

海南岛尖峰岭热带林凋落叶 分解过程的研究*

卢俊培 刘其汉

(中国林业科学研究院热带林业研究所)

摘要 本研究采用尼龙网袋和网罩法对尖峰岭热带半落叶季雨林和热带山地雨林凋落叶的分解过程进行对比观测,结果表明,两年凋落叶的分解失重率依次为92.27%、78.01%(网袋法)和99.08%、95.41%(网罩法),凋落叶的分解速度网罩法略快于网袋法。半落叶季雨林凋落叶的分解比山地雨林的快,腐解率 K 值前者为2.172(罩)和1.596(袋),后者为1.578和0.836,完全分解所需的理论时间约为2a和6a。在凋落叶分解过程中,元素的迁移序列各有异同,其中半落叶季雨林为: $K > Ca > Na > Mg > N > C > P > Al > Fe > Si$,山地雨林为: $K > Ca > Mg > Na > C > N > P > Al > Si > Fe$ 。

关键词 热带林;网袋法;网罩法;凋落叶分解失重;元素迁移

森林凋落物的分解,是森林生态系统物质循环及林地土壤养分输入的重要过程和途径。研究其自然状态下分解过程的特点和效果,对热带林生态系统的结构、功能、经营管理以及对人工林的营造和管理都具有重要的学术意义和应用参考价值。为此,本研究选择了两类热带天然林,应用网袋和网罩法,观测凋落叶的分解及其成分变化。现总结如后。

一、研究方法

本项研究的观测场地,一为褐色砖红壤上的半落叶季雨林,海拔200 m;另一为砖红壤性黄壤上的山地雨林,海拔850 m。样地概况已有介绍^[1],本文从略。观测研究方法如下。

(一) 试样收集

1984年2—3月,在热林站后山的半落叶季雨林及尖峰岭五分区的山地雨林内分别多点收集新凋落的叶片2—3 kg,风干后取平均样装入事先称重的尼龙网袋(或纸袋)中,在1/100大天平上称重,每袋样重约30—40 g(网罩法约50—60 g),同时另取样测含水率和基准分析样。

试验用尼龙网袋、罩是用孔径约1—2 mm的尼龙纱缝制的,其规格分别为35×25 cm和40×30×25 cm,罩用铁线作框架。

本文于1988年6月22日收到。

• 本项工作为原中国科学院科学基金会资助项目内容之一。林月娟、刘京、吴仲民参加部分观测或计算,化学分析由本所分析室完成,一并致谢。

(二) 试验设置与回收

根据不同坡向、坡位和林分密度,随机设4次重复。清除地表枯枝落叶,使试样直接与土壤接触。袋用钉固定,罩脚插入土中。

每次重复各放8份试样,供2a观测。每年2、5、8、11月各回收一份,洗净,烘至恒重(70℃)。将4次重复的回收样分别混合,粉碎过1mm筛,备作化学分析。另设一除去A₀层、不放试样的取土对照点。

在每次回收残留试样时,钻取表土10cm作化学分析,以探寻凋落物分解与土壤养分输入的关系。

(三) 分析项目及方法

灰分: 550℃干灰化,重量法

N: 双氧水—硫酸消化,蒸馏法

C: 重铬酸钾—硫酸氧化湿烧法

P: 同氮待测液,1,2,4-氨基萘酚磺酸比色法

Si: 硝酸—硫酸—高氯酸湿灰化(下同),重量法

Al: 湿灰化脱硅滤液,铝试剂显色比色法

Fe: 湿灰化脱硅滤液,邻啡罗啉比色法

Ca, Mg: 湿灰化脱硅滤液,EDTA容量法

K, Na: 湿灰化脱硅滤液,火焰光度法

二、结果与分析

(一) 方法比较

在凋落物分解速率的野外研究中,所用网孔规格不一,形成的小环境(主要是温度和湿度)有异,网孔愈小,差异愈大,且妨碍小动物的破碎活动^[6]。为使研究手段尽量反映野外条件,以获得接近自然状态的结果,我们同时采用网袋和网罩法。结果表明,凋落叶分解失重的速度,任何时段都是网罩法快于网袋法,经t检验,在分解中期达显著或极显著水平,其余时期差异不显著(表1)。如果按不同植被类型分别统计t值,则山地雨林内两种方法所测失重率的差异,多数时段可达显著和极显著水平,半落叶季雨林仅偶有显著差异。这就说明网袋的隔离作用及其形成的小环境限制了土壤动物、微生物的活动,从而使凋落物的分解速度减缓。同时也可见,不容易分解的山地雨林凋落物及其所处温度较低的环境,这种方法上的差异更大,方法选择的意义就更重要。

凋落物的分解失重与分解期的关系,大致呈非线性正相关。随方法不同,其回归值和相关的程度也不同,方法之间的最大差异约10%,主要出现在放样后第10—15个月(图1a),表1所列平均值增值的变化趋势也反映了这一点。

(二) 不同植被类型的凋落叶分解

供试场地分属于两个不同的生物—气候垂直带,立地条件及凋落叶的组成都相差甚大,凋落物的分解速度自然迥异。如不考虑网袋法与网罩法之间的差异,对两种植被类型凋落叶的分解速度,可做如下粗略评估:分解时期与失重率的变化符合下列图式(图1b),失重率

表 1 不同方法的失重率(%)及 t 检验

放置期 (月)		3	6	9	12	15	18	21	24
网袋法	\bar{x}	25.81	50.49	62.98	63.61	77.64	85.93	86.19	87.17
	S	17.43	18.64	20.05	15.12	18.11	12.15	10.72	11.32
	C.V	67.55	36.93	31.84	23.76	23.32	14.13	12.43	12.99
	增 值	0	24.68	12.49	0.63	14.03	8.29	0.26	0.98
	n	7	8	7	6	8	8	8	6
网罩法	\bar{x}	30.99	64.95	74.19	84.45	86.36	91.03	94.82	96.63
	S	12.83	17.95	14.51	10.03	6.42	6.87	3.71	2.47
	C.V	41.40	27.64	19.55	11.87	7.45	7.55	3.91	2.55
	增 值	0	33.96	9.24	10.26	1.91	4.66	3.79	1.81
	n	7	8	8	8	6	7	6	6
t 检验	t	1.126	20.957**	2.023	4.091**	0.746	0.966	1.231	1.069
	df	12	14	13	12	12	13	12	10
		$t_{0.05} = 2.228 - 2.145$			$t_{0.01} = 3.169 - 2.977$				

•• 极显著, $t > t_{0.01}$ 。

随分解时间延长而递增, 其速度减缓, 半落叶季雨林明显快于山地雨林, 尤以第一年的差异为大, 经 t 检验, 可达极显著水平。半落叶季雨林凋落叶经分解一年, 失重85%, 两年失重95%, 山地雨林为65%和87%, 完全分解所需要的时间后者比前者长。植被类型之间分解速度的差异远比方法之间的差异大。按 $x/x_0 = e^{-kt}$ 模式 (Olson, 1963), 并经回归分析结果, 不同植被类型的凋落物以及不同的处理方法, 其腐解率和全部分解所需的时间, 差异极显著(表 2)。半落叶季雨林的腐解率大于山地雨林, 网罩法的腐解率大于网袋法。理论分解期, 半落叶季雨林只需 2—3 a, 山地雨林则需 3—6 a, K 值在 1—2.2 之间。这与 Olson (1963) 和 Jordan (1985) 对一些热带地区的估计接近, 遵循温度和水分的全局性格局, 具有高的分解速率^[8,9]。在本项研究中, 这种规律同样反映在“K”值的垂直带差异上。

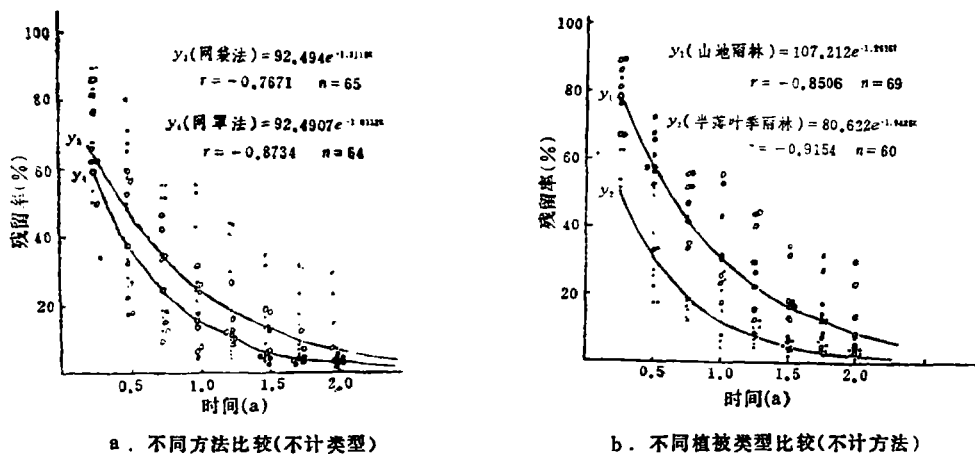


图 1 凋落叶分解过程曲线

表2 残留量回归分析

试验处理		方程	K	r	t ^①
半落叶季雨林	网袋法	$y = 0.7634e^{-1.5781x}$	1.5781	-0.9401**	2.747
	网罩法	$y = 0.7714e^{-2.1723x}$	2.1723	-0.9761**	2.000
山地雨林	网袋法	$y = 1.0071e^{-0.8355x}$	0.8355	-0.9795**	5.520
	网罩法	$y = 1.0540e^{-1.5966x}$	1.5966	-0.9961**	2.917

① 为理论分解期(a), 此时残留量约1%。F > F_{0.01}(12.25)。

如以日失重率计, 则更可反映前述差异。这些差异除与凋落叶的种类及质地组成不同有关外, 还与所处环境条件如气温、空气湿度、土壤微生物及土壤湿润状况等有关(表3)。从所列数据可粗略地反映环境因子与失重率间一致的相互关系。一定的湿度, 较高的温度和较多的真菌, 都有利于纤维素的分解; 低温和过湿则不利于凋落物分解, 失重率相应较低。半落叶季雨林多豆目植物和纸质叶, 与前者相符, 山地雨林多革质叶, 与后者一致。

表3 凋落叶日失重率及环境条件

项 目			观 测 时 间								年平均
			1984年			1985年				1986年	
			5月	8月	11月	2月	5月	8月	11月	2月	
半落叶	日失重 (%)	网袋法	0.439	0.372	0.312	0.211	0.207	0.175	0.149	0.129	0.249
		网罩法	0.603	0.495	0.344	0.268	0.205	0.184	0.158	0.139	0.290
季雨林	环境条件	气温(℃)	26.3	26.9	26.2	24.9	27.7	25.5	25.4	24.7	24.7
		湿度(%)	75	78	80	81	81	81	82	81	82
		微生物	35.95	1.01	0.56						
山地	日失重 (%)	网袋法	0.188	0.196	0.176	0.134	0.137	0.143	0.123	0.108	0.151
		网罩法	0.318	0.314	0.246	0.224	0.197	0.167	0.153	0.136	0.219
雨林	环境条件	气温(℃)	20.8	21.7	20.9	19.7	19.8	20.2	20.2	19.4	19.5
		湿度(%)	85	87	88	89	89	89	89	89	89
		微生物	21.15	0.38	0.05						

注: 温湿度系根据本所及天池气象站资料整理的各时段月平均值, 微生物指表土微生物总数中真菌和放线菌的百分率, 根据康丽华、利群1983年5、9、12月观测资料整理。

(三) 凋落叶分解过程中的元素归还

森林凋落物的分解、迁移是生态环境与森林植物共同影响下的复杂的生物地球化学过程, 化学元素的迁移特征, 体现了物质循环的特点和植物再利用效率。不同的元素、不同的植被类型以及不同的时段, 这种过程是不同的。

1. 不同元素的迁移分类 应用聚类分析方法对凋落叶分解过程中元素的残留量进行分类如图2, 在距离系数0.38以下, 可分为2—3组, 两植被类型略异, 如将半落叶季雨林的分类指标缩小到0.24, 则两类植被类型的元素迁移性质更相似。Si、Al为一组, N、P、Na为另一组, K、Ca为一组或各为一组, 这反映了各种元素在植物叶组织中不同的存在形态和

性质。从距离阵(表 4)中亦可见迁移过程中元素之间的相互关系是多样的, Si、Al 的迁移与其它元素的关系最疏远, 两植被类型中 N、P、K、Ca 之间的变化较大, 其余元素之间的距离趋势很相近。

表 4 元素迁移残留率距离阵

类 型	元 素	N	P	K	Na	Ca	Si	Al
半落叶季雨林	N	0						
	P	0.0875	0					
	K	0.2725	0.2731	0				
	Na	0.1568	0.1459	0.3752	0			
	Ca	0.2227	0.2458	0.4597	0.1996	0		
	Si	0.5532	0.5481	0.8034	0.4803	0.4519	0	
	Al	0.4865	0.4862	0.7465	0.4065	0.3180	0.2361	0
山 地 雨 林	N	0						
	P	0.3389	0					
	K	0.3711	0.5208	0				
	Na	0.2223	0.2099	0.3815	0			
	Ca	0.3686	0.4095	0.3712	0.2409	0		
	Si	0.5332	0.5186	0.8746	0.5499	0.6720	0	
	Al	0.4348	0.4780	0.7822	0.4910	0.6381	0.2548	0

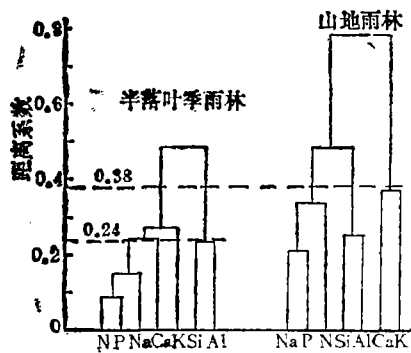


图 2 凋落叶分解元素迁移聚类

2. 不同元素的迁移特征 凋落叶的元素组成及其含量, 因植物种类而异, 从而影响其分解速度及元素的迁移与释放速度。本试验所观察到的分解结果, 对比其起始含量(表 5)可见, 凋落叶中 C 素含量及 C/N 率愈低, 分解失重及元素释放、迁移率就愈高。矿质元素含量丰富, 并不意味着需要更长的分解过程, 恰恰相反, 矿质元素含量高和 C/N 率较低的, 更有利于微生物的营养并加速有机质的矿化、迁移, 所以半落叶季雨林凋落叶各种元素的迁移率都比山地雨林高。

在聚类分析基础上, 对各组元素所作的回归分析结果说明, 在凋落物分解过程中, 元素的残留量与分解期均呈极显著对数指数负相关(图 3), 各组曲线的回归系数都是半落叶季雨林大于山地雨林, 亦即前者的元素迁移率大, 后者的迁移率小。

表 5 凋落叶的化学组成

(单位: %)

类 型	C	灰分	N	P	K	Na	Ca	Mg	Si	Al	Fe	C/N
半落叶季雨林	45.870	9.950	1.103	0.046	0.797	0.018	1.561	0.360	1.849	0.242	0.087	42.210
山 地 雨 林	47.870	6.190	0.950	0.018	0.448	0.016	0.772	0.215	1.606	0.178	0.048	50.390

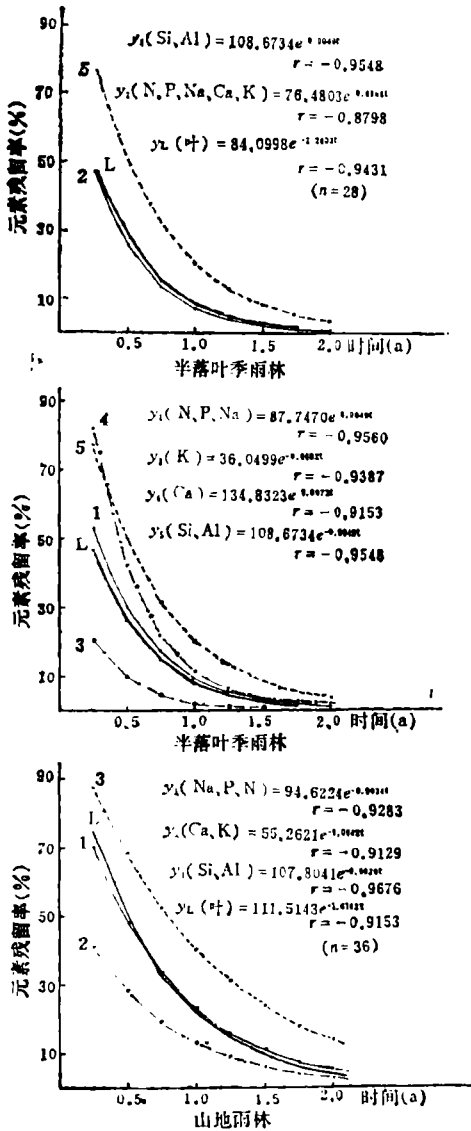


图3 凋落叶分解过程中元素迁移模式

从图3可见，无论那一种植被类型，都是K的残留量最少，Si、Al最高，N、P、Na次之，Ca的迁移略有不同，在山地雨林内，其迁移速度与K相似，在半落叶季雨林内则略缓于N、P、Na。根据最后一次回收样（观测期2a）的分析结果，按元素的残留率计，不同植被类型的迁移组合如下：

半落叶季雨林：K(0.11) > Ca(0.17) > Na(0.37) > Mg(0.49) > N(0.62) > C(0.77) > P(0.84) > Al(1.69) > Fe(2.24) > Si(4.08)。

山地雨林：K(1.67) > Ca(3.51) > Mg(4.14) > Na(5.54) > C(6.03) > N(6.30) > P(9.57) > Al(11.09) > Si(17.25) > Fe(31.42)。

在以上两组迁移序列中，总的趋势仍是K、Ca迁移最快，Al、Si、Fe最慢，P的迁移率也较低，这与沙捞越低地雨林和马来西亚西部龙脑香林凋落叶分解的研究^[6,7]相似，与国内在温带的某些研究略有不同^[2]，都反映了同类元素迁移特征的某些共性和不同地区不同植物的差异性。两组迁移序列的迁移率相差4—20倍，半落叶季雨林明显大于山地雨林，Ca的差异最大，Si最小，K、Na、Fe等的差异也较大。

有趣的是图3中N、P、Na组的迁移过程与凋落叶的失重过程完全一致，两条曲线十分贴近，说明这三种元素主要是通过有机物腐解时矿化释放的，反映了这些元素是叶细胞的主要成分的特点。而K元素在植物叶片中主要以离子形态存在的，因淋洗作用而迁移，可以先于凋落叶腐解而淋失，迁移率最大。Ca在植物体中以离子态、有机、无机盐类以及有机络合物的形态存在，

其释放、迁移速度变化较快，对淋溶作用较有利的山地雨林，Ca与K相似，迁移率大于叶失重率，半落叶季雨林则略小于叶失重率。Si常以硅酸盐和氧化物的形态存在于较难分解的部位(如叶柄、叶脉)，其释放迁移势必小于叶腐解，因而迁移率最小。可见，元素的存在形态不同，其迁移机理和迁移速率各异。

凋落物分解过程中的pH值变化十分明显，与前述腐解和元素迁移过程密切相关，互为因果。半落叶季雨林凋落叶的pH值为5.88，在两年分解过程中，pH值增至5.95±0.38，观测结束时增至6.34，体现了弱淋溶条件下弱酸性的分解过程。山地雨林凋落叶的pH值为4.87，分解期降至4.46±0.22，分解两年后剩余物的pH值为4.08，酸度上升0.8，反映

了较强淋溶条件下的酸性分解与淋洗过程。这两种不同性质的作用,反映了两类不同植物组成及山地气候垂直带的差异,与两类土壤(褐色砖红壤及砖红壤性黄壤)的pH值特性完全一致。

3. 凋落物的分解与土壤培肥 凋落物分解后的元素归还与植物吸收和水分淋洗过程是同步进行的复杂过程,为探索凋落物分解释放的元素与下垫表土之间的关系,及其对土壤养分补充的效果,我们在每次回收试样时,都同时钻取样袋下和对照点(无 A₀层覆盖,加罩) 0—10 cm 表土,分析养分含量。结果表明,分解过程的不同阶段,土壤中的养分含量与凋落叶的养分迁移量之间,以及不同时段土壤养分,都没有一定规律的变化。如以试验始末的养分含量之差(表 6)来反映凋落物分解对土壤的培肥效果,或借以了解归还元素的地球化学途径,则可以粗略判断:半落叶季雨林凋落物的分解产物在表土中淋洗迁移和吸收利用比土体吸附贮存少,试验始末的差值多为正值,只有 K、Mg 相反。山地雨林以淋洗和吸收为主,试验始末的差值多为负值,只有 N 素是贮存多于输出。也就是说前者的生物化学循环强,培肥效率高,后者的地质化学循环强,培肥效率不如前者。这个差异与两类型所处的淋溶条件差异一致。

表 6 表土养分含量差值比较 (单位:%)

类 型	项 目	N	P	K	Ca	Mg
半落叶季雨林	放样后 3 个月(A)	0.012	0.004	7.117	-0.340	-0.124
	放样后两年(B)	0.015	0.054	1.154	0.765	-0.347
	B-A	0.003	0.050	-5.967	1.105	-0.223
山 地 雨 林	放样后 3 个月(A)	-0.010	0.098	0.287	-0.028	-0.028
	放样后两年(B)	0.002	-0.172	-0.117	-0.055	-0.030
	B-A	0.012	-0.270	-0.404	-0.027	-0.002

注:表列数值为网、罩样下表土中的元素含量减去对照点的含量。

三、结 语

根据两年野外试验结果,海南岛尖峰岭热带林凋落叶的分解速度,随植被—气候类型而异,高温半干旱的半落叶季雨林,其凋落叶的腐解率为1.578—2.172,理论分解期(残留 1%为限)为 2—2.8 a,湿润而较低温的山地雨林依次为0.836—1.597和2.9—5.5 a,前者比后者分解周转快 1—2 倍。

凋落叶的分解及元素释放过程,均与对数指数方程相吻合,相关极显著。

凋落叶分解释放的元素迁移序列,半落叶季雨林为: K>Ca>Na>Mg>N>C>P>Al>Fe>Si,山地雨林为: K>Ca>Mg>Na>C>N>P>Al>Si>Fe。聚类及回归分析结果, N、P、Na 的迁移率相近,并与叶腐解同步, K(Ca)先于叶腐解, Si、Al 同组,迟缓于叶腐解。半落叶季雨林凋落叶养分归还效应强于山地雨林。前者的分解过程呈弱酸性,后者呈酸性。

在野外采用尼龙纱罩法,对凋落叶的分解过程进行研究可以得到更接近自然状况的结果,土壤中动物翻动泥土所造成的干扰较少,误差较小,分解速度快于网袋法。

参 考 文 献

- [1] 卢俊培等, 1988, 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, 12(2), 104—112.
- [2] 胡肄慧等, 1987, 几种树木枯叶分解速率的试验研究, 植物生态学与地植物学学报, 11(2), 124—131.
- [3] 潘瑞炽等, 1979, 植物生理学, 人民教育出版社.
- [4] W. 拉夏埃尔著(联邦德国)(李博等译, 1985), 植物生理生态学, 科学出版社, 132—150.
- [5] Edwards, C. A. et al., 1963, The role of soil organisms in breakdown of leaf material, Soil Organisms, 76—84, Amsterdam, NORTH HOLLAND PUBLISHING CO.
- [6] Anderson, M. et al., 1983, Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak, I. Decomposition processes and nutrient losses from leaf litter, The Journal of Ecology, 71(2), 503—527.
- [7] Gong Wooi-Khoon, 1982, Leaf litter fall, Decomposition and nutrient element release in a lowland dipterocarp forest, The Malaysian Forester, 45(3), 367—378.
- [8] Jordam, C. F., 1985, Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems, 10—14, JOHN WILEY & SONS.
- [9] Anderson, J. M. et al., 1983, Decomposition in tropical forests, Tropical Rain Forest: Ecology and Management, 287—306, BLACKWELL SCIENTIFIC PUBLICATIONS.

RESEARCH ON DECOMPOSITION PROCESS OF THE FALLEN LEAVES IN THE TROPICAL FORESTS AT JIANFENGLING, HAINAN ISLAND

Lu Junpei Liu Qihan

(The Research Institute of Tropical Forestry CAF)

Abstract The decomposition process of fallen leaves of the semi-deciduous monsoon forest and the mountain rain forest had been studied with net bags and covers made by nylon threads at Jianfengling, Hainan Island. Through two-year observation, decomposed loss rates of the fallen leaves are 92.27%, 78.01% and 99.08%, 95.41% respectively. The decomposed velocity of fallen leaves using the cover method is faster than that of the bag one, likewise, the decomposed velocity of the semi-deciduous monsoon forest is faster than that of the mountain rain forest. The decomposition rate "K" values is 2.172, 1.578 and 1.596, 0.836, correspondingly. Full decomposition may need two and six years, respectively.

The removal order of the elements on the decomposition process of the semi-deciduous monsoon forest and mountain rain forest fallen leaves are as follows,

K>Ca>Na>Mg>N>C>P>Al>Fe>Si

K>Ca>Mg>Na>C>N>P>Al>Si>Fe

The decomposition of the litter fall which is an important process and way of material cycle and soil nutrients input into the forest ecosystem. This research has an important academic meaning and applying value on the structure, function and management of the tropical forest ecosystem.

Key words tropical forest; net bag method; net cover method; fallen leaves decomposition; removed element

“澳大利亚阔叶树种在中国的栽培与 利用国际研讨会”在广州召开

由澳大利亚农业研究中心(ACIAR)与中国林业科学研究院共同主办的“澳大利亚阔叶树种在中国的栽培与利用”国际研究会于1988年10月3—6日在广州市召开。来自中国、澳大利亚、肯尼亚、津巴布韦、泰国和日本等国的近80名林业科学家出席了会议。农研中心主席 J. R. McWilliam 主持开幕式，中国林科院院长刘于鹤作题为“我国森林资源现状及澳大利亚阔叶树在我国南方人工造林中的应用和前景”的报告。中外专家宣读论文22篇，内容涉及澳大利亚阔叶树种(桉、相思、木麻黄、黑荆树等)的选择、种源、丰产栽培、固氮、综合利用以及在中国的发展前景与策略等。反映了我国林业科技工作者多年来的研究已达到一定水平，对澳大利亚阔叶树在其它国家的栽培利用提供了科学依据。

10月6日，部分代表赴海南省琼海县、临高县、尖峰岭等科研、生产基地进行了考察。这次会议对进一步发展中外合作，争取国际援助，促进我国林业科研和生产发展有重要意义。

(中国林业科学研究院外事处 黄婉文)