

## 云南松林与常绿阔叶林中枯落叶分解研究<sup>\*</sup>

刘文耀<sup>1,2\*</sup>, 刘伦辉<sup>1</sup>, 荆桂芬<sup>1</sup>, 和爱军<sup>1</sup>

(1 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 云南 昆明 650223;

2 澳大利亚 Curtin 理工大学环境生物学院, 珀斯 6845)

**摘要:** 采用分解袋的方法, 研究了云南松、滇青冈和元江栲枯叶在针、阔叶林两种生境下的分解及养分动态变化规律。结果表明, 滇青冈和元江栲枯叶分解速率高于云南松针叶。在阔叶林下这些枯叶的分解系数 ( $0.55 \sim 0.61 \text{ a}^{-1}$ ) 要比在云南松林下的 ( $0.50 \sim 0.53 \text{ a}^{-1}$ ) 高。在分解过程中 3 种枯叶的 N、Al、Fe、Zn 元素含量表现出分解前期富积, 后期释放的特征, P、Ca 元素在阔叶林地的分解中也有富积过程。而 Mg、K 元素的浓度与绝对量在分解初期迅速降低后呈缓慢变化的情况。分解中两种阔叶的养分迁移率均高于云南松针叶, 在阔叶林生境中 3 种枯叶的大多数养分元素的富积时间缩短, 下降幅度和分解速度加快, 说明阔叶林生境有利于枯落叶的分解和养分元素的循环。

**关键词:** 云南松林; 常绿阔叶林; 枯叶; 分解; 元素迁移

中图分类号: Q 945; Q 948 文献标识码: A 文章编号: 0253- 2700(2000)03- 0298- 09

## Decomposition of Leaf Litter in *Pinus yunnanensis* Forest and Evergreen Broad- Leaved Forest in Central Yunnan

LIU Wen- Yao<sup>1,2</sup>, LIU Lun- Hui<sup>1</sup>, JING Gui- Fen<sup>1</sup>, HE An- Jun<sup>1</sup>

(1 Kunming Division, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;

2 School of Environmental Biology, Curtin University of Technology, Perth 6845, Australia)

**Abstract:** The decomposition and its nutrient dynamics of leaf litters of *Pinus yunnanensis*, *Cyclobalanopsis glaucooides* and *Castanopsis orthacantha* in pine forest stand and evergreen broad- leaved forest stand in central Yunnan had been investigated by using the litterbag method in a duration of 868 days. It was found that the decomposition rates of both broad- leaved leaf litters are greater than that of pine needles. There are obvious differences between pine forest stand and evergreen broad- leaved forest stand in decomposed mass loss of leaf litters of three species. The decomposition coefficients were  $0.55 \sim 0.61 \text{ a}^{-1}$  for three leaf litters in evergreen broad- leaved forest, and in pine forest they were  $0.50 \sim 0.53 \text{ a}^{-1}$ . The removal rates of nutrient elements in litter change with the quality of leaf litter and decomposing site. During decomposition process the N, Al, Fe and Zn release of three leaf litters in both forest stands showed increase in the first period in content, and thereafter showed decrease over rest of this trial. P and Ca in decomposing leaf litters had also

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目, 并得到中科院教育局择优支持回国工作基金和中科院昆明分院择优支持经费的资助。

\*\* 现在澳大利亚 Curtin University of Technology 环境生物学院攻读博士学位

收稿日期: 1999- 03- 01, 1999- 05- 24 接受发表

immobilization in evergreen broad-leaved forest stand. Mg and K exhibited a relatively rapid initial loss in the light of concentration and content, thereafter followed a steady decrease. The removal rates of nutrients in decomposing pine needles were lower than that of the other two broadleaf litters. The time and range of most elements immobilization of leaf litters in evergreen broad-leaved forest stand were cut down, and the decomposition speed of leaf litter increased, which indicates evergreen broad-leaved forest stand was beneficial to the decomposition of leaf litter and nutrients cycling in comparison with pine forest stand.

**Key words:** *Pinus yunnanensis* forest; Evergreen broad-leaved forest; Leaf litter; Decomposition; Elements removal

枯落物分解是森林生态系统生物地球化学过程中的重要环节 (Swift 等, 1979; Köchy, 1997)。据估计, 在枯落物分解期间释放的养分占森林植物养分总需求量的 69% ~ 87%, 在一定程度上, 枯落物分解速率是影响陆地生态系统, 特别是森林生态系统生产力或生物量的决定因素 (Waring & Schlesinger, 1985)。虽然森林枯落物分解作用的研究已有较长的时间, 但是由于森林类型多样和环境条件各异, 所以目前这方面的研究仍然十分活跃。云南松、滇青冈和元江栲分别是滇中地区云南松林和常绿阔叶林的优势种, 迄今为止, 对这些地区森林群落枯落物分解, 特别是在针、阔叶林地下枯叶分解及其养分动态的研究尚未见到报道。本项工作的目的在于研究这几个优势植物枯落叶在针叶林、阔叶林地生境的分解和养分动态变化规律, 从而为深入研究亚热带森林生态系统物质循环和生产力, 合理保护和利用森林资源等提供科学依据。

## 1 样地概况与研究方法

本项试验研究选择在位于滇中的通海县秀山上进行。该区气候特点为四季冷暖不明, 但干、湿两季明显。年平均气温 15.6℃, 年平均降雨量 869.2 mm, 5~10 月为雨季, 降雨量占年总雨量的 76.8%, 冬春季节降雨量仅年总量的 23.2%, 年平均相对湿度 74%。气候上属于中亚热带半湿润高原季风气候类型。本区域的主要森林植被类型有以滇青冈和元江栲为主的半湿性亚热带常绿阔叶林, 云南松林和针阔混交林。常绿阔叶林分布于阴坡或山坡下部, 生境湿润, 腐殖质层较厚; 云南松林分布于阳坡或山坡上部, 林下土壤贫瘠, 且较为干燥。

供试样品于干季的 4~5 月收集上述针叶林和阔叶林下新近凋落的云南松、滇青冈和元江栲枯叶, 样品放置在干燥箱内 60℃ 温度下烘干至恒重。然后, 称取各物种的枯叶 4 克, 分别装入用尼龙网布制成的分解袋内, 分解袋网孔径为 1.5 mm, 大小为 12×18 cm<sup>2</sup>。为避免松针从网眼漏出, 用尼龙细线系住, 最后, 将袋用细线缝扎。每一类树种制做 120 个分解袋。

样品分别放置在秀山范围的常绿阔叶林和云南松林内, 样地为东北坡向, 坡度约为 20° 海拔 1900~2000 m。有关两类森林的种类组成、群落结构特征及土壤理化特性已有文报道 (刘文耀等, 1991)。试验于 1988 年 5 月下旬开始, 将 3 种树木各 120 袋枯叶分别埋放在云南松林和常绿阔叶林两种生境下, 各分 12 个点埋放。以后于 1988 年 9 月 20 日, 1989 年 1 月 4 日, 6 月 7 日, 11 月 15 日, 1990 年 5 月 15 日和 10 月 5 日 6 次随机各取样品

20 袋。取回的样品在除去非枯叶的外来物质(如泥土, 小动物及残体等)后, 放置于 60℃ 下烘干至恒重, 计算出枯叶的失重量。埋放前的枯叶和每次取回的枯叶均通过烘干后粉碎, 测定它们中养分元素的含量, 其中 N 用半微量凯氏法测定, 用钒钼黄比色法测定 P, 用等离子法测定 K、Ca、Mg、Fe、Mn 和 Zn 元素的含量。此外, 用化学分析方法对 3 个树种枯叶的木质素含量进行了测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 枯落叶在不同生境中的分解速率

失重率是反映枯落叶在两年多试验过程中各个时期的分解情况, 它是试验样品分解前后的重量差与样品初始重量的百分比。在滇中地区干湿季节分明的气候条件下, 分解主要发生在湿热的夏、秋季节。本试验从雨季初期的 5 月下旬开始, 不久进入夏秋季节, 水热条件优越, 枯叶分解迅速, 而且枯叶中容易分解的物质(如有机碳、可溶性糖、粗脂肪等)很快分解淋溶(胡肄慧等, 1986)。根据研究结果表明(图 1), 在试验开始后的第一年内, 云南松、滇青冈和元江栲枯叶的分解失重率都比较高, 达 41%~63%, 日平均失重率为 0.11%~0.17%。以后随着时间的延长, 枯叶失重率有所降低, 到了第二年后分解日失重率已底于 0.1%。生境条件对枯叶分解失重率大小的影响十分明显。由图 1 中可看出, 不同树种枯叶样品在针、阔两类林地条件下的分解规律各不相同, 以最后一次(放置 868d)回收样品时作比较, 在常绿阔叶林中, 云南松、滇青冈和元江栲枯叶的分解失重率分别达 72.3%, 73.7% 和 76.3%, 显著高于在云南松林地中的失重率(63.6%, 64.2% 和 69.5%)。可见枯落叶在常绿阔叶林地中, 分解速度较快, 在同一生境条件下, 各树种枯叶的失重率也存在明显的差异, 其枯叶失重率的大小排序为: 元江栲>滇青冈>云南松。在云南松林下, 元江栲枯叶的失重率较高, 而滇青冈和云南松枯叶的失重率差异不大, 其原因尚不清楚。然而, 枯叶分解速率的高低与林地水热条件、土壤生物活动以及树种枯叶的质地和化学成分有密切的关系(McClaugherty, 1985; Berg 等, 1993)。

为了进一步比较各树种枯叶在针叶林和阔叶林中的分解情况, 我们应用 Olson (1963) 提出的指数分解模型, 根据试验数据中枯叶残留量自然对数与时间的相关方程, 估算了 3 树种枯叶在两类林地中的分解系数(或年腐解率), 结果列于表 1。从表中可看出, 云南松枯叶在云南松林下的分解系数为  $0.5016 \text{ a}^{-1}$ , 在常绿阔叶林下的分解系数则为  $0.5531 \text{ a}^{-1}$ , 提高了 10.27%。相应地, 从云南松林到常绿阔叶林, 滇青冈和元江栲枯叶的分解系数分别提高了 13.9% 和 14.6%。可见在常绿阔叶林下, 枯叶的分解速率要快于云南松林。以 95% 的枯叶被分解所需的时间作比较, 在云南松林下, 云南松、滇青冈和元江栲枯叶分别需要 5.9 年, 5.6 年和 5.5 年, 而在常绿阔叶林下 3 种枯叶分别缩短为 5.3 年, 5.0 年 4.6 年。

### 2.2 不同枯落叶分解过程中养分元素浓度的变化

枯落物的分解除了通过风吹、雨淋和土壤动物作用等物理过程外, 还有生物化学过程, 即通过微生物的作用使落叶腐烂变质, 其中的化学成分释放出来。分解过程中养分浓度变化就是反映样品分解的生物化学过程。根据对各阶段样品的分析结果(表 2), 不同树种枯叶的养分元素含量有明显的差异, 其中滇青冈和元江栲落叶中 N、P、K、Ca 和 Mg

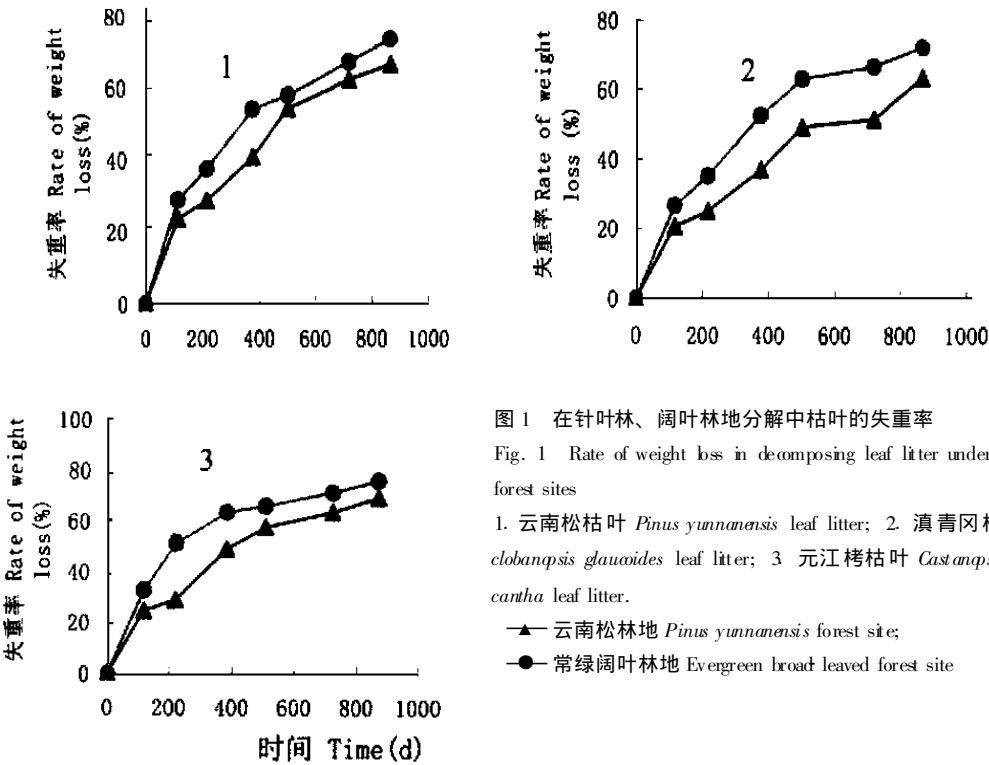


图 1 在针叶林、阔叶林地分解中枯叶的失重率  
Fig. 1 Rate of weight loss in decomposing leaf litter under different forest sites  
1. 云南松枯叶 *Pinus yunnanensis* leaf litter; 2. 滇青冈枯叶 *Cyclobalanopsis glaucoides* leaf litter; 3. 元江栲枯叶 *Castanopsis orthacantha* leaf litter.  
▲ 云南松林地 *Pinus yunnanensis* forest site;  
● 常绿阔叶林地 Evergreen broad leaved forest site

表 1 3 种枯叶在针叶林、阔两类林地中分解的残留量 y (g) 与时间 t (a) 的回归方程  
Table 1 The regression equation between leaf litter remains (y) of three species and years (t) under different forest sites

| 树种<br>Species | 放置林地<br>Places | 回归方程<br>Regression equation | 相关系数<br>Coefficient | 年腐解率<br>Decomposition rate |
|---------------|----------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|
| 1             | A              | $Y = 95.0117e^{-0.5016t}$   | - 0.9778*           | 0.5016                     |
|               | B              | $Y = 92.0287e^{-0.5531t}$   | - 0.9807**          | 0.5531                     |
| 2             | A              | $Y = 96.0818e^{-0.5086t}$   | - 0.9817**          | 0.5086                     |
|               | B              | $Y = 93.4943e^{-0.5794t}$   | - 0.9822**          | 0.5794                     |
| 3             | A              | $Y = 96.3319e^{-0.5332t}$   | - 0.9883**          | 0.5332                     |
|               | B              | $Y = 82.4507e^{-0.6116t}$   | - 0.9384*           | 0.6116                     |

1: 云南松 *Pinus yunnanensis*; 2: 滇青冈 *Cyclobalanopsis glaucoides*; 3: 元江栲 *Castanopsis orthacantha*

A: 云南松林 *Pinus yunnanensis* forest; B: 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

元素的浓度较高, Fe、Al 和 Mn 元素在云南松枯叶中有较高的浓度。在分解过程中不同枯叶养分元素浓度变化也存在着较大的差异。3 种枯叶在分解的前期一直都在进行 N、Ca 元素的富积, 其富积程度因种类和生境条件的不同而各异。以放置 378d 时的 N 和 Ca 元素的浓度作比较, 云南松枯叶在云南松林下 N 的浓度达到 0.85%, 在常绿阔叶林下达到 1.22%, 分别比初始提高了 70% 和 144%; Ca 的浓度分别达到 1.26% 和 1.36%, 分别比初始提高了 88% 和 103%; 滇青冈在云南松林下 N、Ca 的浓度分别达到 1.21% 和 1.77%, 在

常绿阔叶林下分别达到 1.45% 和 1.85%; 元江栲在云南松林下 N、Ca 的浓度分别达到 1.07% 和 1.22%, 在常绿阔叶林下分别达到 1.32% 和 1.58%, 都比初始浓度有较大的提高。从图中可看出, 在常绿阔叶林下枯叶的 N、Ca 元素的富积程度要高于云南松林。在枯叶分解一年以后, N、Ca 元素开始释放。P、Fe、Al 和 Zn 元素的浓度在枯叶分解过程中也有所增加。与此相反, K、Mg 元素在枯叶分解过程中则不需要经过富积阶段, 分解规律也大致相同, 在分解初期就开始释放。

### 2.3 不同枯落叶样品营养元素绝对量的变化

通过物理和生化分解过程, 枯落叶养分总量发生明显的改变。从样品总养分残留率(占初始养分绝对量的百分比)可以反映出枯叶在分解过程中不同时期养分的总归回。在两年多的试验研究中, 3 种枯叶在针、阔两类林地中养分元素总量的变化规律差异很大(表 3)。3 种枯落叶 N 素总量在分解过程中表现为前期富积, 后期释放的规律, 其中在常绿阔叶林地中 N 素总量富积开始时间要比云南松林提前, 释放时间则比云南松林早, 总量降低也较快。如在放置后的第 218 d, 云南松枯叶样品的失重率在云南松林和常绿阔叶林中分别达 28.7% 和 37.5%, 而 N 素总量失重率在云南松林中为 13%, 在常绿阔叶林地中则 N 素总量比初始增加了 4%。Al、Fe、Zn 元素总量在分解的后期也出现富积的情况, 而其它元素总量随着分解时间的延长而逐渐下降。从元素的净丧失(损失)值大小来看, 无论在何种生境下, 3 种枯叶中 Mg 的净丧失(损失)值最大, Fe 的最小。根据最后一次回收样品(放置 868 d)的分析结果, 3 种枯叶在针叶林和阔叶林地分解中元素的残留率(占初始养分绝对量的百分比)大小排序分别如下:

在云南松林地中, 云南松枯叶为:  $Mg(17.6) > K(17.8) > P(35.1) > Ca(37.4) > Zn(44.6) > Mn(51.5) > N(73.5) > Al(68.2) > Fe(82.9)$ ; 滇青冈枯叶:  $K(15.8) > Mg(21.6) > P(24.3) > Ca(32.2) > Mn(40.7) > N(54.7) > Zn(72.9) > Fe(147.8) > Al(148.9)$ ; 元江栲枯叶为:  $Mn(7.2) > K(10.2) > Mg(11.2) > Zn(20.3) > Ca(25.0) > P(44.6) > N(51.6) > Al(143.1) > Fe(212.5)$ 。

在常绿阔叶林地中, 云南松枯叶为:  $Mg(14.9) > K(15.6) > Ca(24.6) > P(33.7) > Mn(43.7) > Zn(61.4) > N(63.2) > Al(76.3) > Fe(106.3)$ ; 滇青冈枯叶为:  $Mg(15.6) > K(20.7) > P(27.8) > Ca(28.5) > Mn(40.6) > N(42.4) > Al(134.1) > Fe(155.3) > Zn(166.5)$ ; 元江栲枯叶为:  $Mn(4.5) > Mg(8.31) > K(11.6) > Ca(20.0) > Zn(31.6) > N(41.7) > P(45.6) > Al(151.5) > Fe(245.7)$ 。

## 3 讨论

枯落物在分解过程中失重率的大小主要受环境的水、热状况, 枯落物本身的质地和有机物含量, 以及枯落物分解时土壤养分有效性的影响 (McClaugherty 等, 1985; Berg 等, 1993)。微生物是枯落物的主要分解者, 环境的温、湿度和土壤表层养分条件直接影响着微生物的活动。就本区针叶林、阔叶林两种生境条件而言, 土壤湿度和养分对微生物活动的影响最大, 常绿阔叶林群落层次结构复杂, 林下地被物和枯枝落叶层发达, 为微生物的活动提供了良好的场所, 同时, 较高的土壤含水量, 丰富的表土层养分含量, 较低的 C/N 比值, 为微生物活动和繁衍创造了较适宜条件, 从而有利于枯落物的分解, 并加速有机质

表2 不同类型枯叶在针叶林、阔叶林地分解过程中营养元素浓度的变化  
Table 2 Nutrient concentration of in decomposing leaf litters of different types under different forest sites

| 树种<br>Species | 时间<br>Time (Days) | 放置地点<br>Places | 营养元素浓度 Nutrient concentration (%) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               |                   |                | N                                 | P     | K     | Ca    | Mg    | Al    | Fe    | Mn    | Ze    |
| 1             | 0                 | A              | 0.502                             | 0.039 | 0.016 | 0.886 | 0.247 | 0.295 | 0.129 | 0.050 | 0.003 |
|               |                   | B              | 0.502                             | 0.039 | 0.016 | 0.886 | 0.247 | 0.295 | 0.129 | 0.050 | 0.003 |
|               | 117               | A              | 0.551                             | 0.037 | 0.135 | 1.115 | 0.182 | 0.225 | 0.087 | 0.050 | 0.003 |
|               |                   | B              | 0.660                             | 0.039 | 0.142 | 0.998 | 0.195 | 0.385 | 0.135 | 0.054 | 0.004 |
|               | 218               | A              | 0.600                             | 0.035 | 0.123 | 1.241 | 0.146 | 0.197 | 0.069 | 0.050 | 0.004 |
|               |                   | B              | 0.831                             | 0.039 | 0.136 | 1.067 | 0.141 | 0.495 | 0.226 | 0.062 | 0.004 |
|               | 378               | A              | 0.851                             | 0.035 | 0.118 | 1.357 | 0.198 | 0.182 | 0.087 | 0.062 | 0.004 |
|               |                   | B              | 1.220                             | 0.047 | 0.099 | 1.263 | 0.177 | 0.540 | 0.264 | 0.067 | 0.006 |
|               | 503               | A              | 1.171                             | 0.040 | 0.095 | 1.200 | 0.174 | 0.277 | 0.132 | 0.067 | 0.003 |
|               |                   | B              | 1.251                             | 0.052 | 0.110 | 1.165 | 0.136 | 0.467 | 0.318 | 0.060 | 0.006 |
|               | 720               | A              | 1.130                             | 0.044 | 0.089 | 1.188 | 0.143 | 0.564 | 0.314 | 0.074 | 0.004 |
|               |                   | B              | 1.280                             | 0.057 | 0.106 | 0.859 | 0.150 | 0.865 | 0.519 | 0.081 | 0.008 |
|               | 868               | A              | 1.111                             | 0.041 | 0.085 | 0.968 | 0.130 | 0.602 | 0.320 | 0.077 | 0.004 |
|               |                   | B              | 1.119                             | 0.050 | 0.095 | 0.810 | 0.140 | 0.855 | 0.521 | 0.083 | 0.007 |
| 2             | 0                 | A              | 0.720                             | 0.048 | 0.266 | 1.172 | 0.240 | 0.119 | 0.072 | 0.104 | 0.001 |
|               |                   | B              | 0.720                             | 0.048 | 0.266 | 1.172 | 0.240 | 0.119 | 0.072 | 0.104 | 0.001 |
|               | 117               | A              | 0.819                             | 0.046 | 0.205 | 1.268 | 0.248 | 0.144 | 0.086 | 0.104 | 0.002 |
|               |                   | B              | 0.960                             | 0.049 | 0.216 | 1.355 | 0.249 | 0.325 | 0.131 | 0.106 | 0.002 |
|               | 218               | A              | 0.951                             | 0.044 | 0.136 | 1.439 | 0.254 | 0.157 | 0.094 | 0.105 | 0.002 |
|               |                   | B              | 1.242                             | 0.052 | 0.191 | 1.622 | 0.255 | 0.487 | 0.167 | 0.109 | 0.003 |
|               | 378               | A              | 1.209                             | 0.044 | 0.119 | 1.849 | 0.180 | 0.168 | 0.098 | 0.127 | 0.002 |
|               |                   | B              | 1.339                             | 0.061 | 0.181 | 1.767 | 0.177 | 0.586 | 0.375 | 0.126 | 0.004 |
|               | 503               | A              | 1.278                             | 0.048 | 0.123 | 1.829 | 0.162 | 0.183 | 0.174 | 0.143 | 0.002 |
|               |                   | B              | 1.450                             | 0.057 | 0.201 | 1.361 | 0.151 | 0.536 | 0.398 | 0.126 | 0.006 |
|               | 720               | A              | 1.451                             | 0.039 | 0.120 | 1.605 | 0.153 | 0.451 | 0.282 | 0.110 | 0.002 |
|               |                   | B              | 1.530                             | 0.052 | 0.207 | 1.300 | 0.144 | 0.589 | 0.399 | 0.156 | 0.007 |
|               | 868               | A              | 1.082                             | 0.032 | 0.115 | 1.521 | 0.142 | 0.486 | 0.292 | 0.116 | 0.002 |
|               |                   | B              | 1.100                             | 0.048 | 0.198 | 1.202 | 0.135 | 0.575 | 0.403 | 0.152 | 0.006 |
| 3             | 0                 | A              | 0.710                             | 0.026 | 0.307 | 1.214 | 0.491 | 0.139 | 0.061 | 0.106 | 0.003 |
|               |                   | B              | 0.710                             | 0.026 | 0.307 | 1.214 | 0.491 | 0.139 | 0.061 | 0.106 | 0.003 |
|               | 117               | A              | 0.819                             | 0.026 | 0.185 | 1.200 | 0.315 | 0.184 | 0.062 | 0.076 | 0.003 |
|               |                   | B              | 0.960                             | 0.036 | 0.212 | 1.255 | 0.286 | 0.305 | 0.105 | 0.055 | 0.003 |
|               | 218               | A              | 0.931                             | 0.026 | 0.109 | 1.276 | 0.213 | 0.218 | 0.072 | 0.027 | 0.003 |
|               |                   | B              | 1.191                             | 0.044 | 0.178 | 1.312 | 0.214 | 0.406 | 0.220 | 0.044 | 0.004 |
|               | 378               | A              | 1.068                             | 0.035 | 0.095 | 1.015 | 0.215 | 0.275 | 0.098 | 0.022 | 0.004 |
|               |                   | B              | 1.320                             | 0.055 | 0.179 | 1.576 | 0.252 | 0.634 | 0.342 | 0.037 | 0.006 |
|               | 503               | A              | 1.190                             | 0.039 | 0.116 | 1.119 | 0.215 | 0.414 | 0.143 | 0.033 | 0.005 |
|               |                   | B              | 1.360                             | 0.052 | 0.206 | 1.165 | 0.221 | 0.771 | 0.578 | 0.042 | 0.007 |
|               | 720               | A              | 1.250                             | 0.042 | 0.114 | 1.043 | 0.192 | 0.602 | 0.376 | 0.030 | 0.002 |
|               |                   | B              | 1.401                             | 0.052 | 0.179 | 1.148 | 0.188 | 0.958 | 0.626 | 0.029 | 0.004 |
|               | 868               | A              | 1.201                             | 0.038 | 0.103 | 0.995 | 0.180 | 0.652 | 0.425 | 0.025 | 0.002 |
|               |                   | B              | 1.252                             | 0.050 | 0.150 | 1.025 | 0.172 | 0.888 | 0.632 | 0.020 | 0.004 |

1: 云南松 *Pinus yunnanensis*; 2: 滇青冈 *Cydobanopsis glaucoides*; 3: 元江栲 *Castanopsis orthacantha*  
A: 云南松林 *Pinus yunnanensis* forest; B: 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest  
© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表3 不同类型枯叶在针叶林、阔叶林地分解过程中营养元素绝对量的变化  
Table 3 The change of nutrient contents in decomposing leaf litters of different types under different forest sites

| 树种<br>Species | 时间<br>Time (Days) | 放置地点<br>Places | 占初始营养绝对量的百分比 Percentage of initial nutrient mass remaining (%) |       |       |        |       |        |        |       |        |
|---------------|-------------------|----------------|----------------------------------------------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
|               |                   |                | N                                                              | P     | K     | Ca     | Mg    | Al     | Fe     | Mn    | Ze     |
| 1             | 0                 | A              | 100                                                            | 100   | 100   | 100    | 100   | 100    | 100    | 100   | 100    |
|               |                   | B              | 100                                                            | 100   | 100   | 100    | 100   | 100    | 100    | 100   | 100    |
|               | 117               | A              | 84.08                                                          | 72.52 | 64.50 | 101.51 | 56.32 | 58.30  | 51.55  | 76.44 | 76.44  |
|               |                   | B              | 94.01                                                          | 71.22 | 63.21 | 82.08  | 56.32 | 92.95  | 74.53  | 76.92 | 94.96  |
|               | 218               | A              | 85.56                                                          | 63.99 | 54.81 | 102.17 | 42.15 | 47.16  | 38.14  | 71.30 | 95.07  |
|               |                   | B              | 103.75                                                         | 62.50 | 53.13 | 77.01  | 35.68 | 104.87 | 109.50 | 77.50 | 83.33  |
|               | 378               | A              | 100.73                                                         | 53.17 | 43.40 | 92.84  | 47.50 | 36.55  | 39.96  | 73.47 | 79.00  |
|               |                   | B              | 112.63                                                         | 55.63 | 28.56 | 67.32  | 33.08 | 84.50  | 94.47  | 61.85 | 92.32  |
|               | 503               | A              | 107.41                                                         | 47.08 | 27.25 | 63.60  | 32.33 | 43.10  | 46.97  | 61.51 | 45.90  |
|               |                   | B              | 105.43                                                         | 56.23 | 28.99 | 56.73  | 23.22 | 66.76  | 103.95 | 50.60 | 84.34  |
|               | 720               | A              | 83.36                                                          | 42.61 | 21.01 | 51.81  | 21.87 | 72.21  | 91.94  | 55.90 | 50.36  |
|               |                   | B              | 84.12                                                          | 48.03 | 21.77 | 32.59  | 19.96 | 96.35  | 132.20 | 53.23 | 87.63  |
|               | 868               | A              | 73.52                                                          | 35.13 | 17.75 | 37.36  | 17.59 | 68.20  | 82.90  | 51.47 | 44.56  |
|               |                   | B              | 63.17                                                          | 33.74 | 15.63 | 24.62  | 14.92 | 76.28  | 106.30 | 43.69 | 61.41  |
| 2             | 0                 | A              | 100                                                            | 100   | 100   | 100    | 100   | 100    | 100    | 100   | 100    |
|               |                   | B              | 100                                                            | 100   | 100   | 100    | 100   | 100    | 100    | 100   | 100    |
|               | 117               | A              | 90.34                                                          | 76.02 | 61.13 | 58.54  | 81.96 | 95.98  | 94.74  | 79.32 | 112.28 |
|               |                   | B              | 97.63                                                          | 74.75 | 59.46 | 84.65  | 75.97 | 199.97 | 133.22 | 74.63 | 146.44 |
|               | 218               | A              | 98.76                                                          | 68.61 | 38.27 | 62.62  | 79.22 | 98.75  | 97.72  | 75.57 | 149.70 |
|               |                   | B              | 111.60                                                         | 70.20 | 46.53 | 89.68  | 68.85 | 265.19 | 150.30 | 67.92 | 194.40 |
|               | 378               | A              | 105.69                                                         | 57.65 | 28.14 | 67.61  | 47.17 | 88.79  | 85.60  | 76.80 | 125.78 |
|               |                   | B              | 88.16                                                          | 60.20 | 32.23 | 71.42  | 34.93 | 233.27 | 246.72 | 57.39 | 189.48 |
|               | 503               | A              | 90.15                                                          | 50.71 | 23.45 | 53.92  | 34.23 | 77.98  | 123.21 | 69.73 | 101.42 |
|               |                   | B              | 74.51                                                          | 43.94 | 27.96 | 42.97  | 23.28 | 166.66 | 204.53 | 44.83 | 222.31 |
|               | 720               | A              | 97.53                                                          | 39.35 | 21.85 | 45.19  | 30.87 | 183.55 | 189.55 | 51.22 | 96.86  |
|               |                   | B              | 70.83                                                          | 36.11 | 25.94 | 36.97  | 19.99 | 164.97 | 184.70 | 49.99 | 233.31 |
|               | 868               | A              | 54.68                                                          | 24.30 | 15.76 | 32.23  | 21.57 | 148.86 | 147.83 | 40.66 | 72.90  |
|               |                   | B              | 42.40                                                          | 27.75 | 20.66 | 28.46  | 15.61 | 134.09 | 155.32 | 40.56 | 166.50 |
| 3             | 0                 | A              | 100                                                            | 100   | 100   | 100    | 100   | 100    | 100    | 100   | 100    |
|               |                   | B              | 100                                                            | 100   | 100   | 100    | 100   | 100    | 100    | 100   | 100    |
|               | 117               | A              | 86.99                                                          | 75.32 | 45.39 | 74.45  | 48.32 | 99.70  | 76.55  | 54.00 | 75.32  |
|               |                   | B              | 91.02                                                          | 93.21 | 46.49 | 69.60  | 39.21 | 147.72 | 115.88 | 34.93 | 67.32  |
|               | 218               | A              | 92.97                                                          | 70.98 | 25.20 | 74.61  | 30.79 | 111.32 | 83.78  | 18.08 | 70.98  |
|               |                   | B              | 81.67                                                          | 82.47 | 28.75 | 52.66  | 21.24 | 142.33 | 175.75 | 20.23 | 64.97  |
|               | 378               | A              | 76.83                                                          | 68.63 | 15.78 | 42.62  | 22.32 | 100.86 | 81.90  | 10.58 | 67.97  |
|               |                   | B              | 67.60                                                          | 76.92 | 21.20 | 47.20  | 18.66 | 165.84 | 203.85 | 12.69 | 72.80  |
|               | 503               | A              | 70.96                                                          | 63.51 | 15.98 | 39.03  | 18.54 | 126.11 | 99.26  | 13.18 | 70.57  |
|               |                   | B              | 64.88                                                          | 67.74 | 22.73 | 32.50  | 15.25 | 187.87 | 320.93 | 13.42 | 79.03  |
|               | 720               | A              | 63.87                                                          | 58.61 | 13.47 | 31.17  | 14.19 | 157.13 | 223.63 | 10.27 | 24.19  |
|               |                   | B              | 56.47                                                          | 57.28 | 16.70 | 27.08  | 10.97 | 197.39 | 293.91 | 7.84  | 57.28  |
|               | 868               | A              | 51.55                                                          | 44.57 | 10.23 | 24.99  | 11.18 | 143.06 | 212.50 | 7.19  | 20.33  |
|               |                   | B              | 41.75                                                          | 45.60 | 11.58 | 20.02  | 8.31  | 151.47 | 245.65 | 4.47  | 31.61  |

1: 云南松 *Pinus yunnanensis*; 2: 滇青冈 *Cyclobalanopsis glaucoides*; 3: 元江栲 *Castanopsis orthacantha*  
A: 云南松林 *Pinus yunnanensis* forest; B: 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest

©1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的矿化和元素迁移；相比之下，云南松林层次结构较为简单，表土层养分含量较低，C/N 比值高（表 4），土壤含水量比常绿阔叶林地低 20% ~ 45%（刘文耀等，1991），不利于土壤微生物的活动，枯落物的分解速度慢。

表 4 云南松林和常绿阔叶林地表土层（0~ 20 cm）养分含量

| Table 4 Nutrient contents in surface soil (0~ 20 cm) under <i>Pinus yunnanensis</i> forest and evergreen broad- leaved forest |          |          |          |          |                    |                     |                    |                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|
| 森林类型<br>Types                                                                                                                 | C<br>(%) | N<br>(%) | P<br>(%) | K<br>(%) | 速效 P<br>(mg/ 100g) | Rapidly available P | 速效 K<br>(mg/ 100g) | Rapidly available K<br>C/N |
| <i>Pinus yunnanensis</i> forest                                                                                               | 1.47     | 0.08     | 0.01     | 1.51     | 2.46               |                     | 8.83               | 17.81                      |
| Evergreen broad- leaved forest                                                                                                | 2.91     | 0.24     | 0.03     | 1.06     | 3.40               |                     | 10.71              | 12.03                      |

其次，从枯落叶化学成分组成和含量的分析结果（表 5），也能够说明 3 种枯叶分解强度差异的原因。由表 5 中可看出，3 种枯叶的养分元素含量有较大差异，其中滇青冈和元江栲枯叶中矿质元素较云南松枯落叶要高，而木质素含量和 C/N 比值则比云南松枯叶要小得多。根据 Melillo 等人（1982）的研究结果，通过叶片中木质素与 N 素含量之比可以说明枯落叶分解速率的快慢，其比值越大，分解速率越慢，反之亦然。在本试验中滇青冈和元江栲枯叶中木质素与 N 素含量的比值分别为 40.56 和 31.04，都比云南松枯叶（81.72）要小，N、P 元素的含量高于云南松枯叶。说明两种阔叶树种枯落叶的分解速率要比云南松枯叶要快，这与本试验研究结果相一致的。由以上的结果进一步阐明，进行针、阔叶树种混交营造，有利于促进林地枯落物的分解和养分元素的循环利用。

表 5 不同类型枯叶木质素和养分元素含量

Table 3 Contents of nutrient and Lignin of different types of leaf- litters

| 树种<br>Species                     | 木质素(%)<br>Lignin | C<br>(%) | N<br>(%) | P<br>(%) | K<br>(%) | Ca<br>(%) | Mg<br>(%) | Fe<br>(%) | Al<br>(%) | Mn<br>(%) | C/N   |
|-----------------------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| <i>Pinus yunnanensis</i>          | 40.86            | 20.05    | 0.50     | 0.03     | 0.16     | 0.67      | 0.25      | 0.13      | 0.30      | 0.05      | 40.10 |
| <i>Cyclobalanopsis glaucoides</i> | 29.19            | 21.93    | 0.72     | 0.04     | 0.31     | 1.21      | 0.49      | 0.06      | 0.14      | 0.06      | 30.46 |
| <i>Castanopsis orthacantha</i>    | 22.04            | 20.79    | 0.71     | 0.05     | 0.27     | 1.17      | 0.28      | 0.07      | 0.12      | 0.10      | 29.28 |

在本研究中，云南松、滇青冈和元江栲枯叶的分解系数分别为 0.50~ 0.55 a<sup>-1</sup>，0.51 ~ 0.58 a<sup>-1</sup>和 0.53~ 0.61 a<sup>-1</sup>。与其它地区相比较，北京地区油松和栓皮栎枯叶的分解系数分别为 0.21 a<sup>-1</sup>和 0.18 a<sup>-1</sup>（胡肄慧等，1986）；广东鼎湖山马尾松针叶为 0.44 a<sup>-1</sup>（莫江明等，1997）；海南岛尖峰岭热带林凋落叶为 0.84~ 1.58 a<sup>-1</sup>（卢俊培等，1989）。反映出从温带到热带，随着温度和湿度水平的提高，以及土壤、植被类型的变化，森林枯落叶分解速率逐渐增加。本区 3 种枯落叶的分解系数比热带森林枯落叶的要小，略高于鼎湖山马尾松针叶的分解系数。

从分解过程中元素的迁移特征来看，N 素和其它一些元素在分解过程中出现了富积或含量增加的情况，Swift 等（1979）认为枯落物分解过程中 N 素含量主要有三方面的原因：一是枯落物分解中 C 素损失导致蛋白质 N 素含量增加；其次，真菌和细菌也能够从分解的枯落物中转化一定数量的游离 N 变成蛋白质并贮存于微生物体内；第三，微生物特别是真菌能够从土壤中吸收一些无机 N 来调节它们的 C/N 比。从本试验结果来看，在常绿阔叶林下枯叶分解过程中元素富积的时间较云南松林的短。这与常绿阔叶林中养分元素的

生物循环比云南松林快的结果相一致 (刘文耀等, 1990)。随着分解过程 and 时间的延长, 在经过一段时期的富积, 这些元素逐渐释放到土壤中。根据对枯叶分解过程中不同元素残留量大小的比较, 可以分为不同释放迁移特征的元素: 一组为迁移速度较慢的 Fe、Al、N 和 Mn 元素; 另一组为迁移速度较快 Mg、K、Ca 和 P 元素。这与 Arderson 等 (1983) 和卢俊培等 (1989) 的研究结果相似。

此外, 分解速率的大小与所采用的研究方法有较大差异, 从所报道的文献资料看, 用于确定枯落物失重速率的方法主要有分解袋法 (Litterbag method) 和束缚法 (Tethered method)。由于束缚法测得的分解速率有所偏高, 而分解袋法有所偏底, 由于技术上的问题, 目前分解袋法仍然是研究枯落物分解速率中最常用的方法 (Ewel, 1976; St John, 1980; 胡肄慧等, 1986)。在干、湿季节分明的季风影响地区, 枯落物分解速率的大小, 不仅与研究方法、枯落叶质量、放置地点等因素有关, 而且也取决于放置时的季节 (如干季或湿季), 如果放置时正逢雨季, 那枯落物的分解速率就大; 反之, 放置时间为干冷的冬季, 则枯落物分解的速率就要小些。这些都是枯落物分解研究过程中遇到的问题, 特别是在进行与其它同类研究比较时要引起注意。

## 4 结论

(1) 云南松、滇青冈和元江栲枯叶的分解速率, 随着林地生境条件不同而有较大的差异。在常绿阔叶林生境下, 3 种枯叶的分解系数 (0.55~0.61) 均高于在云南松林下的分解系数 (0.50~0.53)。以 95% 的枯叶被分解所需的时间为限, 在云南松林下, 云南松、滇青冈和元江栲枯叶分别需要 5.9 年, 5.6 年和 5.5 年, 而在常绿阔叶林下 3 种枯叶分别缩短为 5.3 年, 5.0 年和 4.6 年。

(2) 3 种枯叶在分解过程中养分迁移率有所不同, 并随分解生境的不同而有较大的差异。N、Al、Fe、Zn 元素的浓度表现出分解前期富积, 后期释放的特征, P、Ca 元素在常绿阔叶林地的分解中也出现富积, 而 Mg、K 元素的浓度与绝对量在分解初期迅速降低后呈缓慢变化的情况。在常绿阔叶林生境中大多数养分元素的富积时间缩短, 下降幅度和分解速度加快, 说明常绿阔叶林生境有利于枯落叶的分解和养分元素的循环。

## 〔参考文献〕

- 卢俊培, 刘其汉, 1989. 海南岛尖峰岭热带林凋落叶分解过程的研究 [J]. 林业科学研究, 2 (1): 25~33
- 刘文耀, 荆桂芬, 和爱军, 1990. 滇中常绿阔叶林及云南松林凋落物和死地被物中的养分动态 [J]. 植物学报, 32 (8): 637~646
- 刘文耀, 刘伦辉, 郑征, 1991. 滇中常绿阔叶林及云南松林水文作用的研究 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 15 (2): 159~167
- 胡肄慧, 陈灵芝, 孔繁志等, 1986. 油松和栓皮栎枯叶分解作用的研究 [J]. 植物学报, 28 (1): 102~110
- 莫江明, 布朗, 孔国辉等, 1996. 鼎湖山生物圈保护区马尾松凋落物的分解及其营养动态研究 [J]. 植物生态学报, 20 (6): 534~542

(下转 316 页)

Rao P, Barik S K, Pandey H N, *et al* , 1990. Community composition and tree population structure in a subtropical broad- leaved forest along a disturbance gradient [ J]. *Vegetatio*, **88**: 151~ 162

Saxon E C, 1990. Disturbance regimes in North Queensland rainforests: A re- evaluation of their relationship to species richness and diversity [ J]. *Australian Journal of Ecology* , **15**: 241~ 244

Scanlan J C, Burrows W H, 1990. Woody overstorey impact on herbaceous understorey in Eucalyptus spp communities in central Queensland [ J]. *Australian Journal of Ecology*, **15**: 191~ 197

Shackleton C M, Griffin N J, Banks D I, *et al* , 1994. Community Structure and species composition along a disturbance gradient in a communally managed South African Savanna [ J]. *Vegetatio*, **115**: 157~ 167

Skarpe C, 1997. Structure of the woody vegetation in disturbed and undisturbed arid savanna, Botswana [ J]. *Vegetatio*, **87**: 11~ 18

Sousa, W P, 1988 The role of disturbance in natural communities [ J]. *Annual Review of Ecological System* , **15**: 353~ 391

Tolsma D C, Emst W H O, Verve y R A, 1987. Nutrients in soil and vegetation around two artificial waterpoints in eastern Botswana [ J]. *Journal of Applied Ecology* , **24**: 991~ 1000

\* \* \* \* \*

( 上接 306 页)

Arderson J P, Proctor J, Wallack H W, 1983 Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Cunung Mulu National Park, Sarawak [ J] .*The Journal of Ecology* , **71**: 503~ 527

Berg B, Berg M P, Bottner P *et al* , 1993. Litter mass loss rates in pine forest of Europe and Eastern United States: some relationships with climate and litter quality [ J] . *Biogeochemistry*, **20**: 127~ 159

Ewel J J, 1976. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala [ J] . *The Journal of Ecology* , **64**: 293~ 308

Köchy M, Wilson S D, 1997. Litter decomposition and nitrogen in aspen forest and mixed- grass prairie [ J] . *Ecology*, **78** (3): 765 ~ 739

McClagherty C A, Pastor J, Aber J D *et al* , 1985 Forest litter decomposition in relation to soil nitrogen dynamics and litter quality [ J] *Ecology*, **66**: 266~ 275

Melillo J M, Aber J D, Muratore J F, 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics [ J] . *Ecology*, **63**: 621~ 626

Olson J S, 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposition in ecological systems [ J]. *Ecology* , **44**: 322~ 331

St John T V, 1980. Influence of litterbags on growth of fungal vegetative structures [ J] . *Oecologia*, **46**: 130~ 132

Swift M J, Heal O W, Anderson J M, 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems [ M] . Berkeley: University of California Press.

Warning R H, Schlesinger W H, 1985. Forest Ecosystems: Concepts and Management [ M] . New York: Academic Press, 181~ 210