

西双版纳橡胶林、澳洲坚果林凋落物动态

周会平, 魏丽萍, 谢江, 陈国云, 徐睿*

(云南省热带作物科学研究所, 景洪 666100)

摘要: 在中龄(定植 10 a 左右)橡胶林、老龄(定植 30 a 以上)橡胶树林和本区域种植面积较大、处于盛产期(定植 15 a 左右)的澳洲坚果林, 连续 3 年调查研究了各林型的凋落物量月动态、不同季节凋落物组分的变化, 分析了影响凋落物量动态和组分变化的多种因素。结果表明, 在凋落物量上, 中龄橡胶林 (4.76 ± 0.80) $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 显著低于老龄橡胶林 (7.80 ± 1.12) $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ($t = 5.608, P < 0.05$), 而澳洲坚果林 (7.00 ± 2.45) $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 与老龄橡胶林相当 ($t = 0.603, P = 0.608$); 在凋落节律上, “双凋落峰”为 3 个林型的共有特征, 但高峰期出现的时间有所不同; 不同林型的凋落物组成比例也有所差异, 橡胶林的凋落物总量格局主要由叶和枝凋落动态决定, 而澳洲坚果林的凋落总量格局还会受到花果凋落情况的显著影响。除了树种、年龄和品种等植物本身特性会直接影响凋落物动态, 日照、温度及湿度等气象条件也是影响凋落物量和凋落物各成分比例的重要因素。为进一步探讨橡胶林凋落物分解和养分循环研究提供了基础数据, 有助于深入了解橡胶林生态系统的结构和功能。

关键词: 橡胶林; 澳洲坚果林; 凋落物动态

中图分类号: S718.55

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)03-0422-07

Litter dynamics of rubber plantation and macadamia plantation in Xishuangbanna

ZHOU Huiping, WEI Liping, XIE Jiang, CHEN Guoyun, XU Rui

(Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong 666100)

Abstract: In a middle age (about 10 years) plantation, an elderly (more than 30 years) rubber plantation and a macadamia plantation in rich phase (about 15 years), a three-year consecutive investigation was conducted on monthly litter dynamics, seasonal change of litter composition and influencing factors. The results showed that the total amount of litter in the middle age rubber plantation (4.76 ± 0.80) $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ was obviously lower than that in the elderly rubber plantation (7.80 ± 1.12) $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ($t = 5.608, P < 0.05$), while in the macadamia plantation (7.00 ± 2.45) $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ it was approximate to the elderly rubber plantation ($t = 0.603, P = 0.608$). All the three plantations showed the litter rhythm with a “double litter peak” feature, but the time of peak occurrence was different. The composition ratio of litter varied among the three plantations. The litter pattern in rubber plantation was mainly determined by the litter amount of leaf and branch, while in macadamia plantation it was also greatly affected by the litter amount of fruits and flowers. Although the internal traits of plants itself (species, age and variety) directly affect litter dynamics, some meteorological conditions (sunshine, temperature and humidity) are also important factors influencing litter amount and composition. This study could provide basic data for the further exploration of litter decomposition and nutrient cycling in rubber plantation, and may help deeply understand the structure and function of rubber forest ecosystems.

Key words: rubber plantation; macadamia plantation; litter dynamics

西双版纳地处云南省最南端, 属北回归线以南的热带湿润区, 分布有我国最大面积的热带雨林, 拥有独特的热带气候条件和丰富的热带生物资源,

也是我国主要的橡胶 (*Hevea brasiliensis*) 种植地区之一。从 20 世纪 60 年代初期开始, 橡胶种植业迅速发展, 种植面积持续增加, 橡胶种植业的大规模

收稿日期: 2016-07-13

基金项目: 云南省热带作物科技创新体系建设专项 (RF2016) 和云南省两类人才项目 (2014HB095) 共同资助。

作者简介: 周会平, 副研究员。E-mail: pingse77@163.com

* 通信作者: 徐睿, 助理研究员。E-mail: xurui891019@163.com

快速发展对西双版纳的经济社会、生态系统和环境保护均产生了巨大的影响^[1]。近年来, 全社会的生态保护意识不断提高, 针对橡胶林的生态学研究越来越多^[2-4]。而对橡胶林生态系统结构与功能的全面调查分析是深入开展机理机制及恢复生态学等研究的基础和前提。

森林凋落物也可称为枯落物或有机碎屑, 是指森林生态系统内由生物组分产生并归还到林地表面, 作为分解者的物质和能量来源, 借以维持生态系统功能的所有有机物质总称^[5]。森林凋落物是森林生态系统功能过程的重要组成部分, 是森林生态系统中物质循环和能量流动的一个主要环节^[6], 对涵养水源、水土保持和维持土壤碳库平衡具有重要意义^[7], 而且对土壤理化性质、幼苗生长、群落初级生产力及土壤生物多样性等方面产生显著影响^[8-11], 对养分的归还和土壤微生物的生存也起着一定的作用^[12], 是森林生态系统结构与功能正常运转的关键环节。

20 世纪中期, 国内外专家和学者对世界范围内的森林凋落物进行了大量系统的研究和报道^[13-14]。我国从 20 世纪 80—90 年代开始对森林凋落物进行研究并取得了较大进展, 从多种人工林凋落物的凋落量、化学组成、分解速率、凋落物与土壤的关系、森林的自肥机制、凋落物质量、生境、生物以及气候之间的关系等多方面进行了研究^[15-24]。在橡胶林凋落物方面, 任泳红和曹敏^[25]、张敏和邹晓明^[26]对西双版纳地区季节雨林与橡胶多层林凋落物进行了动态比较及土壤碳氮比较, 缪晓乐等^[27]对橡胶林枯落物碳归还量及年释放量进行了分析, 金龙等^[28]

对橡胶凋落物林叶分解特征与有机碳动态进行了探究。而目前仍没有开展针对不同树龄的橡胶林及其与同区域内其他人工林凋落物的比较分析。

本研究利用“以空间换时间”的方法, 以中龄和老龄的橡胶人工林为研究对象, 同时以本区域种植面积较大的澳洲坚果 (*Macadamia integrifolia*) 人工林为对照, 探究不同树龄橡胶林凋落物量的月动态变化、不同季节凋落物成分的变化及其影响因素, 以探索不同树龄橡胶林的生物小循环节律。该研究可为进一步探讨橡胶林凋落物分解和养分循环规律提供基础, 对深入研究橡胶林人工生态系统的结构功能及其改善具有重要参考价值。

1 材料与方法

1.1 研究区域与研究样地概况

云南省西双版纳傣族自治州景洪市 (21°08'~22°36'N, 99°56'~101°51'E) 属北热带季风气候。一年可分为干热、湿热及雾凉 3 季, 3—5 月份为干热季, 气温较高, 雨量少; 6—10 月份为雨季, 气候湿热, 85% 的雨水集中在此期间降落; 11 月—翌年 2 月份为雾凉季, 降水量减少, 但早晚浓雾弥漫, 空气湿度较大。年均降雨量 1 557 mm, 干季 (11 月份至次年 5 月份, 包括雾凉季和干热季) 降雨 266 mm, 占年降雨的 17%; 雨季 (6—10 月份) 降雨 1 293 mm, 占年降雨的 83%, 年均相对湿度 86%。太阳年总辐射量 4 902.4 MJ·m⁻², 年日照时数 1 787.8 h。年均气温 21.5℃, 最热月 (5 月) 均温 25.3℃, 最冷月 (1 月) 均温 15.5℃。终年无霜, 土壤为砖红壤, pH 值为 6.0 左右^[29]。

表 1 3 个研究林型的样地基本信息
Table 1 Information of three study sites

林型 Forest type	样地 Site	品种 Variety	定植年份 Year	株行距 Spacing	胸径 (2013 年) DBH	林下植物 Undergrowth
老龄橡胶林 Elderly rubber plantation	云南省热作所橡胶林试验基地	GT1、云研 2775	1985	2 m×10 m	26.31±1.40 (Mean±SD)	绞股蓝 (<i>Gynostemma pentaphyllum</i>)、两耳草 (<i>Paspalum conjugatum</i>)、多脉莎草 (<i>Cyperus diffusus</i>)、飞机草 (<i>Eupatorium odorata</i>)、弓果黍 (<i>Cyrtococcum stapf</i>) 等
中龄橡胶林 Middle-age rubber plantation	云南省热作所橡胶林试验基地	云研 77-4	2005	3 m×8 m	15.65±1.91 (Mean±SD)	肾苞草 (<i>Phaulopsis oppositifolia</i>)、弓果黍、毛乌敛梅 (<i>Cayratia japonica var. mollis</i>)、黄独 (<i>Dioscorea bulbifera</i>)、葛藤 (<i>Pueraria lobata</i>) 等
澳洲坚果林 Macadamia plantation	云南省热作所景哈澳洲坚果基地	HAES344、HAES788	1998	4 m×7 m	15.11±2.47 (Mean±SD)	小蓬草 (<i>Conyza canadensis</i>)、阔叶丰花草 (<i>Borreria latifolia</i>)、升马唐 (<i>Digitaria ciliaris</i>)、藿香薹 (<i>Ageratum conyzoides</i>)、山菅兰 (<i>Dianella ensifolia</i>)、蓝花野茼蒿 (<i>Crassocephalum bulbifera</i>) 等

中龄和老龄的橡胶人工林研究样地均位于景洪市云南省热带作物科学研究所江北试验基地 (22°02'17.6"N ~ 22°02'37.2"N, 100°47'27.2"E ~ 100°47'35"E), 海拔 621~814 m; 澳洲坚果人工林研究样地位于景洪市景哈乡云南省热带作物科学研究所澳洲坚果基地 (21°48'41.3"N, 100°59'11.2"E), 海拔约 940 m (表 1)。老龄橡胶林是以 30 龄以上的高大橡胶树为唯一乔木层树种的单优人工群落, 群落高 11~12 m, 橡胶树种植密度为 495 株·hm⁻² 左右; 中龄橡胶林是以 10 龄左右、刚进入开割期的橡胶树为唯一乔木层树种的单优人工群落, 群落高 9~10 m, 种植密度为 416 株·hm⁻² 左右; 澳洲坚果林是以 15 龄左右、正处于盛产期的澳洲坚果树为唯一乔木层树种的单优人工群落, 群落高 6~7 m, 种植密度为 357 株·hm⁻² 左右。橡胶林和澳洲坚果林的林下植被主要是低矮的草本植物或 1 m 以下的小灌木。

1.2 研究方法

1.2.1 凋落物收集 在各研究地点分别选择一块面积为 50 m × 50 m、具有代表性的样地, 按随机布点法分别在 3 个样地内各设置 10 个面积为 1 m × 1 m 的凋落物收集器, 用以收集来自乔木层的凋落物。收集器是用孔径为 1.2 mm × 1.2 mm 的尼龙网和 PVC 管制成的正方形收集筐, 安放时筐底距地面高 50 cm。2012 年 1 月—2014 年 12 月共 3 年期间, 每月完全收取收集器内的凋落物, 带回实验室后分拣

为叶、枝、花果及其他杂物等组分, 称鲜重后将各组分置于 65℃ 的恒温烘箱中烘至恒重, 称干重, 计算各类凋落物单位面积生物量。

1.2.2 气象信息采集 收集云南省景洪市气象局 2012—2014 年的气象观测资料, 计算月平均气温、月平均最高气温、月平均最低气温、月极端最高气温、月极端最低气温、月降雨量、日照时数、相对湿度和月平均风速等气象参数值。

1.3 数据分析

以 Excel 和 SPSS12.0 进行数据整理与统计分析, 多重数据间的比较采用 *t*-检验进行显著性检验。对老龄和中龄橡胶林各组分凋落量与凋落物总量之间、凋落物量与气象因子之间进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 凋落物量及其动态

老龄橡胶林、中龄橡胶林及澳洲坚果林年平均凋落物总量分别为 (7.80 ± 1.12) t·hm⁻²·a⁻¹、(4.76 ± 0.80) t·hm⁻²·a⁻¹、(7.00 ± 2.45) t·hm⁻²·a⁻¹, 其中落叶占各自凋落总量的比例分别为 58.65%、73.8% 和 47.98%, 枝条比例分别为 20.96%、22.06% 和 5.3%, 果实及其他杂物成分所占比例分别为 21.06%、5.5% 和 47.17%。*t*-检验结果表明, 老龄橡胶林年凋落物量显著高于中龄橡胶林 (*t* = 5.608, *P* < 0.05), 而与澳洲坚果林的年凋落物量相当 (*t* = 0.603, *P* = 0.608)。

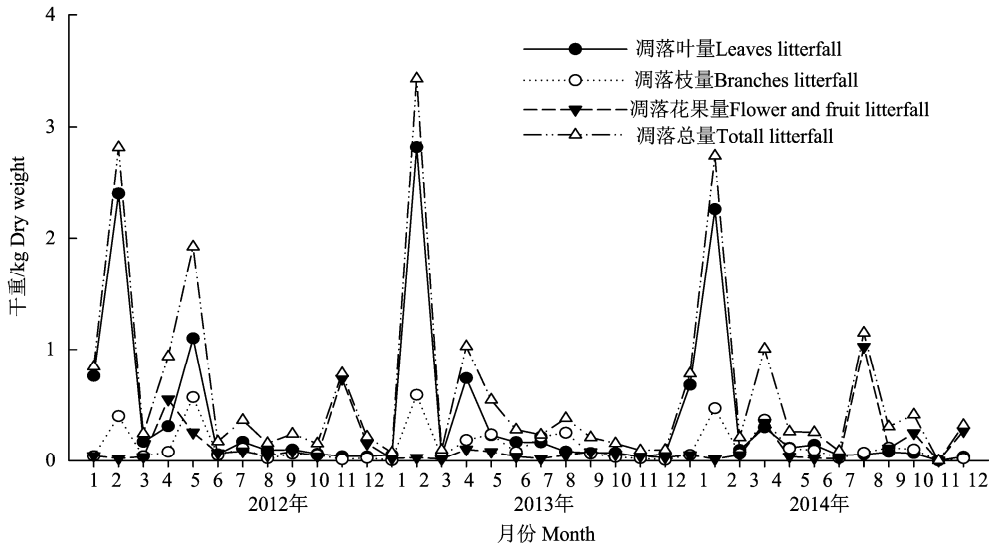


图 1 老龄橡胶林凋落物月动态

Figure 1 Month dynamics of litter in elderly rubber plantation during three study years

老龄橡胶林月平均凋落量为 (0.65 ± 0.82) t·hm⁻²·a⁻¹, 每年 1—2 月份凋落物总量最大 (如 2013

年 2 月份凋落量达到 3.44 t·hm⁻²), 4—5 月份也常常出现一个较小的凋落高峰 (图 1)。大多数月份, 凋

落物组成以落叶为主, 其次是枯枝、断枝和落花落果, 3、4 月份凋落物里含有较多的花, 8、9 月份落果较多, 遇暴风雨等极端天气会导致枯枝落叶及凋落物总量异常增加。中龄橡胶林月平均凋落量为 $(0.40 \pm 0.51) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 最高峰往往出现在 1—2 月份 (如 2012 年 2 月份达到 $2.11 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), 3、4 月份花期阶段出现一个较小的凋落高峰。凋落物组成主要是落叶, 其次是枯枝断枝, 这是因为种植的橡胶树品种云研 77-4 为不产果的三倍体。8 月份或 10 月份前后的高峰主要是由于暴风雨等异常天气导

致了落叶和枯枝断枝的异常增加 (图 2)。澳洲坚果的月平均凋落量为 $0.58 \pm 0.55 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。凋落量最高峰值一般出现在 2—3 月份 (如 2014 年 2 月份达 $2.52 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), 该时期为澳洲坚果花期, 凋落物里含有大量的落花, 其次是落叶; 在 8—10 月份凋落物量也常常出现一个较小的高峰, 主要是由于该时期为收果期, 澳洲坚果及果皮掉落较多, 收果时也会人为导致落叶量增加; 每年 11 月到次年 1 月为凋落低谷期 (图 3)。

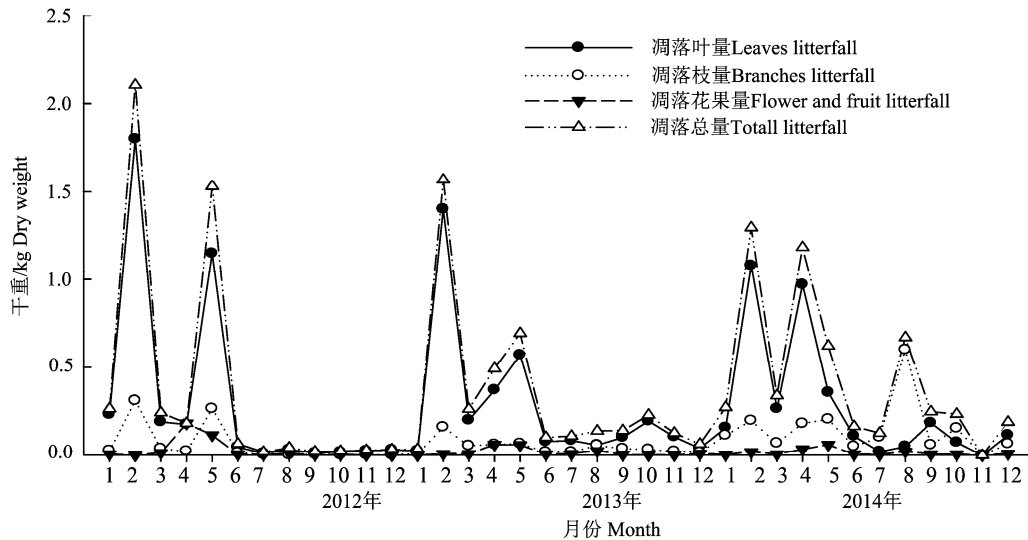


图 2 中龄橡胶林凋落物月动态

Figure 2 Monthly dynamics of litter in middle age rubber plantation during three study years

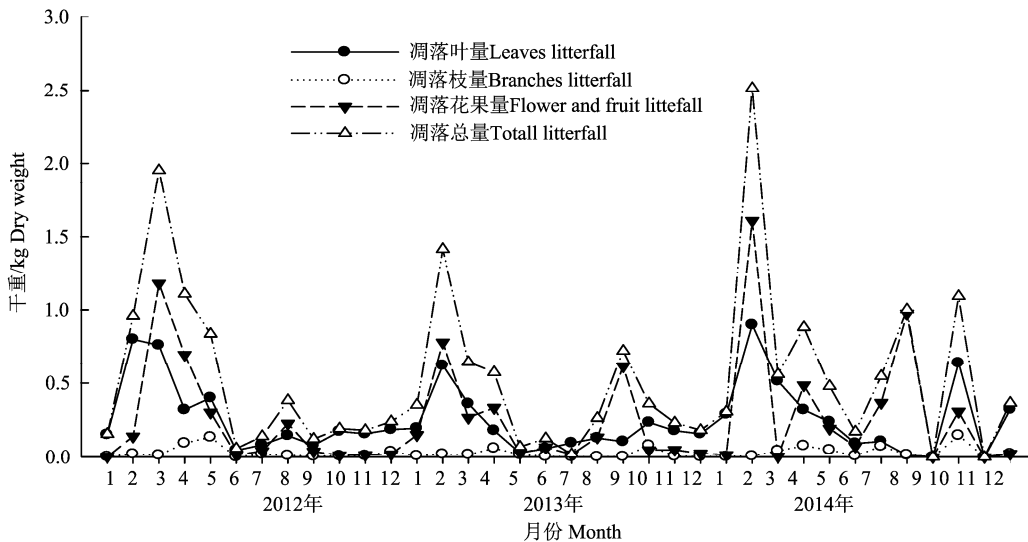


图 3 澳洲坚果林凋落物月动态

Figure 3 Monthly dynamics of litter in macadamia plantation during three study years

3 个林型在凋落节律上, 都有“双凋落峰”的共同特征, 但高峰期出现的时间与群落本身的物候学特性有关, 即橡胶林凋落最高峰期出现在每年

1—2 月份橡胶树落叶期, 澳洲坚果林凋落最高峰期出现在 3 月前后澳洲坚果开花期。凋落物组成比例因群落类型而异, 且随季节变化而变化, 橡胶林凋

落物主要由叶组成,其次为枝,花果及其他杂物最少;澳洲坚果林3月份花期前后的凋落物以落花为主,8月份果期前后以落果占较大比例,其他时期以落叶为主要组分;中龄橡胶林与老龄橡胶林不同

的是,由于种植品种为不结果实的三倍体,所以在8—9月份不会出现落果,但其开花等生物节律和凋落情况与老龄橡胶林基本一致。

表2 各林型凋落物组分相关性分析
Table 2 Correlation analysis of litter component in each plantation

林型 Forest type	组分 Component	叶 Leaf	枝 Branch	花果等 Flower and fruit	总量 Total biomass
老龄橡胶林 Elderly rubber plantation	叶 Leaf	1.00	0.80**	-0.16	0.96**
	枝 Branch	0.80**	1.00	-0.07	0.85**
	花果等 Flower and Fruit	-0.16	-0.07	1.00	0.12
	总量 Total biomass	0.96**	0.85**	0.12	1.00
中龄橡胶林 Middle-age rubber plantation	叶 Leaf	1.00	0.48**	0.21	0.98**
	枝 Branch	0.48**	1.00	0.15	0.65**
	花果等 Flower and Fruit	0.21	0.15	1.00	0.29
	总量 Total biomass	0.98**	0.65**	0.29	1.00
澳洲坚果林 Macadamia plantation	叶 Leaf	1.00	0.30	0.54**	0.81**
	枝 Branch	0.30	1.00	0.12	0.28
	花果等 Flower and fruit	0.54**	0.12	1.00	0.92**
	总量 Total biomass	0.81**	0.28	0.92**	1.00

注:“*”、“**”分别为0.05及0.01水平上的显著性差异。下同。

Note: ‘*’ and ‘**’ represent significance at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same below.

表3 橡胶林凋落物各组分与气象因子的相关性分析
Table 3 Correlation analysis between litter component and meteorological factors in rubber plantations

	气象因子 Meteorological factor	叶	枝	花果及其他	总量
		Leaf	Branch	Flower and fruit	Total biomass
老龄橡胶林 Elderly rubber plantation	月平均气温 Monthly mean temperature	-0.23	0.15	0.13	-0.14
	月平均最高气温 Monthly mean maximum temperature	0.14	0.42*	0.01	0.20
	月平均最低气温 Monthly mean minimum temperature	-0.43**	-0.05	0.17	-0.33*
	月极端最高气温 Month extreme maximum temperature	0.08	0.41*	0.09	0.17
	月极端最低气温 Month extreme minimum temperature	-0.40*	-0.04	0.17	-0.31
	月降雨量 Monthly precipitation	-0.30	-0.03	0.01	-0.26
	日照时数 Sunshine duration	0.50**	0.36*	-0.26	0.43**
	相对湿度 Relative humidity	0.49**	0.28	-0.09	0.44**
中龄橡胶林 Middle age rubber plantation	月平均气温 Monthly mean temperature	-0.07	0.12	0.34*	0.00
	月平均最高气温 Monthly mean maximum temperature	0.32	0.21	0.51**	0.36*
	月平均最低气温 Monthly mean minimum temperature	-0.31	0.03	0.15	-0.25
	月极端最高气温 Month extreme maximum temperature	0.29	0.24	0.57**	0.34*
	月极端最低气温 Month extreme minimum temperature	-0.28	0.06	0.13	-0.22
	月降雨量 Monthly precipitation	-0.30	0.01	-0.07	-0.26
	日照时数 Sunshine duration	0.56**	0.01	0.27	0.50**
	相对湿度 Relative humidity	0.58**	0.32	-0.11	0.56**
月平均风速 Monthly mean wind speed	0.14	0.06	0.39*	0.16	

2.2 凋落物不同组分的相关性

对老龄橡胶林、中龄橡胶林和澳洲坚果林各自

的凋落物组分之间进行的相关性分析表明,老龄橡胶林和中龄橡胶林均是叶、枝凋落量与总凋落物量

显著相关 ($P < 0.01$), 老龄橡胶林叶、枝凋落量和总凋落物量之间的相关系数在 0.85~0.96 之间, 中龄橡胶林叶、枝凋落量和总凋落物量之间的相关系数在 0.65~0.98 之间 (见表 2), 而老龄橡胶林和中龄橡胶林的花果凋落量均较少, 与总凋落物量的相关性均未达到显著水平。澳洲坚果林叶凋落量与总凋落物量显著相关 ($P < 0.01$), 花果及杂物的凋落量与总凋落物量也显著相关 (相关系数 0.92, $P < 0.01$)。

2.3 橡胶林凋落物各组分与气象因子的相关性

根据云南省景洪市气象局提供的气象资料, 对老龄橡胶林、中龄橡胶林各组分凋落物量与月平均气温、月平均最高气温、月平均最低气温、月极端最高气温、月极端最低气温、月降雨量、日照时数、相对湿度和月平均风速做相关性分析。结果表明温度、日照时数和相对湿度与橡胶林的凋落物量有显著相关关系 ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$)。老龄橡胶林叶凋落量与低温、日照及相对湿度相关性显著 ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$), 枝凋落量与高温和日照因素相关性显著 ($P < 0.05$); 中龄橡胶林叶凋落量枝凋落量与日照和相对湿度相关性显著 ($P < 0.01$), 花果及杂物凋落量与温度和风速具有相关性 ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$), 而枝凋落量与所分析气象因子的相关性均未达到显著水平。另外, 月降雨量与老龄橡胶林、中龄橡胶林各组分凋落物量相关性均未达显著水平, 对橡胶林凋落物量的影响较小。

3 讨论

不同森林类型的凋落物年产量往往存在显著差异^[33-34]。本研究中老龄橡胶林年凋落物总量为 $7.80 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 略低于本地区季节雨林的年凋落量 ($8.42 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), 也低于橡胶多层林凋落物量 ($9.85 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[25]; 而中龄橡胶林年凋落物总量 ($4.76 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 要低于老龄橡胶林和本地区季节雨林^[30-32]; 澳洲坚果林年凋落物总量 (7.00 ± 2.45) $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 与老龄橡胶林相当。本研究中的 3 个林型的凋落物量均表现出较明显的季节变化, 且均呈“双凋落峰”特征的凋落节律, 但不同林型凋落高峰期出现的时间有所差异。任泳红和曹敏^[25]的研究结果表明橡胶多层林的凋落节律也呈“双凋落峰”特征。

影响凋落物产量的因素主要有群落类型、优势树种生物学特性、植株密度、年龄阶段及气象因子等^[33-35]。单一橡胶林乔木层只有橡胶树, 而橡胶多层乔木层由橡胶树、木奶果和萝芙木等多个树种组

成有关, 二者的凋落物成分和凋落量均会有较大不同。橡胶树与澳洲坚果树为不同树种, 具有不同的生物学和生长特性, 老龄橡胶林和中龄橡胶林存在年龄阶段、品种和种植密度等方面的差异, 都可能会造成凋落物产量的差异。对橡胶林凋落物总量与气象因子的相关性分析表明, 温度、日照时数和相对湿度对橡胶林的凋落量有显著影响。

3 种森林类型在凋落物组成中各组分比例也存在差异。橡胶林凋落物组成中以叶和枝占主要比例, 而澳洲坚果林凋落物组成中以叶、花果等占主要比例。相关性分析表明, 老龄橡胶林和中龄橡胶林的凋落总量均与叶枝凋落量显著相关, 而与花果及杂物凋落量的相关性不显著, 表明叶和枝的凋落动态直接影响着凋落总量变化格局, 而二者之间品种及产果差异对凋落总量格局的影响并不明显。

有研究指出, 不同组分凋落物量的影响因素不同, 树叶凋落量主要受温度和森林类型的影响, 枝条凋落量主要受降水和蓄积量的影响, 而繁殖器官凋落量则与树种的繁殖特性以及年降水有关^[35]。本研究相关性分析表明, 温度、日照和湿度是影响橡胶林叶凋落量的主要气象因素。橡胶树是典型热带树种, 喜高温高湿静风环境, 在原产地亚马逊地区为常绿乔木, 无落叶现象。但在西双版纳地区, 每年 12—翌年 4 月份为低温 (最低可达 10°C 以下) 干旱期, 该季节的温度、日照和相对湿度等气象条件导致橡胶树出现了集中落叶换叶现象, 凋落物量达到最高峰, 这是橡胶树对西双版纳地区气候季节变化适应的反映。此外, 与老龄橡胶林相比, 中龄橡胶林各组分凋落量与气象因子的相关性略低, 可能是由于中龄林种植品种云研 77-4 的抗寒抗旱性较强有关。

总之, 通过连续 3 年对 3 个林型的森林凋落物动态特征调查可以看出, 树种本身的生物学或生长生产特性是决定人工林群落凋落物动态的决定因素, 林龄因素以及温度、日照及湿度等气象因素也均对其有显著影响。本研究结果为进一步开展橡胶林凋落物分解过程研究以及探明凋落物在橡胶林物质循环中所起的作用提供了基础, 有助于深入了解橡胶林生态系统的结构功能。

参考文献:

- [1] AHREND S A, HOLLINGSWORTH P M, ZIEGLER A D, et al. Current trends of rubber plantation expansion may threaten biodiversity and livelihoods[J]. *Global Environ Chang*, 2015, 34: 48-58.
- [2] 赵春梅, 蒋菊生, 曹建华. 橡胶人工林生态系统氮素循

- 环模型[J]. 林业资源管理, 2009(3): 66-70.
- [3] 李国华, 田耀华, 倪书邦, 等. 橡胶树生理生态学研究进展[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 350-358.
- [4] 金龙, 吴志祥, 杨川, 等. 不同调控措施下橡胶凋落叶分解速率研究[J]. 西南林业大学学报, 2015, 35(5): 21-26.
- [5] 王凤友. 森林凋落量研究综述[J]. 生态学进展, 1989, 6(2): 82-89.
- [6] MELILLO J M, ABER J D, MURATORE J F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics[J]. Ecology, 1982, 63(3): 621-626.
- [7] BERG B, TAMM C O. Decomposition and nutrient dynamics of litter in long-term optimum nutrition experiments: I. organic matter decomposition in *Picea abies* needle litter[J]. Scand J Forest Res, 1991, 6(1/4): 305-321.
- [8] 徐秋芳, 桂祖云. 不同林木凋落物分解对土壤性质的影响[J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(1): 27-31.
- [9] XIONG S, NILSSON C. The effects of plant litter on vegetation: a meta-analysis[J]. J Ecol, 1999, 87(6): 984-994.
- [10] CARREIRO M M, SINSABAUGH R L, REPERT D A, et al. Microbial enzyme shifts explain litter decay responses to simulated nitrogen deposition[J]. Ecology, 2000, 81(9): 2359-2365.
- [11] 陈堆金. 木荷凋落物分解及对土壤作用规律的研究[J]. 福建林业科技, 2001, 28(2): 35-38.
- [12] 张清海, 叶功富, 林益明, 等. 福建东山县赤山滨海沙地厚荚相思林与湿地松林生物量和能量的研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2005, 44(1): 123-127.
- [13] BRAY J R, GORHAM E. Litter production in forests of the world[J]. Adv Ecol Res, 1964, 2: 101-157.
- [14] EDWARDS P J, GRUBB P J. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea: I. The distribution of organic matter in the vegetation and soil[J]. J Ecol, 1977: 943-969.
- [15] 蒋有绪. 川西亚高山冷杉林枯枝落叶层的群落学作用[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1981, 5(2): 89-98.
- [16] 陈灵芝, LINDLEY D K. 英国 Hampsfell 蕨菜草地生态系统中枯叶分解作用的研究[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1982, 6(4): 302-313.
- [17] 程伯容, 许广山, 丁桂芳. 长白山主要森林生态系统的凋落物量及养分含量[J]. 森林生态系统研究, 1984, 4: 19-24.
- [18] 丁宝永, 宋斌岩, 姚玉君. 红松人工林凋落物营养元素的分析[J]. 植物研究, 1986, 6(4): 161-175.
- [19] 陈立新, 陈祥伟, 段文标. 落叶松人工林凋落物与土壤肥力变化的研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(6): 581-586.
- [20] 唐建维, 党承林. 西双版纳热带次生林生物量的初步研究[J]. 植物生态学报, 1998, 22(6): 489-498.
- [21] 邹碧, 李志安, 丁永祯, 等. 南亚热带 4 种人工林凋落物动态特征[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 715-721.
- [22] 时忠杰, 张宁南, 何常清, 等. 桉树人工林冠层, 凋落物及土壤水文生态效应[J]. 生态学报, 2010, 30(7): 1932-1939.
- [23] 周小刚, 郭胜利, 车升国, 等. 黄土高原刺槐人工林地凋落物对土壤呼吸的贡献[J]. 生态学报, 2012, 32(7): 2150-2157.
- [24] 葛晓改, 黄志霖, 程瑞梅, 等. 三峡库区马尾松人工林凋落物和根系输入对土壤理化性质的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(12): 3301-3308.
- [25] 任泳红, 曹敏. 西双版纳季节雨林与橡胶多层林凋落物动态的比较研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 418-425.
- [26] 张敏, 邹晓明. 热带季节雨林与人工橡胶林土壤碳氮比较[J]. 应用生态学报, 2009, 20(5): 1013-1019.
- [27] 缪晓乐, 蒋菊生, 王春燕, 等. 不同年龄橡胶树枯落物碳归还量及年释放量比较 [J]. 生态科学, 2012, 31(6): 625-630.
- [28] 金龙, 吴志祥, 杨川, 等. 不同林龄橡胶凋落物叶分解特性与有机碳动态研究[J]. 热带作物学报, 2015, 36(4): 698-705.
- [29] 卢华正, 沙丽清, 王君, 等. 西双版纳热带季节雨林与橡胶林土壤呼吸的季节变化[J]. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2315-2322.
- [30] 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[J]. 云南植物研究, 2000, 22(3): 298-306.
- [31] 张瑞清, 孙振钧, 王冲, 等. 西双版纳热带雨林凋落叶分解的生态过程 I. 凋落叶分解动态[J]. 植物生态学报, 2006, 30(5): 780-790.
- [32] 吴毅, 刘文耀, 沈有信, 等. 滇石林地质公园喀斯特山地天然林和人工林凋落物与死地被物的动态特征[J]. 山地学报, 2007, 25(3): 317-325.
- [33] 张新平, 王襄平, 朱彪, 等. 我国东北主要森林类型的凋落物产量及其影响因素[J]. 植物生态学报, 2008, 32(5): 1031-1040.
- [34] 徐旺明, 闫文德, 李洁冰, 等. 亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征[J]. 生态学报, 2013, 33(23): 7570-7575.
- [35] 官丽莉, 周国逸, 张德强, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林凋落物量 20 年动态研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 449-456.