

中国西南季风常绿阔叶林不同恢复阶段凋落物动态分析

王梦君¹, 刘万德^{2*}, 徐崇华³

(1 国家林业局昆明勘察设计院, 昆明 650216; 2 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 昆明 650224; 3 云南太阳河省级自然保护区管理局, 云南普洱 665000)

摘要:为探索季风常绿阔叶林不同恢复阶段群落凋落物产量及其动态变化规律,于云南普洱地区通过设置凋落物承接网并定期收集网内的凋落物,对中国西南季风常绿阔叶林区不同恢复阶段群落凋落物产量及其动态变化进行研究。结果表明:(1)不同恢复阶段季风常绿阔叶林年凋落物总量在 8 133.1~8 798.3 kg/hm² 之间,年凋落物总量大小关系为恢复 30 年群落<老龄林群落<恢复 40 年群落。其中叶凋落量最高,其次为枝凋落量,两者贡献量超过总凋落量的 3/4。(2)季风常绿阔叶林不同恢复阶段群落中凋落物随时间的动态变化趋势大致相同,2 月份达到高峰值,随后逐渐减少,在 9 月份降至最低,随后又有所升高,为单峰或多峰曲线;在不同凋落物组分凋落量时间动态上,不同恢复阶段群落叶凋落量随月份变化均为单峰曲线;枝凋落量在恢复群落中为单峰曲线,而在老龄林中则为多峰曲线;皮凋落量随月份的变化在恢复 30 年及老龄林群落间均为单峰曲线,但在恢复 40 年群落中为平缓曲线,月份间变化不大;繁殖体凋落物在恢复 30 年及老龄林群落间均为多峰曲线,但在恢复 40 年群落中为单峰曲线;半分解物凋落量在恢复 30 年及老龄林群落中随月份呈单峰曲线,在恢复 40 年群落中则为多峰曲线。(3)在短刺栲、刺栲和红木荷 3 种优势物种中,短刺栲叶片年凋落量在所有群落中均最大(分别占恢复 30 年群落的 53.93%、恢复 40 年群落的 47.83%、老龄林的 28.32%),红木荷次之(分别占恢复 30 年群落的 8.45%、恢复 40 年群落的 10.71%、老龄林的 31.69%),刺栲最少(分别占恢复 30 年群落的 6.1%、恢复 40 年群落的 7.53%、老龄林的 6.36%)。短刺栲叶凋落量随月份的变化在恢复群落中呈单峰曲线,而在老龄林中则呈现多峰曲线;红木荷在 3 种群落中则均为单峰曲线;刺栲则是在恢复 30 年及老龄林中呈单峰曲线,而在恢复 40 年群落中呈多峰曲线。

关键词:凋落物;组分;物种丰富度;优势物种;季风常绿阔叶林

中图分类号: Q945.17⁺4

文献标志码: A

Litter Dynamic Changes of Community of Monsoon Broad-leaved Evergreen Forest in Different Restoration Stages in Southwest China

WANG Mengjun¹, LIU Wande^{2*}, XU Chonghua³

(1 Kunming Survey & Design Institute of State Forestry Administration, Kunming, 650216, China; 2 Research Institute of Resources Insect, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China; 3 Yunnan Taiyanghe Nature Reserve Administration, Pu'er, Yunnan 665000, China)

Abstract: In order to exploring litter yield and dynamic changes of monsoon evergreen broad-leaved forest, we set collecting nets to gather litter at regular intervals in different restoration stages and analyzed litter

收稿日期: 2013-10-22; 修改稿收到日期: 2013-12-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(31200461, 31370592)

作者简介: 王梦君(1981—), 女, 高级工程师, 博士, 主要从事恢复生态学、自然保护区规划与保护研究工作。E-mail: mengjunwang@126.com

* 通信作者: 刘万德, 副研究员, 博士, 主要从事恢复生态学、功能生态学、生物多样性保育研究。E-mail: liuwande@126.com

yield. The results showed that: (1) The annual litter yield was between 8 133.1 and 8 798.3 kg/hm² in different restoration stages of the communities, and the annual litter yield from high to low is 30a community < old growth forest < 40a community. We also found that leaf litter is the highest in litter compositions, the next is branch litter, the contribution of leaf and branch litter is more than three-quarters. (2) The dynamic trends of litter with time were approximately consistent in different restoration stages for monsoon evergreen broad-leaved forest. The highest appeared at February, and it was decreased with time; the lowest appeared at September, and it was increased with time. The unimodal curve and polymodal curve were the main forms for litter changing with time. For different litter compositions, the main form of leaf litter with time was unimodal curve, the branch letter was also unimodal curve for restoration communities, but it was polymodal curve for old growth forest. The main form of bark litter with time was unimodal curve in 30a community and old growth forest, but it was the smooth curve and there was no difference among different months; the form of propagule with time was polymodal curve for 30a community and old growth forest, but it was unimodal curve for 40a community; the main form of half decompose with time was unimodal curve for 30a community and old growth forest, but it was polymodal curve for 40a community. (3) For three dominant species, *Castanopsis echidnocarpa*, *Castanopsis hystrix*, and *Schima wallichii*, the highest annual leaf litter was the *C. echidnocarpa* for all communities (53.93% for 30a community, 47.83% for 40a community and 28.32% in old growth forest), the second was *S. wallichii* (8.45% for 30a community, 10.71% for 40a community and 31.69% for old growth forest), the lowest was the *C. hystrix* (6.1% for 30a community, 7.53% for 40a community and 6.36% for old growth forest). The leaf litter dynamic change of *C. echidnocarpa* was unimodal curve for restoration communities, but it was polymodal curve for old growth forest; the form of leaf litter of *S. wallichii* was unimodal curve for all communities; the leaf litter dynamic change of *C. hystrix* was unimodal curve for 30a community and old growth forest, but it was polymodal curve for 40a community.

Key words: litter; component; species richness; dominant species; monsoon evergreen broad-leaved forest

凋落物是森林生态系统的一种重要结构和功能单元,是林地有机质的主要物质库和维持土壤肥力的基础,是物质循环和能量流动的重要环节,具有不可替代的生态学作用^[1-3]。研究表明,多数生态系统中植物所吸收的养分都来自于植被凋落残体归还给土壤的养分再循环^[4]。作为“植物-凋落物-土壤”森林生态系统养分循环中的“纽带”^[5-6],凋落物及其物质分解在森林生态系统的养分循环中占有极其重要的地位^[7],是森林生态系统得以维持的重要因素^[8]。凋落物是养分基本载体^[9],是植物和微生物所需养分的主要来源,并对森林生态系统中的土壤^[10-13]、水文^[14-15]、微环境^[16]等具有重要作用,使得森林凋落物成为森林生态学、森林土壤学、森林水文学、生物地球化学、环境化学等学科的重要研究内容^[6],越来越引起林学家、生态学家、微生物学家、土壤学家以及森林经营工作者的重视。

近年来,相关研究人员将森林凋落物放在全球气候变暖大背景下来进行研究,非常重视凋落物在碳循环和营养元素循环中所起的作用、凋落物分解和土壤微生物活动释放的 CO₂ 对温室效应的贡献^[17]及全球气候变暖对凋落物动态的影响等^[18-19]。

由于针对对普洱季风常绿阔叶林恢复群落凋落物的研究还未见报道。本研究针对这种现状,通过对普洱季风常绿阔叶林演替系列中 3 种群落类型进行为期 12 个月的凋落物动态研究,探讨普洱季风常绿阔叶林演替植被的凋落物产量、组成特征及其月份动态变化,为阐明该地区物质循环过程提供科学依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于云南省中南部的普洱市,地理位置为 22°02'~24°50'N, 99°09'~102°19'E, 海拔 317~3 370 m。该区地处热带北缘向亚热带过渡的地区,气候主要受印度洋及太平洋季风控制,形成夏秋季多雨、冬春季干旱、年温差小、日温差大、干湿季明显的气候特征。该地区年平均气温 17.7℃, 年均降雨量 1 547.6 mm, 雨水主要集中在 5~10 月, 占全年降雨量的 87.3%, 年平均蒸发量 1 590 mm, 相对湿度 82%。土壤以赤红壤为主。

中国西南季风常绿阔叶林是中国最复杂、生产力最高、生物多样性最丰富的地带性植被类型之一,对保护环境和维持全球碳平衡等都具有极重要的作

用。但由于人类干扰活动的长期破坏,原生的季风常绿阔叶林分布面积日益缩减,分布范围缩小,森林质量下降,导致群落结构简单、功能衰退、外来种侵入、大量物种濒临灭绝甚至消失、生态环境恶化、调节气候及储藏养分能力弱、土壤退化和肥力下降、病虫害频繁等等一系列问题,季风常绿阔叶林严重退化所造成的生态破坏业已影响经济的可持续发展,威胁到群众的生命和财产安全。近年来,随着各种森林保护措施出台,森林得以不断恢复,形成了不同演替时间的季风常绿阔叶林群落^[20]。该区植被乔木主要以短刺栲(*Castanopsis echidnocarpa*)、刺栲(*Castanopsis hystrix*)、红木荷(*Schima wallichii*)等为优势树种;灌木则以珍珠伞(*Ardisia maculosa*)、小叶干花豆(*Fordia microphylla*)等为主;草本多为毛果珍珠茅(*Scleria herbecarpa*)及蕨类(Pteridophyta)等;同时群落中乔木的树干和林冠上附生有蕨类和兰科(Orchidaceae)植物,此外,板根现象和层间植物是该地区季风常绿阔叶林的一个重要特征。

1.2 数据收集

选择季风常绿阔叶林干扰(采伐)后自然恢复30年及40年群落、并以原始林群落为对照设置调查样地。样地面积为30 m×30 m,每个恢复时间群落设置3个重复,共设置调查样地9块。样地调查方法按照生态学常规方法进行。样地调查结束后,在每个样地中安置6个凋落物承接网,承接网面积为1 m×1 m,距地面高度为0.5 m,凋落物承接网在样地内均匀分布。共设置54个凋落物承接网。凋落物承接网设置后于当月月末将承接网内所有凋落物清除,并于次月月末开始定期收集承接网内的凋落物。收集时间为每个月的29和30两日(2月份收集时间为27和28日收集),共收集12次,即收集一年的凋落物。

凋落物收集后带回实验室,在实验室内按照叶、枝、繁殖体(种子和花)、树皮、半分解物(主要为碎叶、碎枝、木屑、昆虫粪便等)进行区分,同时对叶片进行物种鉴别,将每个组分(叶片是按照物种划分)利用废旧报纸包起,并在报纸表面标明样地号、承接网号、物种名称或组分名称、取样时间等信息。将包好的凋落物放入烘箱内,在85℃条件下烘干至恒重,待冷却后进行称量。

1.3 数据处理与分析

将同一样地内12个月收集到的所有凋落物重量之和作为该样地年凋落量(单位转化为kg/hm²),

同一群落类型3个重复样地的平均值作为该群落类型年平均凋落量。同时,将凋落物按照叶片、枝、皮、繁殖体、半分解物等组分进行分别统计不同群落类型各组分年凋落量。

不同恢复阶段季风常绿阔叶林凋落物动态统计过程中,按照叶片、枝、皮、繁殖体、半分解物等组分及总凋落量按照月份进行统计每个样地凋落量,将同一类型群落所有重复样地月凋落量取平均值后,以时间作为横轴,月凋落量作为纵轴,做折线图分析凋落量随时间的动态变化规律。

根据凋落物叶片物种鉴定结果,统计不同恢复阶段季风常绿阔叶林凋落物叶片物种组成情况,并同时统计不同月份凋落物叶片物种组成情况,分析凋落物叶片物种组成随时间的动态变化。

根据凋落物中不同物种叶片凋落量所占总叶片凋落量的比重及本地季风常绿阔叶林物种组成及其优势情况,确定优势物种(本文为短刺栲、刺栲、红木荷),统计优势物种凋落量及其随时间的动态变化。

文中所有数据均在SPSS 19.0软件中进行统计分析。不同恢复阶段季风常绿阔叶林凋落量、不同组分凋落量之间的比较采用单因素方差分析(One-Way Anova),当统计数据方差具有齐性时,选择LSD(Least Significant Difference)进行比较;当统计数据方差不具有齐性时,将数据进行ln转换后再进行比较。凋落量及优势物种凋落量随时间的动态分析采用多重比较,并利用SigmaPlot进行绘图。差异显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同恢复阶段季风常绿阔叶林年凋落量

不同恢复阶段季风常绿阔叶林年凋落物总量在8 133.1~8 798.3 kg/hm²之间,年凋落物总量大小关系为恢复30年群落<老龄林群落<恢复40年群落,但彼此之间没有显著性差异(表1),表明该地区季风常绿阔叶林凋落量在演替30年后,年凋落量与恢复时间没有明显的相关性。

不同凋落物组分间对凋落物总量的贡献存在显著性差异。在3种群落类型中,叶凋落物数量均是最高,分别占恢复30年群落、40年群落及老龄林群落的60.3%、66.2%及61.9%,均超过总凋落量的一半。贡献量排在第二位的是枝,分别占恢复30年群落、40年群落及老龄林群落的15.2%、17.7%及21.8%。可见,叶、枝总贡献量超过了凋落物总量的3/4。在恢复30年的群落中,半分解物年总凋落量

表 1 不同恢复阶段群落年凋落量

Table 1 Annual litter quantity in communities of different restoration stages(mean±SE)

凋落物组分 Litter component	30 年 30 year/(kg/hm ²)	40 年 40 year/(kg/hm ²)	老龄林 Old growth forest/(kg/hm ²)
叶片 Leaf	4 904.5±597.3a	5 824.6±202.9a	5 295.6±303.8a
枝条 Branch	1 236.5±160.9a	1 556.4±44.1ab	1 859.9±250.7b
树皮 Bark	706.9±592.6a	251.0±26.3a	143.6±66.0a
繁殖体 Propagule	771.6±130.6a	516.4±150.2a	559.7±224.7a
半分解物 Half decomposition	513.4±96.6a	649.9±56.9a	684.0±75.6a
合计 Total	8 133.1±642.4a	8 798.3±294.6a	8 542.8±663.6a

仅为 513.4 kg/hm²,为所有组分中最低,但在恢复 40 年及老龄林群落中,树皮年凋落量为最低值。叶片与枝在凋落物中所占比例较高这一结果与其它相关研究结果相同,表明二者是凋落物中最主要的组分,其大小影响凋落物总量的大小。

2.2 不同恢复阶段季风常绿阔叶林凋落量的动态变化

季风常绿阔叶林不同恢复阶段群落中凋落物量随时间的动态变化趋势大致相同,2 月份达到高峰值,随后逐渐减少,在 9 月份达到最低,随后又有所升高(图 1,A)。尽管是不同恢复阶段的群落,但由于所在区域相同,气象条件、物候特征等相似,导致凋落物随时间的动态趋势大致相同。

恢复 30 年群落与总趋势一致,2 月达到最高值后逐渐降低。恢复 40 年群落则存在 2 个峰值,分别为 2 月份和 4 月份,4 月以后呈逐渐降低趋势。老龄林则存在 3 个峰值,分别为 2 月份、4 月份和 8 月份,并且 2 月份和 4 月份同为最高值。不同恢复阶段群落凋落量峰值数量不同可能与群落物种组成存在密切关系,随着群落的演替,物种组成在逐渐变化,而物种的变化影响了群落整体的物候特征,导致了凋落量峰值的变化。

2.3 不同恢复阶段季风常绿阔叶林凋落物组分动态变化

在凋落物不同组分中,叶凋落量随月份的变化在不同恢复阶段群落间变化趋势一致,均为单峰曲线,2 月份为最高值,随后逐渐降低,11 月份后又有所升高(图 1,B),这是该地区气象条件与物种物候特征共同影响的结果。在 2 月份时,恢复 40 年群落叶凋落量明显高于恢复 30 年及老龄林群落,而后两者间无显著性差异。其它月份,3 种群落间叶凋落量差异较小。

枝凋落量随月份的变化与叶凋落量不同(图 1,C)。恢复群落枝凋落量均在 4 月份最高,为单峰曲线,但老龄林群落则在 2 月、4 月、8 月存在明显的 3

个高峰值,为多峰曲线,并且在 4 月和 8 月时,其枝凋落量明显高于恢复群落(30 年和 40 年),其它月份,3 种群落间枝凋落量差异较小。

皮凋落量随月份的变化在恢复 30 年及老龄林群落间变化趋势一致,均为单峰曲线,8 月份为最高值(图 1,D),其余各月份间变化较小。但在恢复 40 年群落中,全年皮凋落量随月份变化不大,为平缓曲线。在 8 月份时,恢复 30 年群落皮凋落量明显高于恢复 40 年及老龄林群落。其它月份,3 种群落间皮凋落量差异较小。

在 3 种群落中,繁殖体随月份的变化较为剧烈(图 1,E)。恢复 30 年群落中,繁殖体凋落量高峰值分别出现在 2 月份和 6 月份,而恢复 40 年群落高峰值仅出现在 2 月份,老龄林群落高峰值则出现在 2 月份和 5 月份。

半分解物凋落量在恢复 30 年群落中随月份呈现单峰曲线形式,最高值出现在 4 月份(图 1,F)。但在恢复 40 年群落中则为多峰曲线,高峰值分别出现在 2 月份、4 月份、8 月份及 10 月份。在老龄林群落中,半分解物凋落物也呈现单峰曲线形式,最高值出现在 4 月份,而最低值则出现在 9 月份。

2.4 季风常绿阔叶林优势物种凋落量及其动态变化

根据群落调查及凋落物收集数据分析,恢复群落及老龄林群落中短刺栲、刺栲及红木荷均是最主要的凋落物种,因此,本文中优势物种选择为短刺栲、刺栲和红木荷。

短刺栲、刺栲和红木荷 3 种优势物种年叶片凋落量见表 2。3 个优势物种中,短刺栲叶片年凋落量在所有群落中均最大,红木荷次之,刺栲最少。短刺栲在恢复 30 年群落中叶片年凋落量达到 2 644.99 kg/km²,占有所有物种叶片年凋落量的 53.93%,而在恢复 40 年群落中,叶片年凋落量达到 2 786.11 kg/km²,占有所有物种叶片年凋落量的 47.83%,但在老龄林中仅为 1 499.58 kg/km²,占有所有物种叶片

年凋落量的 28.32%。红木荷在恢复 30 年群落中叶片年凋落量达到 414.58 kg/km², 占有物种叶片年凋落量的 8.45%, 而在恢复 40 年群落中, 叶片年凋落量达到 623.91 kg/km², 占有物种叶片年凋落量的 10.71%, 但在老龄林中则为 1 677.98 kg/km², 占有物种叶片年凋落量的 31.69%。刺栲在恢复 30 年群落中叶片年凋落量为 299.17 kg/km², 占有物种叶片年凋落量的 6.1%, 而在恢复 40 年群落中, 叶片年凋落量达到 438.6 kg/km², 占有物种叶片年凋落量的 7.53%, 但在老龄林中

为 336.94 kg/km², 占有物种叶片年凋落量的 6.36%。

3 种优势物种展现出不同的叶凋落量时间动态规律(图 2)。(1)对于短刺栲, 恢复 30 年及 40 年群落中叶凋落量最大值出现在 2 月份, 随后呈现出逐渐降低的趋势; 而在老龄林群落中, 叶凋落量最大值出现在 1 月份, 随后逐渐降低, 4 月份再次升高后继续逐渐降低。(2)对于红木荷, 3 种群落叶凋落量最大值均出现在 2 月份, 随后呈现出逐渐降低的趋势。在 2 月份时, 老龄林具有较高的夜凋落量, 而在其它

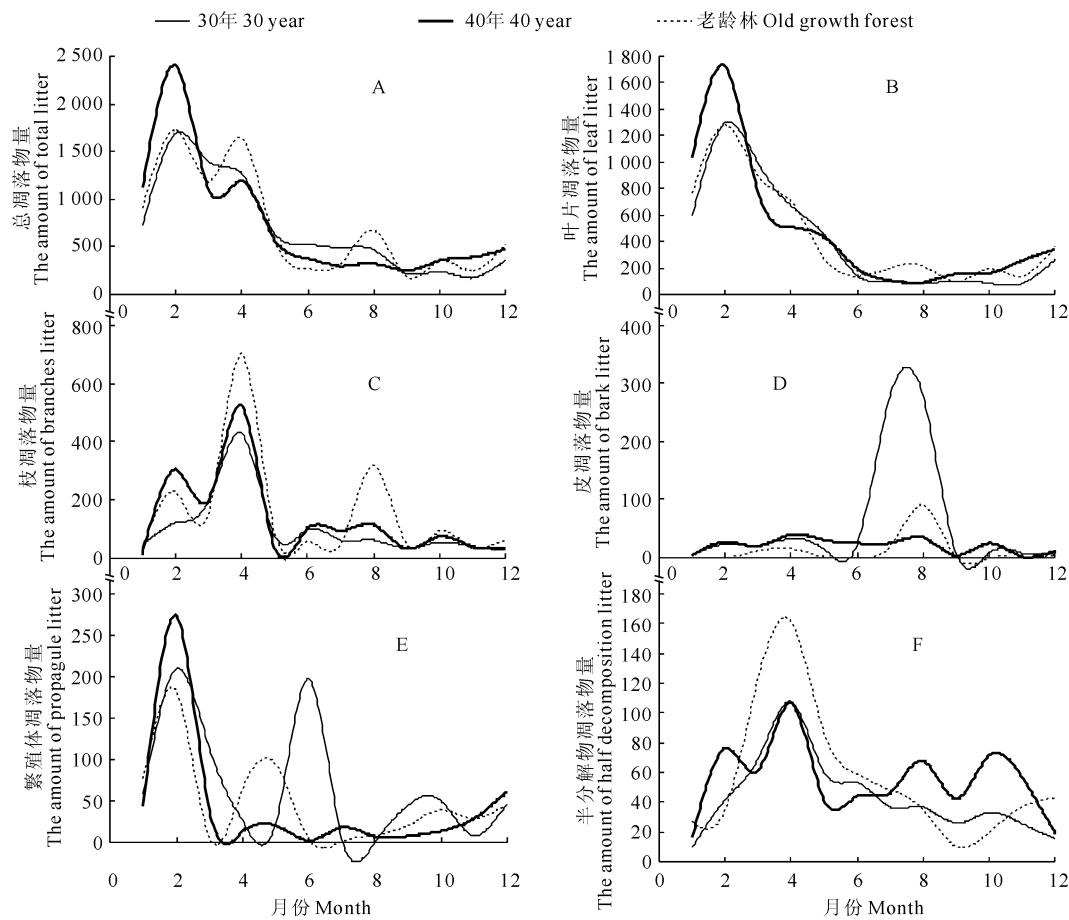


图 1 凋落物随时间的动态变化

A. 凋落物总量; B. 叶片; C. 枝; D. 皮; E. 繁殖体; F. 半分解物

Fig. 1 Dynamic changes of litter with different months

A. The annual total litter; B. Leaf litter; C. Branch litter; D. Bark litter; E. Propagule litter; F. Half decomposition litter

表 2 3 种优势物种年凋落量

Table 2 Annual litter quantity for three dominant species

恢复时间 Restoration time	短刺栲 <i>C. echidnocarpa</i> /(kg/hm ²)	刺栲 <i>C. hystrix</i> /(kg/hm ²)	红木荷 <i>S. wallichii</i> /(kg/hm ²)
30 年 30 year	2 644.99±266.36a	299.17±37.41a	414.58±88.52a
40 年 40 year	2 786.11±145.13a	438.60±56.43b	623.91±102.44a
老龄林 Old growth forest	1 499.58±98.45b	336.94±38.23a	1677.98±152.75b

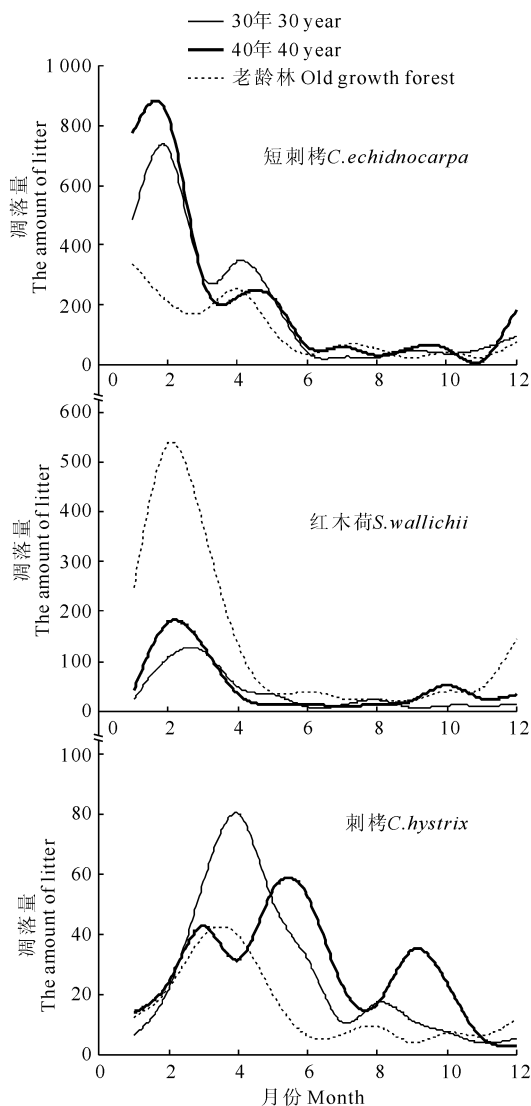


图2 3种优势物种叶凋落量随时间的动态变化
Fig. 2 Dynamic changes of leaves litter for three dominant species with different months

月份,3种群落间差异不限制。(3)对于刺栲,恢复30年群落中叶凋落量最大值出现在4月份,随后呈现出逐渐降低的趋势;而在恢复40年群落中,叶凋落量具有3个峰值,分别出现在3月、5月和9月;在老龄林中,其叶凋落量随时间动态变化与恢复30年群落相同。

3 讨论

凋落物是森林生态系统的重要组成部分,是森林生态系统功能的体现,其凋落量受植被类型、地理位置、气候等多种因素控制。不同恢复阶段季风常绿阔叶林年凋落物总量在8 133.1~8 798.3 kg/hm²之间,

低于福建木荷马尾松林(9.209 t/hm²),而高于杭州木荷常绿阔叶林(7.47 t/hm²)^[21]和鼎湖山马尾松木荷林(7.06 t/hm²)现存量^[22],比福建20年生木荷马尾松(鲜重3.91 t/hm²)和木荷黄山松林(鲜重2.67 t/hm²)^[23]大得多,但介于中亚热带常绿阔叶林(6.77~13.03 t/hm²)^[24-26]及次生常绿阔叶林(6.87~11.70 t/hm²)^[25,27]之间,这反映了凋落量受植被类型及地理位置的影响。同时,林分结构的复杂性也会影响凋落物产量。林分结构越复杂、物种多样性越高、林层越多,其凋落物产量越高。这在本文的季风常绿阔叶林凋落物产量高于福建20年生木荷马尾松和木荷黄山松林体现较为明显。

凋落物是森林的第一性生产力的重要组成部分,其动态变化在一定程度上反映了森林生态系统生物量的变化。本文研究发现3种群落总凋落量最大值均出现在2月份,这与研究区域气候有关。普洱地区在每年的11月份至次年4月份之间为旱季,植物停止生长,进行新旧器官的更替,大量凋落物主要发生在这个时段。同时,由于普洱季风常绿阔叶林主要由壳斗科和山茶科物种组成,而这两个科物种落叶主要发生于2月份(物候观测数据),从而导致该时段群落总凋落量最大。而在5~9月份为树木生长期,其产生的凋落物较少,进入10月份后,树木休眠期开始,凋落物逐渐开始产生。

在不同凋落物组分中,叶片凋落量动态变化与总凋落量变化一致,这是由于叶片是最主要的凋落物组分,总量超过了60%。枝凋落量在恢复群落与老龄林群落间的差异可能由于老龄林中大树更多,部分枯死木和枯枝的存在,在雨季风雨的作用下,导致枝凋落量在8月份出现了高峰值。皮凋落量在8月份出现高峰值则可能与树木生物学特性及枯死木和枯枝的存在有关。繁殖体的多峰曲线则与物种开花与落果的时间有关,2月份的高峰值主要是落果,而在生长季中的高峰值主要与开花有关。而半分解物凋落量的多少则与气候、病虫害等因素有关,雨季的雨量多少、持续时间、林内昆虫数量及产生的粪便多少、落叶后产生的碎叶数量均会影响半分解物凋落量的大小。

总之,森林凋落物数量大小及其动态变化是受多种因素影响,是多因素共同作用的结果。探寻森林凋落物数量大小及其动态的影响因素,对于森林经营具有重要的科技指导作用。

参考文献:

- [1] LINDSAY E A, FRENCH K. Litterfall and nitrogen cycling following invasion by *Chrysanthemoides monilifera* ssp. *rotundata* in coastal Australia[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2005, **42**(3): 556—566.
- [2] DORREPAAL E. Are plant growth-form-based classifications useful in predicting northern ecosystem carbon cycling feedbacks to climate change[J]. *Journal of Ecology*, 2007, **95**(6): 1 167—1 180.
- [3] DIDHAM R K. Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments[J]. *Oecologia*, 1998, **116**(3): 397—406.
- [4] YU G S(俞国松), WANG SH J(王世杰), RONG L(容 丽), et al. Litter dynamics of major successional communities in Maolan karst forest of China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*(植物生态学报), 2011, **35**(10): 1 019—1 028(in Chinese).
- [5] LAWRENCE D. Regional-scale variation in litter production and seasonality in tropical dry forests of southern Mexico[J]. *Biotropica*, 2005, **37**(4): 561—570.
- [6] WU CH ZH(吴承祯), HONG W(洪 伟), JIANG ZH L(姜志林), et al. Advances in research of forest litter-fall in China[J]. *Acta Agricolae Universitatis Jiangxiensis*(江西农业大学学报), 2000, **22**(3): 405—410(in Chinese).
- [7] PRASIFKA J R, LOPEZ M D, HELLMICH R L, et al. Comparison of pitfall traps and litter bags for sampling ground-dwelling arthropods[J]. *Journal of Applied Entomology*, 2007, **131**(2): 115—120.
- [8] OLSON J S. Energy storage and the balance of producers and decomposition in ecological systems[J]. *Ecology*, 1963, **44**(2): 322—333.
- [9] JOANISSE G D, BRADLEY R L, PRESTON C M, et al. Soil enzyme inhibition by condensed litter tannins may drive ecosystem structure and processes; the case of *Kalmia angustifolia*[J]. *New Phytologist*, 2007, **175**(3): 535—546.
- [10] WANG F Y(王凤友). Review on the study of forest litterfall[J]. *Advances in Ecology*(生态学进展), 1989, **6**(2): 82—89(in Chinese).
- [11] SHEN H L(沈海龙), DING B Y(丁宝永), SHEN G F(沈国舫), et al. Decomposing dynamics of several coniferous and broadleaved litters in mongolian scots pine plantation[J]. *Scientia Silvae Sinicae*(林业科学), 1996, **32**(5): 393—402(in Chinese).
- [12] DE DEYN G B, CORNELISSEN J H C, BARDGETT R D. Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes[J]. *Ecology Letters*, 2008, **11**(5): 516—531.
- [13] GERDOL R, PETRAGLIA A, BRAGAZZA L, et al. Nitrogen deposition interacts with climate in affecting production and decomposition rates in Sphagnum mosses[J]. *Global Change Biology*, 2007, **13**(8): 1 810—1 821.
- [14] CHEN Y SH(陈玉生), ZHANG ZH W(张卓文), HAN L(韩 兰), et al. Studies on the characteristics of water absorption for litter form on different type forest ground surface at Lianxiahe watershed[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*(华中农业大学学报), 2005, **24**(2): 207—212(in Chinese).
- [15] XUE L(薛 立), HE Y J(何跃君), QU M(屈 明), et al. Water holding characteristics of litter in plantations in south China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 2005, **29**(3): 415—421(in Chinese).
- [16] TIAN M J(田茂洁). Decomposition and nutrient release of pure *Cupressus* forest litter in Sichuan Basin[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2005, **24**(10): 1 147—1 150(in Chinese).
- [17] WU Y Q(吴雅琼), LIU G H(刘国华), FU B J(傅伯杰), et al. Soil CO₂ efflux of forest ecosystem in China: distribution and controlling factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2007, **27**(5): 2 126—2 135(in Chinese).
- [18] SONG X ZH(宋新章), JIANG H(江 洪), ZHANG H L(张慧玲), et al. A review on the effects of global environment change on litter decomposition[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2008, **28**(9): 4 414—4 423(in Chinese).
- [19] PENG SH L(彭少麟), LIU Q(刘 强). The dynamics of forest litter and its responses to global warming[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2002, **22**(9): 1 534—1 544(in Chinese).
- [20] LIU W D(刘万德), SU J R(苏建荣), ZHANG ZH J(张志均), et al. Effect of restoration strategy and time on community characteristic of monsoon evergreen broad-leaved forest[J]. *Forest Research*(林业科学研究), 2011, **24**(1): 1—7(in Chinese).
- [21] YU Y W(俞益武), WU J S(吴家森). Dynamics and decomposition characteristics of litter of evergreen broad-leaved forest with *Schima superba*[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*(水土保持学报), 2004, **18**(2): 63—65(in Chinese).
- [22] FANG Y T(方运霆), MO J M(莫江明), HUANG ZH L(黄忠良), et al. Carbon accumulation and distribution in *Pinus massoniana* and *Schima superba* mixed forest ecosystem in Dinghushan Biosphere Reserve[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*(热带亚热带植物学报), 2003, **11**(1): 47—52(in Chinese).
- [23] LIU Q(刘 钦). A study on water conservation function of mixed forest of *Schima superba* plantation[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University*(福建农林大学学报·自然科学版), 2004, **33**(4): 481—484(in Chinese).
- [24] LIU W Y(刘文耀), XIE SH CH(谢寿昌), XIE K J(谢克金), et al. Preliminary studies on the litterfall and coarse woody debris in mid mountain humid evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains[J]. *Journal of Integrative Plant Biology*(植物学报), 1995, **37**(10): 807—814(in Chinese).
- [25] YAN E R(阎恩荣), WANG X H(王希华), ZHOU W(周 武). Characteristics of litterfall in relation to soil nutrients in mature and degraded evergreen broad-leaved forests of Tiantong, East China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*(植物生态学报), 2008, **32**(1): 1—12(in Chinese).
- [26] YANG Y SH(杨玉盛), LIN P(林 鹏), GUO J F(郭剑芬), et al. Litter production, nutrient return and leaf-litter decomposition in natural and monoculture plantation forest of *Castanopsis kawakamii* in subtropical China[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2003, **23**(7): 1 278—1 289(in Chinese).
- [27] WU ZH X(吴擢溪). Amount, component, and seasonal pattern of litterfall in secondary evergreen broad leaved forest[J]. *Journal of Mountain Science*(山地学报), 2006, **24**(2): 215—221(in Chinese).