物现存量相对于分解损失量来计算的分解率——周转分解率,可表达由于分解造成的地面凋落物的周转速度。用凋落量相对于分解损失量来计算分解率——平衡分解率,可表达地面凋落物的“收支”状态。

参 考 文 献

- 1 王凤友. 森林凋落物研究综述. 生态学进展, 1989, 6(2): 82~89
- 2 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
- 3 屠梦照, 姚文华, 翁轰等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物的特征. 土壤学报, 1993, 30(1): 34~42
- 4 廖崇惠, 陈茂乾. 小良人工阔叶混交林中落叶消耗的过程与土壤动物的影响. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990, (6): 125~133
- 5 廖崇惠, 林少明, 李耀泉. 鼎湖山森林土壤动物研究 III. 某些类群的数量与枯枝落叶消耗的关系. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990, (6): 47~54
- 6 Golley, F. Tropical forest ecosystems. A state-of-knowledge report. 13. Decomposition and biogeochemical cycles. Unesco/UNEP/FAO. 1979
- 7 Wiegert, R. G. and F. C. Evans. Primary production and disappearance of dead vegetation on an old field

- in southeastern Michigan. *Ecology*, 1964, 45: 39~63
- 8 Wiegert, R. G. and J. T. McGinnis. Annual production and disappearance of detritus on three South Carolina old fields. *Ecology*, 1975, 56: 129~140
- 9 孙儒泳, 李博, 诸葛阳, 尚玉昌等. 普通生态学. 高等教育出版社. 1993, 237~256
- 10 屠梦照. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物量. 热带亚热带森林生态系统研究, 1984, (2): 18~23
- 11 蚁伟民, 傅声雷, 周存宇等. 鹤山人工林和鼎湖山自然林土壤微生物量的研究. 生态学报, 1995, 15(增A): 141~147
- 12 王铸豪, 何道泉, 宋绍敦, 陈树培, 陈定如, 屠梦照. 鼎湖山自然保护区的植被. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, (1): 77~137
- 13 余作岳. 广东南亚热带丘陵荒坡退化生态系统的植被恢复及优化模式探讨. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990, (7): 1~8
- 14 朱检林, 马兴国, 肖维良. 鼎湖山白蚁对几种主要木材转化试验. 热带亚热带森林生态系统研究, 1985, (3): 81~93

A Study on the Decomposition of Forest Litter

Liao Chonghui Lin Shaoming Li Yaoquan Chen Jinhua

(Guangdong Institute of Entomology, Guangzhou 510260)

ABSTRACT The research results on the quantities, decomposition rate and the standing crop of forest litter fall in a natural forest of lower south subtropical zone in Dinghushan and an artificial forest in Heshan, both located in Guangdong Province, were reported. The primitive quantity and the remaining quantity after one year were determined by using fixed open-fence, and litter fall quantities were monthly determined by using $1 \times 1 \text{ m}^2$ net bags. Both dry weight and quantity of heat were collected in the above-mentioned determinations. In order to explain steady state between decomposition and storage of litter fall, a "balance decomposition rate" was calculated by comparing decomposition quantities with litter fall quantities. The results showed that the natural forest in Dinghushan was still in an "over spended" state from 1990 to 1993, but approaching abalance stage. The artificial forest in Heshan was in "accumulative" state. It is more accurate to express decomposition rate of litter in natural condition using the change of heat quantity than dry weight.

Keywords Forest, Litter fall, Decomposition, Standing crop, Heat quantity.