

华南 4 种乡土阔叶树种枯落叶分解能力

张 浩^{1,2}, 庄雪影^{1,*}

(1. 华南农业大学林学院, 广州 510642; 2. 香港中文大学生物系 香港)

摘要: 采用分解袋法, 研究了樟树 (*Cinnamomum camphora* (L.) Presl)、米老排 (*Mytilaria laosensis* Lec.)、火力楠 (*Michelia macclurei* Dandy) 和黎蒴 (*Castanopsis fissa* Rehd. et Wils.) 4 种华南乡土阔叶树种枯落叶在阔叶混交人工林和湿地松人工林下的分解能力。4 个树种枯落叶的分解速率大小依次为: 樟树 > 米老排 > 火力楠 > 黎蒴, 它们在混交林中的分解速率均大于松林。4 个树种枯落叶的分解动态符合 Olson 指数模型, 分解系数 (K) 在混交林中均大于人工林, 且在两种林地中均表现为樟树 > 米老排 > 火力楠 > 黎蒴。不同时间枯落叶养分动态分析结果显示, 4 个树种枯落叶的 N 元素分解均出现先富集, 后释放的特点, 但仅在松林下出现 N 元素的净释放; K 元素释放方式表现为先释放, 后富集, 仅在阔叶林下出现 K 元素净释放; Ca、Mg 和 B 元素均表现为分解前期少量富集, 之后开始大量释放的变化趋势, 它们在阔叶林和松林下均出现净释放。4 个树种在 P 元素释放方式上差异较大, 趋势不明显。

关键词: 乡土阔叶树种; 枯落叶; 人工林; 分解速率; 养分释放

文章编号: 1000-0933(2008)05-2395-09 中图分类号: Q143, Q945; Q948 文献标识码: A

The leaf litter decomposition of four native broad-leaved tree species in South China

ZHANG Hao^{1,2}, ZHUANG Xue-Ying^{1,*}

1 South China Agricultural University, College of Forestry, Guangzhou 510642, China

2 The Chinese University of Hong Kong, Department of Biology, Hong Kong, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2395 ~ 2403.

Abstract: The leaf litter decomposition of *Cinnamomum camphora* (L.) Presl, *Mytilaria laosensis* Lec., *Michelia macclurei* Dandy, and *Castanopsis fissa* Rehd. et Wils. in mixed broad-leaved tree plantation and pine plantation were studied with litterbag method for one year. Leaf litter decomposition rates of the four species were in the order: *Cinnamomum camphora* > *Mytilaria laosensis* > *Michelia macclurei* > *Castanopsis fissa*. The decomposition rates of all species were higher in mixed than pine plantation. The decomposition processes of all species follow Olson's exponential model. The decomposition coefficient (K) of all species were also higher in mixed than pine plantation and had the same order as the leaf litter decomposition rates. The analysis of changes in leaf litter nutrients over time showed that the nitrogen contents of all species studied first increased and then decreased. However, net release of N only occurred in pine plantation. Potassium contents appeared to decrease first and then increase and net release was only found in mixed

基金项目: 广东省林业局资助项目(4400-F98017); 香港嘉道理农场暨植物园研究基金资助项目(4400-G00003)

收稿日期: 2007-07-12; 修订日期: 2008-02-19

作者简介: 张浩 (1980 ~), 男, 江苏盐城人, 博士生, 主要从事恢复生态学研究. E-mail: scauzh@21cn.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xyzhuang@scau.edu.cn

致谢: 香港大学侯智恒博士润色英文摘要, 特此致谢

Foundation item: The project was financially supported by the Forestry Bureau of Guangdong Province (No. 4400-F98017) and Kadoorie Farm & Botanic Garden of Hong Kong, China (No. 4400-G00003)

Received date: 2007-07-12; **Accepted date:** 2008-02-19

Biography: ZHANG Hao, Ph. D. candidate, mainly engaged in restoration ecology. E-mail: scauzh@21cn.com

plantation. For Ca, Mg, and B, they all showed a similar pattern of increasing at the beginning and then decreasing at the end. They all had net release in both mixed and pine plantation. The release of phosphorus varied greatly between species and no clear trend was found.

Key Words: Native broad-leaved trees; leaf litter; plantation; decomposition rate; nutrient release

在森林生态系统中,凋落物的分解过程是生态系统物质循环和能量流动的重要环节,是维持生态系统功能的主要过程之一。归还到林地表面的凋落物,可作为分解者重要的物质和能量来源,同时也决定着土壤有效养分的供应状况,进而影响植物的养分吸收^[1,2]。在大多数生态系统中,土壤中供植物吸收的养分,有90%以上的氮和磷、60%以上矿质元素来自植被凋落物的再循环^[3]。因此,凋落物的积累与分解,在维持森林生态系统中正常的物质循环和养分平衡方面,发挥着重要的作用。目前,有关凋落物的研究,主要集中在凋落物分解影响因子、养分释放机制、混合分解效益和CO₂浓度升高对凋落物分解的影响等方面^[4~6]。

马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)和湿地松(*Pinus elliottii* Engelm.)是华南地区优良先锋树种,在我国亚热带荒山植被改造过程中发挥了极大的作用,但由于针叶树凋落物较难分解及分解后形成的酸性环境抑制了细菌活动,在一定程度上,针叶树种对改善土壤肥力的效果并不理想。相对而言,阔叶树种叶片含较高的钙,在分解过程中对酸性环境起了中和作用,形成较有利于细菌活动的环境,可加速人工针叶林的物质循环^[7]。利用乡土阔叶树种套种松树人工林,现已成为华南地区人工林改造的重要途径之一。近年来广东省对乡土树种的应用比较重视,华南乡土阔叶树种筛选和造林技术研究报告较多^[8,9],并也开展了部分人工生态林生态效益的监测研究^[10,11]。但有关华南地区人工生态林下不同阔叶树种凋落物分解能力的研究较少,所涉及的种类大多数集中在外来树种上,如大叶相思(*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth.)、马占相思(*Acacia mangium* Willd.)、南洋楹(*Albizia falcataria* Fosberg),而涉及乡土阔叶树种的研究较少,如荷木(*Schima superba* Gardn. & Champ.)、红栲(*Castanopsis fargesii* Franch.)、火力楠(*Michelia macclurei* Dandy)、福建柏(*Fokienia hodginsii* Henry et Thomas)、桫欏(*Alnus cremastogyne* Burkill)等^[12~14]。

本文从凋落物分解及养分释放角度,探讨了华南地区4种乡土阔叶树种枯落叶在阔叶混交人工林和湿地松人工林地中的分解速率和养分动态变化趋势,拟为华南地区生态公益林建设和管理提供科学依据。

1 研究地区与方法

1.1 试验地概况

试验地位于广州市天河区华南农业大学长岗山树木园内(113°18'E, 23°06'N),属于亚热带季风气候,温暖多雨,夏长冬短。年均温、最冷月和最热月均温分别为21.8、13.3℃和28.1℃。年降雨量1714.4 mm,4~9月份的降雨量占年降雨量的82%。年平均相对湿度79%。试验林地为低丘陵,海拔40 m,土壤为花岗岩发育而成的低丘赤红壤,呈酸性,土层深厚。

试验网袋分别埋放在树木园的荷木×火力楠混交林和湿地松纯林中,两个林地的土壤化学性质见表1。

表1 两个试验地土壤肥力基本情况
Table 1 Soil fertility of two experimental sites

试验地类型 Types	pH(=2.5:1)	有机质 Organic C (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	全磷 Total P (g·kg ⁻¹)	全钾 Total K (g·kg ⁻¹)	有效氮 Available N (mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)	有效钾 Available K (mg·kg ⁻¹)
阔叶混交林 Mixed plantation	3.92	37.77	1.08	0.26	3.89	94.50	1.57	20.13
湿地松纯林 Pine plantation	4.10	29.45	0.99	0.21	4.96	75.60	1.97	16.98

1.2 研究方法

1.2.1 试验材料及收集

测试了 4 个种类:樟树、米老排、火力楠和黎蒴,于 2003 年 10 月初在华南农业大学树木园内收集新凋落的叶片,带回实验室内室温下风干。为了模拟枯落叶在林地中自然凋落状态,将林地中约 3 层且体积相近的樟树、米老排、火力楠、黎蒴完整枯落叶,保持平展地装入尼龙分解袋内,其中称取樟树、火力楠、黎蒴的枯叶 28g,而米老排枯叶质地轻、叶面积大则称取 14g。分解袋网孔径为 1mm,大小为 28cm × 18cm。

1.2.2 样地设置和取样方法

2003 年 10 月初,在荷木 × 火力楠混交林和湿地松纯林中,随即设置 1 条 20m 长的样带,分别在 0、10、20 m 处设置样点。将每树种的 4 份网袋样品分别埋放在各样点,埋放深度为 0 ~ 2 cm。4 树种各 24 袋枯叶埋放在阔叶混交林和湿地松纯林两种生境下。埋土后第 90、180、270 天和 360 天,在各样点每树种取一网袋样品于实验室分析。

1.2.3 样品分解速度测定和养分分析

取回的样品清除草根和泥沙并用去离子水快速漂洗、风干,放置于 60℃ 下烘干至恒重,测干重并计算出枯叶的失重率,求得其分解速率。

埋放前的枯叶和每次取回的枯叶通过烘干后粉碎,测定它们中养分元素的含量,其中 N、P、K 用 H_2SO_4 - $HClO_4$ 煮煮法制备,N 用扩散法测定,P 用钼锑抗比色法测定,K 用火焰光度法测定,Ca、Mg 用干烧法灰化、原子吸收分光光度法测定,B 用黄姜素比色法^[15]。

1.2.4 分解速率和模型

凋落物分解速率:

$$D_{WT} = (\Delta W / W_0) \times 100\%$$

式中, D_{WT} 为分解速率, ΔW 为各次所取样品的失重率(g), W_0 为最初埋放时分解袋内样品重量(g)。

凋落物分解系数(K)采用 Olson 指数方程进行计算^[16]:

$$x/x_0 = \exp(-Kt)$$

式中, x 为分解 t 时间后干重, x_0 为分解初始干重, K 为分解系数, t 为分解时间。

2 结果与分析

2.1 两种人工林下 4 个树种枯落叶干物质的分解速率与模型

比较 4 个树种在两个人工林群落中的枯落叶干物质的分解情况,其变化趋势基本相似,樟树干物质分解速度最快,米老排次之,火力楠第三,黎蒴最慢(图 1),但它们在混交阔叶林和湿地松林中的分解速度存在差异,樟树、米老排、火力楠和黎蒴枯落叶在混交阔叶林中干物质分解速率分别为 60.9%、56.4%、49.9% 和 35.4%,它们在湿地松纯林中分解速率依此为 46.1%、42.8%、37.3% 和 26.6%(图 1)。

应用 Olsen^[16]指数方程模拟凋落物分解过程。由表 2 可知,4 种枯落叶在两种林地中分解模型的决定系数均很高($R^2 > 0.9$, $P < 0.05$),拟合效果好。4 种枯落叶的分解系数(K)在混交阔叶林中均大于湿地松纯林,且在两林地中均表现为樟树 > 米老排 > 火力楠 > 黎蒴。以分解 50% 所需时间计,米老排和樟树枯落叶在混交林中分解所需时间小于 1a,在湿地松纯林中小于 1.5a,而火力楠和黎蒴枯落叶在混交林中分解所需时间分别为 1 年和 1.58a,在湿地松纯林中分别为 1.48a 和 2.24a。以分解 95% 所需时间计,米老排和樟树在混交林中所需时间小于 4a,而在湿地松纯林中需要 5a 左右,而火力楠和黎蒴在两种林分中需要 4.3 ~ 9.7a 时间。

2.2 新枯落叶主要养分含量特点

4 个树种新枯落叶的养分含量见表 3。整体来看,樟树和米老排的枯落叶的 N、Ca、Mg 含量较高,火力楠和黎蒴枯落叶的养分含量较低。比较 4 个树种枯落叶养分含量,樟树的 N、Ca、K 和 Mg 含量最高,米老排的 B 含量最高,其它养分元素含量居中上水平;火力楠的 N、P、K 和 Mg 含量均最低;黎蒴的 Ca 和 B 含量最低。4 个树种枯落叶中各种养分元素含量顺序也不同:火力楠枯落叶中养分元素含量顺序为 N > Ca > K > P > Mg

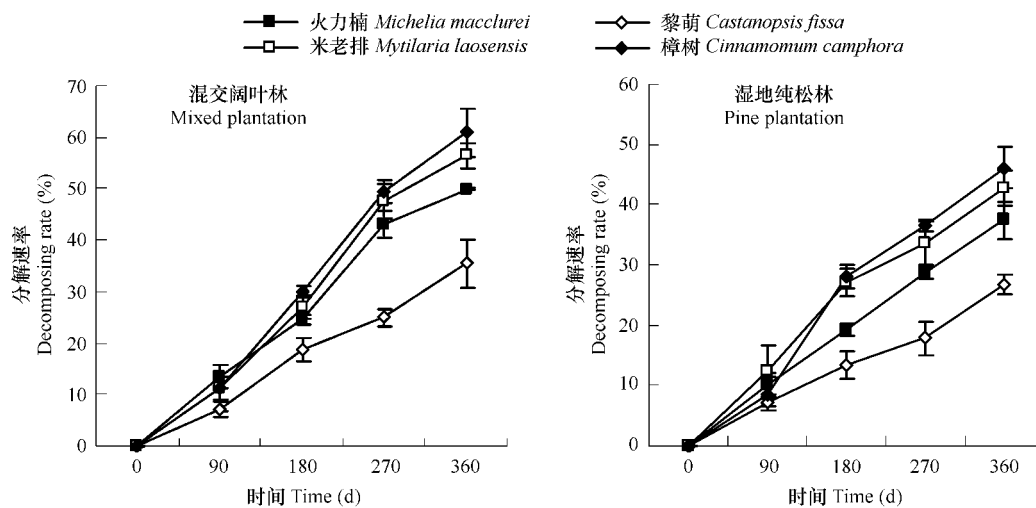


图1 两种林地4个树种枯落叶干物质变化比较

Fig. 1 Weight loss percentages of dry matter of the four species in two plantation sites

> B; 米老排和黎萌均为 $N > Ca > K > Mg > P > B$; 樟树为 $Ca > N > K > Mg > P > B$ 。

表2 两种林地4个树种枯落叶分解模型

Table 2 Litter decomposition modes of the four species in two plantation sites

试验地类型 Vegetation types	树种 Tree species	分解系数 K Decomposition coefficient K	决定系数 R^2 Determination rate R^2	分解 50% 所需 时间 (a) 50% breakdown period	分解 95% 所 需时间 (a) 95% breakdown period
混交阔叶林 Mixed plantation	火力楠 <i>Michelia macclurei</i>	0.69 ± 0.01	0.9634	1.00	4.33
	米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	0.83 ± 0.05	0.9460	0.83	3.61
	黎萌 <i>Castanopsis fissa</i>	0.44 ± 0.07	0.9707	1.58	6.28
	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	0.94 ± 0.12	0.9449	0.73	3.18
湿地松纯林 Pine plantation	火力楠 <i>Michelia macclurei</i>	0.47 ± 0.05	0.9840	1.48	6.40
	米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	0.56 ± 0.05	0.9851	1.24	5.35
	黎萌 <i>Castanopsis fissa</i>	0.31 ± 0.02	0.9753	2.24	9.69
	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	0.62 ± 0.06	0.9689	1.12	4.84

表3 4个树种新枯落叶养分含量

Table 3 Nutrient contents of fresh leaf litter of the four species

树种 Species	氮 N ($g \cdot kg^{-1}$)	磷 P ($g \cdot kg^{-1}$)	钾 K ($g \cdot kg^{-1}$)	钙 Ca ($g \cdot kg^{-1}$)	镁 Mg ($g \cdot kg^{-1}$)	硼 B ($g \cdot kg^{-1}$)
火力楠 <i>Michelia macclurei</i>	8.42	0.638	2.5	8.35	0.487	23.03
米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	11.28	0.685	3.72	10.52	1.39	30.54
黎萌 <i>Castanopsis fissa</i>	8.91	0.863	4.9	5.85	0.91	21.77
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	11.65	0.833	6.15	29.22	1.48	22.1

2.3 枯落叶分解过程中养分失重率的变化

枯落叶养分失重率反映了枯落叶养分在不同时期通过物理及生化分解过程后的归还情况。从图2和图3可见,4个树种枯落叶不同养分元素含量的变化存在较大的差异。

从N元素释放趋势来看,4个树种在两个林分中的变化趋势相似,表现为前期富积,后期释放。但在1年中,4个树种枯落叶的N元素在混交阔叶林中未见净释放,而在湿地松纯林中270d后出现净释放。在湿地松

纯林中,黎萌和樟树枯落叶 N 元素释放的时间比混交阔叶林中提前。

从 K 元素释放趋势来看,4 个树种在两个林分中的变化相似,表现为前期释放,后期富积。在 1 年中,4 个树种枯落叶在混交阔叶林中均出现 K 元素净释放,但它们在湿地松纯林中 180d 以前表现为净释放,之后才富集,并超过起始值。

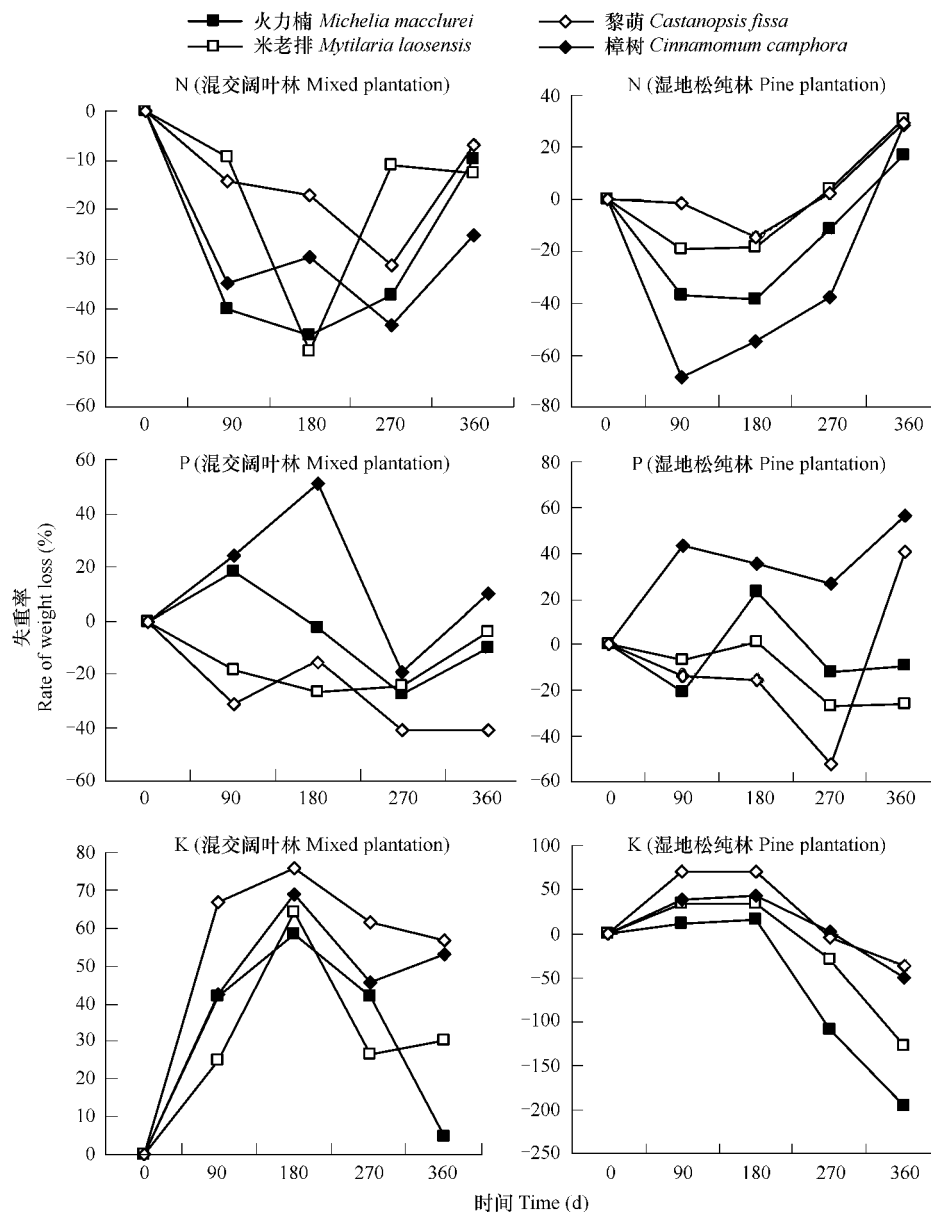


图2 两种林地 4 种枯落叶 N、P、K 素释放趋势

Fig. 2 Variations of N, P, K concentrations in leaf litter of the four species in two plantation sites

4 个树种的 P 元素释放趋势不明显。在混交阔叶林中,火力楠、黎萌枯落叶均表现为先释放,后富积,再释放,但米老排和樟树则出现先富积,后释放,再富积的趋势;火力楠和黎萌在 0~180d 出现了净释放,而米老排和樟树在 1 年中未见净释放。在湿地松纯林中,火力楠、米老排和樟树均表现为先富积、后释放、再富积、再释放现象,而黎萌则出现先释放、后富积、再释放现象;在一年中,仅米老排未出现 P 元素净释放,其余 3 个树种均出现了净释放。

与 3 种大量元素相比,4 个树种枯落叶的 Ca、Mg 和 B 元素释放的趋势在两个试验地中的变化规律较一致(图 3),既表现为先少量富积,然后再大量释放,且在 1 年的分解中,4 个树种枯落叶均出现了 Ca、Mg 和 B 元

素的净释放。

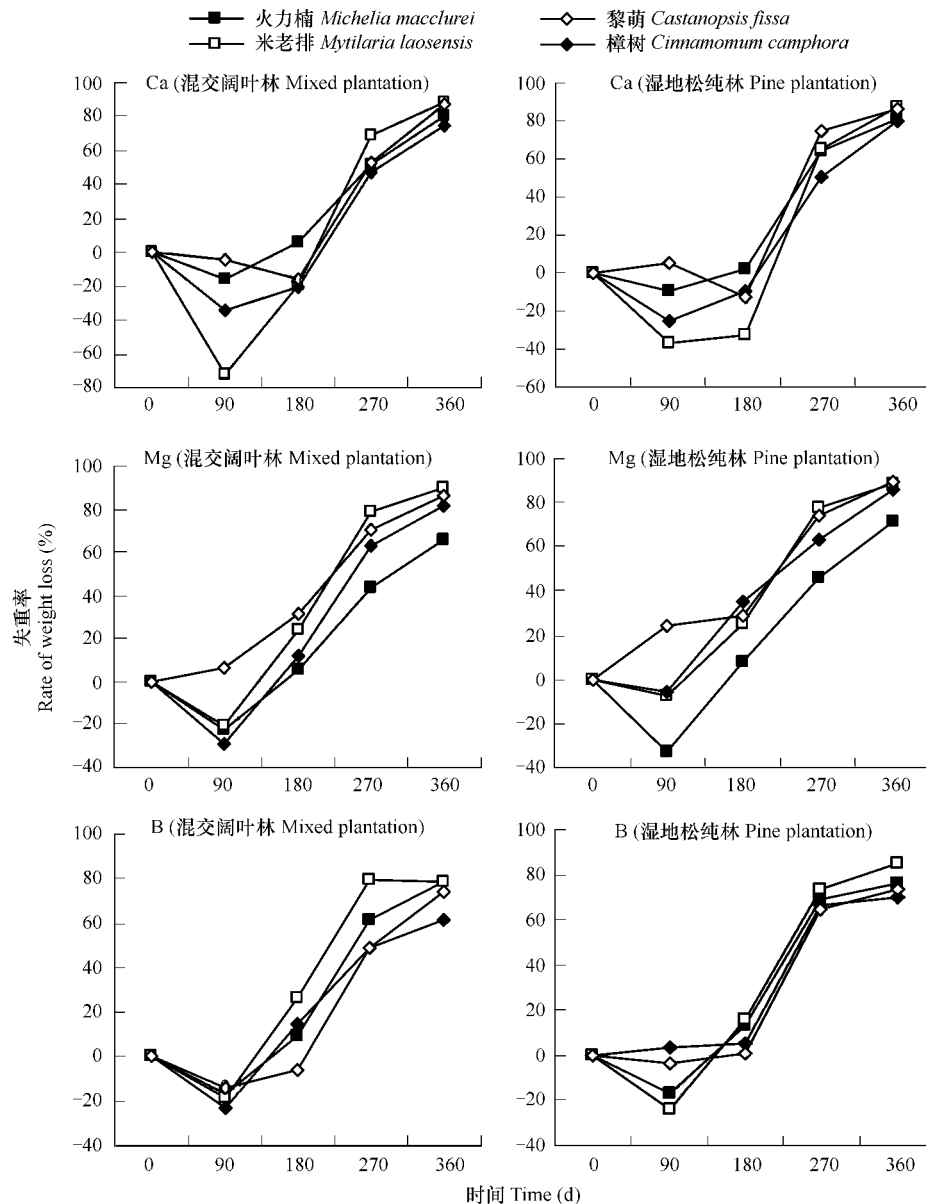


图3 两种林地4种枯落叶Ca、Mg、B素释放趋势

Fig. 3 Variations of Ca, Mg, B concentrations in leaf litter of the four species in two forest sites

3 结论与讨论

3.1 枯落物分解影响因素

枯落物在分解过程中失重率的大小主要受到生境中水、热状态、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^[17]。Otsuki等^[18]揭示了栎树阔叶林下土壤湿度和温度显著优越于刺槐纯林,阔叶林下枯落叶的分解速度较快^[18]。本研究涉及了混交阔叶人工林和湿地松人工林两种生境条件,养分分析结果显示阔叶林土壤的有机质、全氮、全磷、有效氮和有效钾含量均高于松树林土壤;而松树林表层养分含量较低,仅全钾和有效磷含量稍高于阔叶林。4种植物枯落叶分解研究结果表明它们在混交阔叶林生境中的干物质和养分分解更快,即混交阔叶林有利于枯落叶的分解和养分元素的循环,与刘文耀等报道的云南松林与常绿阔叶林枯落叶分解速率研究结果一致^[19]。微生物是枯落物的主要分解者,生境中温、湿度和土壤表层养分条件直接影响着微生物的活动。与松树纯林相比,混交阔叶林群落层次结构复杂,林下地被物和枯

枝落叶层发达,微生物和土壤动物活动较活跃,有利于枯落叶的分解。用 Olson 指数模型对枯落叶失重率结果进行拟合,效果较好。根据该模型可得 4 种枯落叶在混交林中分解 95% 所需的时间为 3 ~ 6.3a,枯落叶分解最快的树种为樟树,所需时间为 3.18a(表 2),这一结果与日本 Okinawa 岛常绿阔叶林中 4 种阔叶树种(*Castanopsis sieboldii*, *Schima wallichii*, *Elaeocarpus japonicus*, *Daphniphyllum teijsmannii*)枯落叶分解 95% 所需时间约为 2.5 ~ 4.5a 相近^[20],但长于印度亚热带天然栎树林栎树(*Quercus serrata*)枯落叶分解 95% 所需 1.27a 时间^[21];4 种枯落叶在湿地松人工林中分解 95% 所需时间明显长于混交林(4.84 ~ 9.69a)(表 2),这一结果亦长于华南亚热带杉木纯林下杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、火力楠(*Michelia macclurei*)、杉木 × 火力楠混合枯落叶分解 95% 所需的 3.02 ~ 4.22a^[22]。本研究涉及的 4 种植物的枯落叶年分解率在 26.6% ~ 60.9% 之间,低于同一气候带鼎湖山黄果厚壳桂群落凋落物和热带雨林或季雨林凋落物的大于 70.0% 年分解率^[23],但高于温带林凋落物 20% ~ 30% 的年分解率^[24],反映相同气候地带中物种凋落物分解速率比较一致的特点。由于本研究的时间年限仅为 1a,有关华南不同种类阔叶树种的更长年限分解试验还需作进一步的研究。

凋落物质量与其分解速率有密切的关系,其基本原理是:凋落物分解主要是微生物参与过程,它们在分解过程中对 N、P 等养分有较高的需求,当凋落物含这些养分较高时,微生物群落生长加快,分解也就加快^[25]。目前,普遍接受的观点是 N、P、K、Mg 等含量与分解速率成正相关,但随分解阶段的不同而变化^[26]。大量研究证实,高 N 含量凋落物分解快于低 N 含量凋落物^[20,27]。本研究检测结果揭示,樟树和米老排的枯落叶养分含量较高,尤其 N、Ca、Mg 元素含量明显高过火力楠和黎蒴(表 3);分解速率结果也显示,樟树和米老排枯落叶的分解速度在混交阔叶林和湿地松纯林下均明显快于火力楠和黎蒴枯落叶;同时,分解系数 K 值在两种林分中均表现为樟树 > 米老排 > 火力楠 > 黎蒴(表 2)。因此,本研究结果支持凋落物中较高的初始营养元素有利于加速其分解速率这个观点。黎蒴为壳斗科植物,因其生长快,具有外生菌根等优点,现已被南方各省大力推广应用,然而该种在本研究中显示枯落叶分解速率较慢。周存宇和蚁伟民同样报道了黎蒴枯落叶分解速率为 49.2%,低于南洋楹、尾叶桉、大叶相思和荷木^[14]。这可能与该种叶表面角质层有关,有些研究显示在枯落叶分解后期角质类物质与残留量成显著正相关,因角质对真菌菌丝的入侵起到阻滞作用,从而导致枯落叶分解慢^[28]。

3.2 枯落物分解养分动态

在森林凋落物的分解过程中,营养元素的迁移主要存在 3 种常见模式:(1)淋溶—富集—释放;(2)富集—释放;(3)直接释放^[29]。本研究检测了 4 个树种枯落叶的大量元素 N、P、K,常量元素 Ca、Mg,微量元素 B 在分解过程中的变化趋势,结果显示 N、P、K 变化趋势有差异,而 Ca、Mg、B 变化趋势相似。N 元素在阔叶林和松树林下表现为富集—释放,与杨树、刺槐、福建柏、杉木、云南松、滇青冈、元江栲等落叶分解结果相似^[13,19,30]。N 元素的动态变化通常受生物因素的影响较大,N 作为微生物群落生长发育的养分元素而易被微生物固定,导致分解过程中出现明显的富集作用。4 个树种枯落叶在松树林下 N 元素出现净释放,而在阔叶林下 N 元素没有净释放,Aber & Melillo 认为 N 元素富集是微生物原生质 N 含量的升高^[31],在阔叶林中土壤微生物数量多,导致 N 元素富集时间长,没有出现净释放。K 元素在阔叶混交林和松树纯林下均表现为释放—富集,K 元素通常以离子状态存在于细胞液中,迁移性强,在分解初期受淋溶流失影响较强,而在后期受林地水文特性的影响较大,因而呈现季节波动^[32]。4 个枯落叶的 K 元素在阔叶林下有净释放,但在松树林下 K 元素没有出现净释放,这可能是湿地松纯林树冠稀疏,林地易受降雨侵蚀,导致 K 元素受到的淋溶作用强,而相应富集程度低,出现净释放。P 元素动态同时受控于物理因素、生物因素和化学因素,但以生物因素的影响较强^[4],本研究中 P 元素在阔叶林和松树林下,无明显的变化规律。在一定程度上反映了 P 元素分解过程的复杂性。

Ca、Mg、B 作为植物生长过程中必需元素,在植物生长发育过程中有着重要的作用。广东地处亚热带高温多雨地区,含钙、镁矿物风化后大多淋溶耗尽,林地土壤中 Ca、Mg 含量低。据广东省土壤普查办公室调

查数据显示,B 是广东省自然土壤中最贫缺有效微量元素^[33]。因此,研究这 3 个元素在枯落叶分解过程中的动态变化,对指导华南地区退化山地的养分循环具有一定指导意义。本研究结果显示,4 个树种枯落叶的 Ca、Mg 和 B 元素均表现为分解前期少量富积,之后开始大量释放,这与卢俊培和刘汉其和杨玉盛等的研究结果相似^[13,34]。Ca、Mg、B 元素在枯落叶中多以离子态存在,在降雨的作用下,被淋洗释放到土壤中,该结果显示这 4 种阔叶树种枯落叶可为华南地区不同类型林地释放足量的 Ca、Mg、B 元素,并可加速这些元素的养分循环。

3.3 人工生态林经营管理策略

20 世纪 80 年代后期,广东省开始了应用阔叶树种套种改造针叶林结构和营造阔叶林的项目,但阔叶树种还是以外来树种为主,常见的树种有南洋楹、大叶相思和马占相思。以这些速生性阔叶树为目的树种的林分结构简单,易衰老,生态效益不高。以提高林分生态效益为目的,利用乡土阔叶树种营林于 20 世纪 90 年代中后期才受到重视。本研究结果显示,利用不同种类的乡土树种对人工纯林进行改造及营造多树种混交林,不仅可有效改善林地的小生境和土壤养分状况,而且还可提高土壤微生物的活性和功能,加速枯落物的分解,促进林地的物质循环。在树种选择上,应优先考虑初始养分元素含量高(尤其是 N 素)的种类,但目前这方面的详细研究资料缺乏,从而限制了乡土树种的广泛应用。因此,开展华南不同乡土树种的生态学研究,对华南地区人工生态林建设和发展具有重要的意义。

References:

- [1] Adams M B, Angradi T R. Decomposition and nutrient dynamics of hardwood leaf litter in the Fernow whole-watershed acidification experiment. *Forest Ecology and Management*, 1996, 83(1): 61—69.
- [2] Guo L B, Sims R E H. Litter production and nutrient return in New Zealand eucalypt short rotation forests; implications for land management. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 1999, 73(1): 93—100.
- [3] Chapin F S, Matson P A, Mooney H A. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. New York: Springer Verlag, 2002.
- [4] Laskowski R, Niklinska M and Maryanski M. The dynamics of chemical elements in forest litter. *Ecology*, 1995, 76(5): 1393—1406.
- [5] Gartner T B, Cardon Z G. Decomposition dynamics in mixed species leaf litter. *Oikos*, 2004, 104(2): 230—246.
- [6] Finzi A C, Schlesinger W H. Species control variation in litter decomposition in a pine forest exposed to elevated CO₂. *Global Change Biology*, 2002, 8(12): 1217—1229.
- [7] Gustafson F G. Decomposition of the leaves of some forest trees under field conditions. *Plant Physiology*, 1943, 18(4): 704—707.
- [8] Zhuang X Y, Huang J C and Zeng R L. Preliminary study on the sapling growth of 10 local broad-leaved tree species in South China. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2001, 17(3): 11—15.
- [9] Zhang H, Zhuang X Y, Huang Y F, *et al.* The early growth of 11 native trees on banded cleaning-up sites. *Guangxi Forestry Science*, 2003, 32(2): 77—80.
- [10] Xue L, Lai R S, Chen H Y, *et al.* Soil nutrients, microorganisms and enzyme activities of model afforestation land of ecological scenic forests in Baoan, Shenzhen. *Forest Research*, 2002, 15(2): 242—246.
- [11] Zeng S C, Su Z Y, Gu Y K, *et al.* Litterfalls of major forest stands at Baiyunshan scenic spot of Guangzhou. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 24(1): 16—19.
- [12] Liao L P, Ma Y Q, Wang S L, *et al.* Decomposition of leaf litter of Chinese fir in mixture with major associated broad-leaved plantation species. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(1): 27—33.
- [13] Yang Y S, Guo J F, Chen Y X, *et al.* Comparatively study on litter decomposition and nutrient dynamics between plantations of *Fokienia hodginsii* and *Cunninghamia lanceolata*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 140(3): 19—25.
- [14] Zhou C Y, Yi W M. Decomposition of leaf litters of different tree species. *Journal of Hubei Institute for Nationalities (Natural Science)*, 2003, 21(1): 71—75.
- [15] Department of National Forestry Criteria of PRC. *Forest Soil Analysis Methods*. Beijing: China Criteria Press, 1999.
- [16] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 1963, 44(2): 322—331.
- [17] Berg B, Berg M P, Bottner P, *et al.* Litter mass loss rates in pine forest of Europe and Eastern United States: some relationships with climate and litter quality. *Biogeochemistry*, 1993, 20(3): 127—153.
- [18] Otsuki K, Yamanaka N, Du S, *et al.* Seasonal changes of forest ecosystem in an artificial forest of *Robinia pseudoacacia* in the Loess Plateau in China. *Journal of Agricultural Meteorology*, 2005, 60(5): 613—616.
- [19] Liu W Y, Liu L H, Jing G F, *et al.* Decomposition of leaf litter in *Pinus yunnanensis* forest and evergreen broad-leaved forest in central Yunnan. *Acta Botanica Yunnanica*, 2000, 22(3): 298—306.

- [20] Alhamd L, Arakaki S, Hagihara A. Decomposition of leaf litter of four tree species in a subtropical evergreen broad-leaved forest, Okinawa Island, Japan. *Forest Ecology and Management*, 2004, 202 (1): 1–11.
- [21] Pandey R R, Sharma G, Tripathi S K, *et al.* Litterfall, litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical natural oak forest and managed plantation in northeastern India. *Forest Ecology and Management*, 2007, 240 (1): 96–104.
- [22] Wang Q K, Wang S L, Huang Y. Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. *Forest Ecology and Management*, 2007, doi:10.1016/j.foreco.2007.10.026.
- [23] Weng H, Li Z A, Tu M Z. The production and nutrient contents of litter in forests of Dinghushan Mountain. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1993, 17 (4): 299–304.
- [24] Hu S H, Chen Z L, Chen Q L, *et al.* Studies on the decomposition rates of leaf litter of several trees. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1987, 11 (2): 124–131.
- [25] Enriquez S, Duarte C M, Jensen K. Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: the importance of detritus C: N: P content. *Oecologia*, 1993, 94 (4): 457–471.
- [26] Angelis P D, Kesari S C, Giuseppe E S M. Litter quality and decomposition in a CO₂-enriched Mediterranean forest ecosystem. *Plant Soil*, 2000, 224 (1): 31–41.
- [27] Mfilinge P L, Atta N, Tsuchiya M. Nutrient dynamics and leaf litter decomposition in a subtropical mangrove forest at Oura Bay, Okinawa, Japan. *Trees*, 2002, 16 (2-3): 172–180.
- [28] Gallardo A, Merino J. Leaf decomposition in two Mediterranean ecosystems of Southwest Spain: influence of substrate quality. *Ecology*, 1993, 74 (1): 152–161.
- [29] Li S L, Chen Y L. Decomposition and nutrient return of the leaf litter under the pure and mixed plantation of *Juglans mandshrica* and *Larix gmelinii*. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2004, 28 (5): 59–62.
- [30] Jia L M, Fang L M, Hu Y J. Decomposition of leaf litter in pure and mixed stands of poplar and black locust. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9 (5): 463–467.
- [31] Aber J D, Melillo J M. Litter decomposition: measuring relative contributions of organic matter and nitrogen to forest soils. *Canadian Journal of Botany*, 1980, 58: 416–421.
- [32] Osono T, Takeda H. Potassium, calcium and magnesium dynamics during litter decomposition in a cool temperate forest. *Journal of Forestry Research*, 2004, 9 (1): 23–31.
- [33] The office of soil survey of Guangdong Province. *Soil of Guangdong Province*. Beijing: Science Press, 1993. 490–506.
- [34] Lu J P, Liu Q H. Research in decomposition process of the fallen leaves in the tropical forests at Jianfengling, Hainan Island. *Forest Research*, 1989, 2 (1): 25–33.

参考文献:

- [8] 庄雪影, 黄坚城, 甄荣乐. 10 种乡土阔叶树种造林效果初报. *广东林业科技*, 2001, 17 (3): 11–15.
- [9] 张浩, 庄雪影, 黄永芳, 等. 11 种乡土树种在带状清理林地的早期生长. *广西林业科学*, 2003, 32 (2): 77–80.
- [10] 薛立, 赖日石, 陈红跃, 等. 深圳宝安区生态风景林典型造林地土壤养分、微生物和酶活性的研究. *林业科学研究*, 2002, 15 (2): 242–246.
- [11] 曾曙才, 苏志尧, 谢正生, 等. 广州白云山主要林分的生产力及吸碳放氧研究. *华南农业大学学报(自然科学版)*, 2003, 24 (1): 16–19.
- [12] 廖利平, 马越强, 汪思龙, 等. 杉木与主要阔叶造林树种凋落物的混合分解. *植物生态学报*, 2000, 24 (1): 27–33.
- [13] 杨玉盛, 郭剑芬, 陈银秀, 等. 福建柏和杉木人工林凋落物分解及养分动态的比较. *林业科学*, 2004, 140 (3): 19–25.
- [14] 周存宇, 蚁伟民. 几种树种落叶分解的研究. *湖北民族学院学报(自然科学版)*, 2003, 21 (1): 71–75.
- [15] 中华人民共和国林业行业标准. *森林土壤分析方法*. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [19] 刘文耀, 刘伦辉, 荆桂芬, 等. 云南松林与常绿阔叶林中枯落叶分解研究. *云南植物研究*, 2000, 22 (3): 298–306.
- [23] 翁轰, 李志安, 屠梦照. 鼎湖山黄果厚壳桂群落凋落物量和营养元素. *植物生态学与地植物学学报*, 1993, 17 (4): 299–304.
- [24] 胡肆慧, 陈灵芝, 陈清朗, 等. 几种树木叶子分解速率的试验研究. *植物生态学与地植物学学报*, 1987, 11 (2): 124–131.
- [29] 李淑兰, 陈永亮. 不同落叶林林下凋落物的分解与养分归还. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2004, 28 (5): 59–62.
- [30] 贾黎明, 方陆明, 胡延杰. 杨树刺槐混交林及纯林枯落叶分解. *应用生态学报*, 1998, 9 (5): 463–467.
- [33] 广东省土壤普查办公室. *广东土壤*. 北京: 科学出版社, 1993, 490–506.
- [34] 卢俊培, 刘其汉. 海南岛尖峰热带林凋落叶分解过程研究. *林业科学研究*, 1989, 2 (1): 25–33.