

文章编号:1674-7054(2014)02-0153-09

海南岛不同森林类型凋落物产量及其影响因素

万春红 陶 楚 杨小波 黄 瑾 冯丹丹 杨 琦 周文嵩

(海南大学 热带作物种质资源保护与开发利用教育部重点实验室 海口 570228)

摘 要: 利用凋落物收集器法,对海南岛不同森林类型凋落物的产量及其组成、季节动态、影响因素进行了比较研究。结果表明:1)不同森林类型的凋落物的年凋落量及其组成不同。其中,年凋落量大小依次为山麓灌木林($6.227 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 季雨矮林($5.636 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 南亚松林($5.403 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 高山云雾林($5.305 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 山地雨林($3.753 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)。总体表现为沿海森林比中部山区森林的凋落物量大,这可能是受台风影响的结果;叶凋落量以南亚松林所占比例最高(72.26%),枝凋落量以高山云雾林所占比例最大(30.42%),繁殖器官凋落量以山麓灌木林所占比例最大(17.18%);2)不同森林类型凋落物量的季节动态不同。山麓灌木林和季雨矮林年凋落量季节动态呈双峰型,春季和秋季为凋落高峰期;山麓灌木林的叶凋落量季节动态呈双峰型,季雨矮林则仅在秋季落叶多,为单峰型;枝凋落量季节动态除山地雨林有两个高峰外,其他均呈单峰型;繁殖器官凋落量季节动态除山麓灌木林呈双峰型外,其他均呈单峰型。3)山麓灌木林凋落物年凋落量及其组分与林分特征之间无显著相关性;季雨矮林叶凋落量与林分密度显著正相关($P < 0.05$),年凋落量与林分密度显著正相关($P < 0.05$)。在铜鼓岭同一森林类型中,凋落物的年凋落量及其组分与微地形没有明显关系。

关键词: 森林凋落物;年凋落量;凋落物组成;季节动态;影响因素

中图分类号: Q 948.1

文献标志码: A

凋落物(litter),也称枯落物或有机碎屑,酒井正治等日本学者称之为枯枝落叶^[1],是指由植物地上部分产生并归还到地表的所有有机物质的总称^[2]。森林凋落物在维持土壤肥力、涵养水源、保持水土,促进森林生态系统正常的物质循环和能量循环方面起着重要作用^[3],对维持森林系统的稳定性具有十分重要的意义。1869年,Krutzsch首次对森林凋落物进行了研究,之后各国研究者纷纷展开了凋落物的研究工作,主要集中在凋落物产量、组成、时间动态及其影响因素等方面^[2,4-12]。关于海南岛凋落物的研究已有不少报道,但大多针对某一区域内的某种或几种森林类型展开^[13-18],海南岛不同森林类型之间凋落物的比较研究极缺乏。因此,笔者在海南岛选择了山麓灌木林、季雨矮林、高山云雾林、南亚松林和山地雨林5种不同的森林类型进行凋落物的比较研究。影响我国森林凋落量的主要因素有环境因子、林分特征、森林类型、树种组成等^[19]。张新平^[20]对我国东北主要森林类型凋落物的影响因素进行研究,发现在大尺度上,凋落物产量主要受气候因子影响;廖军等^[1]发现,森林类型不同,森林凋落量也不同;官丽莉等^[21]发现鼎湖山亚热带常绿阔叶林的年凋落量随着林分年龄的增长呈下降趋势;张家武^[22]研究了不同林分密度的

收稿日期:2014-04-04

基金项目: 973 计划前期研究专项“海南沿海森林植被变化对岛屿海岸带生态安全影响研究”(2010CB134512);中医药行业科研专项“海南省代表性区域中药资源保护利用”(201207002-03);国家环境保护部建设项目“铜鼓岭国家级自然保护区固定样地建设与监测”;海南岛铜鼓岭自然保护区热带季雨矮林群落结构及其组配规律研究(Hjkj2013-07);国家科技支撑计划(2012BAC18B04-3-1)

作者简介: 万春红(1988-),女,海南大学园艺园林学院 2011 级硕士研究生, E-mail: wan_chunhong@126.com

通信作者: 杨小波(1962-),男,教授,博士生导师,研究方向:森林生态学和森林植物资源学, E-mail: yan-fengxb@163.com

马尾松林,发现凋落量与林分密度正相关。

山麓灌木林和热带常绿季雨矮林是铜鼓岭自然保护区主要的植被类型^[23-24],其群落结构较复杂,物种组成丰富,与海南岛其它热带森林有所不同。高山云雾林是世界上受威胁最严重而研究最少的森林类型^[25];南亚松林是唯一的天然热带针叶林^[26-27],一般作为脂用林经营^[28];热带山地雨林是海南岛分布最广的森林类型,其区系特殊,结构复杂,物种丰富^[29]。目前,还未见铜鼓岭凋落物方面的研究,也未见探讨凋落物产量的影响因素的报道。所以,笔者以铜鼓岭山麓灌木林和季雨矮林为主要研究对象,以高山云雾林、南亚松林、山地雨林为对照组,比较分析了海南岛不同森林类型的凋落物产量、组成及其季节动态,在小尺度范围内探讨森林类型、林分特征、地形因子对森林凋落量的影响。旨在了解海南沿海森林和非沿海森林凋落物的差异,并进一步探讨铜鼓岭两种森林类型凋落物的影响因素,为提高天然林的生产力及其保护提供理论依据。

1 研究区域概况

铜鼓岭国家级自然保护区位于海南文昌市的东北角,东滨南海、西连大陆,其地理位置为 $19^{\circ}36'54'' \sim 19^{\circ}41'21''\text{N}$, $110^{\circ}58'30'' \sim 111^{\circ}03'00''\text{E}$ 。铜鼓岭属热带海洋性气候,全年无霜冻、四季常青,土壤类型为砖红壤。主要的植被类型有红树林、半红树林、滨海沙生植被、山麓灌木林、热带常绿季雨矮林及局部栽培的人工林,其中热带常绿季雨矮林为顶级植被类型。

霸王岭国家级自然保护区地处海南岛西南部山区,地理位置为 $18^{\circ}52' \sim 19^{\circ}12'\text{N}$, $108^{\circ}53' \sim 109^{\circ}20'\text{E}$,属热带低山地区,地形复杂,土壤以砖红壤为代表,气候属热带季风类型,低地雨林和山地雨林为该地区分布最广的两种植被类型。

五指山自然保护区地处海南岛中部,五指山为海南岛最高峰,其地理位置为 $18^{\circ}49' \sim 18^{\circ}59'\text{N}$, $109^{\circ}40' \sim 109^{\circ}48'\text{E}$ 。该地区属于热带季风气候,其植被垂直变化明显,主要有枫香林、热带低地雨林、热带山地雨林、热带亚高山矮林及山顶灌丛。

研究区域地理位置见图 1:

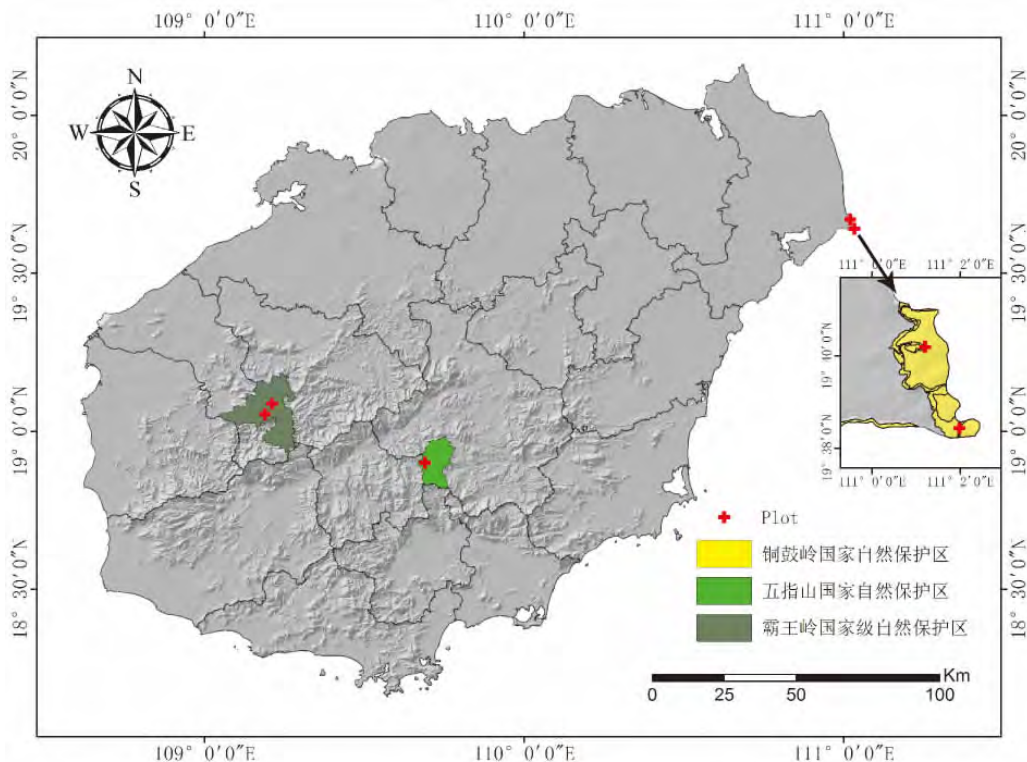


图 1 海南岛森林凋落物研究区域地理位置

Fig. 1 The geographical location of the sites under study

2 研究方法

2.1 固定样地的建设及其环境因子调查 在铜鼓岭热带常绿季雨矮林和山麓灌木林内分别建1个160 m×160 m的固定样地,用插值法将细分为64个20 m×20 m的小样方,以此作为主要研究对象;在霸王岭高山云雾林、霸王岭南亚松林、五指山山地雨林分别建立1个40 m×40 m的固定样地作为对照样地,每个样地细分为4个20 m×20 m的小样方,这5个固定样地分别代表5种不同的森林类型。

对样方内胸径≥1.5 cm的所有林木进行每木检尺,记录其名称、胸径、树高、坐标等信息,录入数据库便于后期处理。在每个20 m×20 m的小样方内用罗盘、坡度仪分别测量坡向、坡度、并估测岩石裸露度;根据半球面影像法,用鱼镜头拍摄群落冠层照片。

2.2 凋落物收集器设置 在铜鼓岭山麓灌木林样地和季雨矮林样地中分别均匀放置25个凋落物收集器(见图2),在霸王岭高山云雾林、霸王岭南亚松林和五指山山地雨林3个固定样地中采用“十字交叉法”分别放置5个凋落物收集器(见图3),其中,收集器大小为1 m×1 m,孔径为0.03 mm,底部距地面0.5 m。

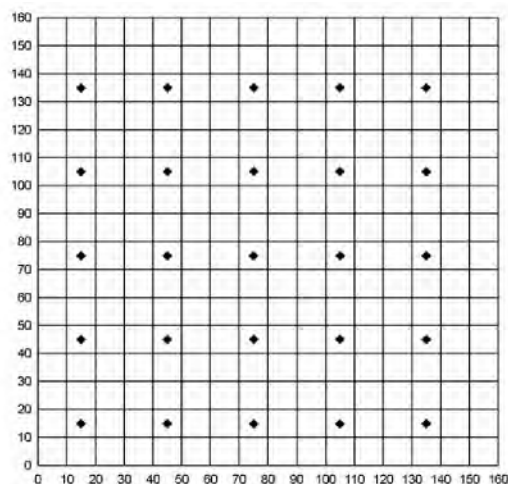


图2 铜鼓岭样地凋落物收集器布设

每个◆代表一个凋落物收集器

Fig. 2 Locations of litter traps in Tongguling

◆ indicates a litter trap

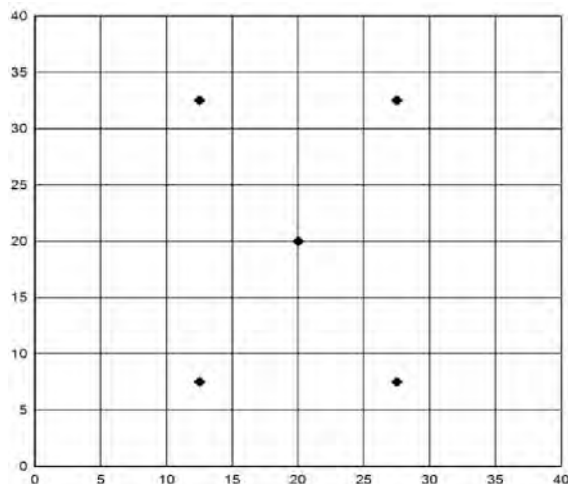


图3 对照样地凋落物收集器布设

Fig. 3 Locations of litter traps in control plots

2.3 凋落物的收集及处理 凋落物收集时间为1年,2012年12月—2013年12月,每70 d收集1次收集器内的凋落物,根据具体天气情况每次取样时间可能会前后波动1~5 d,按季节划分为冬季、春季、夏季、秋季、冬季。收集过程中,按枝、叶、繁殖器官分别收集于封口袋内,并在封口袋表面标记采集时间、地点、编号、采集类型,拿回实验室。将每次收集的凋落物及其不同组分于80℃的烘箱内烘干至恒重后称重,并换算成每公顷的凋落量。

2.4 统计分析 用Excel2003和SPSS19.0统计分析凋落物总量、各组分的凋落量及每次收集的量,利用SigmaPlot12.0软件作图。

本研究利用SPSS19.0软件作Pearson双变量相关分析来影响研究凋落物产量及其组分的因素,林分特征和地形因子均在凋落物收集器所在的20 m×20 m小样方内进行测量统计:(1)林分特征:每个样方记录林分密度、总断面积、叶面积指数3个指标,用Excel2003统计计算林分密度和总断面积,利用Gap Light Analyzer软件分析叶面积指数;(2)地形因子:每个样方记录坡向、坡度、岩石裸露度3个指标,其中,坡向按照经验公式建立隶属函数换算成编码^[30],阳坡为0.3,半阳为0.5,半阴为0.8,阴坡为1.0。

3 结果与分析

3.1 不同森林类型凋落物产量及其组成 对海南岛的山麓灌木林、季雨矮林、高山云雾林、南亚松林和山地雨林进行1年定位研究,结果显示:不同森林类型凋落物的年凋落量及其组成有所不同(见表1)。年

凋落量大小依次为:山麓灌木林 > 季雨矮林 > 南亚松林 > 高山云雾林 > 山地雨林。可见山麓灌木林和季雨矮林的年凋落量比其他森林类型的大,即海南沿海森林比非沿海森林凋落物的年凋落量大。叶凋落量以南亚松林最大,季雨矮林和山麓灌木林次之;枝凋落量以高山云雾林最大,明显高于其他 4 种森林类型;繁殖器官凋落量以山麓灌木林最大;其他杂物的凋落量以季雨矮林最大。由此可见,凋落物总量及其组成与森林类型密切相关。

在各森林类型凋落物的不同组分中,凋落叶所占比例均最高,在 56.79% ~ 72.26% 之间(见图 4)。其中,南亚松林叶凋落量所占比例最高,季雨矮林和山地雨林次之;枝凋落量所占比例以高山云雾林最大,明显高于其他森林类型;繁殖器官凋落量所占比例以山麓灌木林最大,明显高于其他森林类型;季雨矮林和山地雨林其他杂物所占比例相当,大于其他森林类型。

表 1 不同森林类型年凋落量及其组成

Tab. 1 Annual litter production and its composition in different types of forests

森林 类型 Forest type	凋落叶 Leaf litter		凋落枝 Branch litter		凋落的繁殖器官 Fruit litter		其他 Others		总量/ ($t \cdot hm^{-2}$) Litter Mass
	凋落量/ ($t \cdot hm^{-2}$) Litter production	百分比/% Percentage	凋落量/ ($t \cdot hm^{-2}$) Litter production	百分比/% Percentage	凋落量/ ($t \cdot hm^{-2}$) Litter production	百分比/% Percentage	凋落量/ ($t \cdot hm^{-2}$) Litter production	百分比/% Percentage	
A	3.794	60.93	1.140	18.31	1.070	17.18	0.223	3.58	6.227
B	3.841	68.16	1.089	19.31	0.442	7.84	0.264	4.68	5.636
C	3.013	56.79	1.614	30.42	0.548	10.32	0.131	2.47	5.306
D	3.904	72.26	1.175	21.74	0.318	5.89	0.006	0.11	5.403
E	2.417	64.42	0.951	25.34	0.209	5.58	0.175	4.66	3.752

注:表中 A ~ E 分别代表山麓灌木林、季雨矮林、高山云雾林、南亚松林、山地雨林

Note: A - E represent shrubbery, monsoon elfin forest, montane cloud forest, *Pinus latteri* forest, montane rainforest, respectively

3.2 不同森林类型凋落物量的季节动态 不同森林类型凋落物年凋落量季节动态及其组成的季节动态特征不同(见图 4)。其中,山麓灌木林和季雨矮林凋落物年凋落量均表现出明显的季节变化规律,春季($1.632 t \cdot hm^{-2}$)和秋季($1.552 t \cdot hm^{-2}$)为凋落高峰期,夏季和冬季的凋落量差别不大,春季峰值的出现与植物的物候期有关,秋季则为雨季和台风有关;其他森林类型无明显的凋落节律。

叶是凋落物的主要组成部分,山麓灌木林凋落叶的季节变化规律与年凋落量的变化规律一致,仍为双峰型,但叶凋落量的最大值出现在秋季,高达 $0.999 t \cdot hm^{-2}$,这是雨季降水和台风共同作用的结果;季雨矮林除秋季落叶较多($0.982 t \cdot hm^{-2}$)外,其他季节变化不大;而叶凋落量在其他 3 个对照样地中并无明显的变化规律。

山麓灌木林和季雨矮林枝凋落量的季节动态表现出高度一致性,均在春季有较大的凋落量,其他季节凋落量较小,且没有明显的差异;高山云雾林在夏季有大量落枝;南亚松林则在秋季枝凋落量较大;山地雨林夏季和秋季的凋落枝较多。

繁殖器官的凋落量在山麓灌木林和季雨矮林中的季节变化规律与叶凋落量的季节变化较相似。其中,山麓灌木林呈双峰型,峰值在春季和秋季;季雨矮林仅在秋季出现 1 个峰值,且不太明显;其他 3 种森林类型的繁殖器官均在 2012 年冬季凋落较多。

3.3 影响铜鼓岭凋落物产量及其组成的因素

3.3.1 林分特征对凋落物产量及其组分的影响 不同类型森林的组成和结构条件不同,林分特征也不同,导致森林凋落物的组成与数量存在较大差异^[31]。以凋落物收集器所在 $20 m \times 20 m$ 的小样方为对象,获取林分密度、总断面积、叶面积指数 3 个林分特征指标,凋落物年凋落量及其组分之间经相关分析发现:山麓灌木林凋落物年凋落量及其组分与林分特征之间无显著相关性;季雨矮林凋落物年凋落量与林

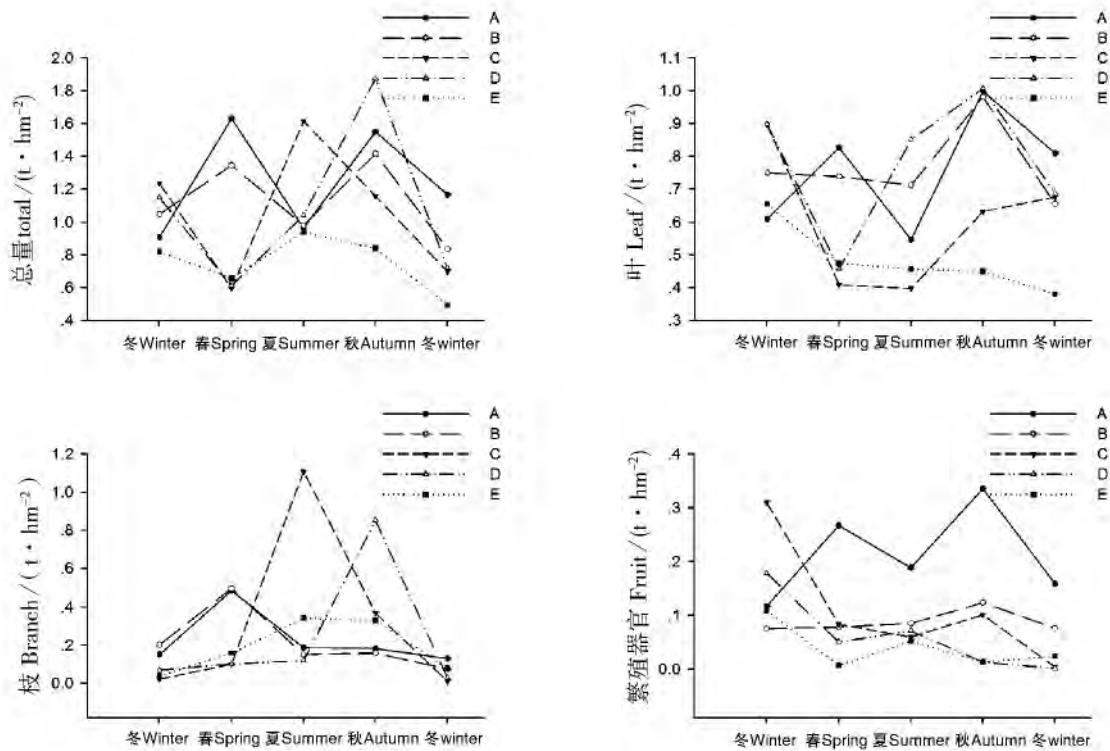


图 4 不同森林类型凋落物年凋落量及其组分的季节动态

图中 A ~ E 分别代表山麓灌木林、季雨矮林、高山云雾林、南亚松林、山地雨林

Fig. 4 The seasonal dynamics of the annual litter production and its composition in different types of forests

A - E represent shrubbery , monsoon elfin forest , montane cloud forest , *Pinus latteri* forest , montane rainforest , respectively

分密度在 $\alpha = 0.05$ 水平上显著正相关 ($R = 0.477$ $n = 25$) ,叶凋落量与林分密度在 $\alpha = 0.05$ 水平上显著正相关 ($R = 0.495$ $n = 25$) 。即在季雨矮林中 ,单位面积内林木株数越多 ,凋落叶的量越多 ,凋落物的量也越多 (见表 2) 。这说明林分密度对季雨矮林叶凋落总量和凋落物总量有显著影响。

表 2 山麓灌木林、季雨矮林年凋落量及其组分与林分特征的相关性

Tab. 2 The relationship of the annual litter production and its composition with the stand characteristics in the shrubbery

凋落量 Litter production	林分密度 Stand density		总断面积 Total basal area		叶面积指数 Leaf area index	
	A	B	A	B	A	B
年凋落量 Annual litter production	0.119	0.477*	0.137	0.279	0.136	-0.386
叶凋落量 Leaf litter production	0.000	0.495*	0.027	0.375	0.049	-0.365
枝凋落量 Branch litter production	-0.101	0.174	-0.016	-0.056	-0.151	-0.190
繁殖器官凋落量 Fruit litter production	0.234	0.315	0.182	0.019	0.197	0.035

注: A , B 分别代表山麓灌木林和季雨矮林 , 以下同; * 表示两者之间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: A , B represent shrubbery and monsoon elfin forest , respectively , similarly hereafter; * represents significant difference between the two at $P < 0.05$

3.3.2 地形因子对凋落物产量及其组分的影响 相关性分析结果 (表 3) 显示 ,山麓灌木林和季雨矮林的

凋落物年凋落量及其组分与地形因子之间均无显著相关性。由此可知,在铜鼓岭同一森林类型中,凋落物的年凋落量及其组分与微地形没有明显的关系。

表3 山麓灌木林年凋落量及其组分与地形因子的相关性

Tab. 3 The correlation of the annual litter production and its composition with the terrain factor in the shrubbery

凋落量 Litter production	坡向 Aspect		坡度 Slope		岩石裸露度 Rock coverage	
	A	B	A	B	A	B
年凋落量 Annual litter production	0.284	0.184	0.228	-0.113	-0.177	-0.099
叶凋落量 Leaf litter production	-0.004	0.346	0.198	-0.151	0.045	-0.086
枝凋落量 Branch litter production	0.281	-0.149	-0.263	0.054	-0.236	-0.015
繁殖器官凋落量 Fruit litter production	0.228	-0.219	0.227	0.050	-0.143	-0.154

4 讨 论

4.1 不同森林类型凋落物产量及组成 森林凋落物的凋落物量直接反映了森林生态系统的初级生产力水平,是森林生态系统物质循环及能量循环的重要组成部分,其年凋落量因地理位置和森林类型的不同而存在一定差异^[9,32-33]。研究表明,沿海地区森林与非沿海地区森林的凋落量也存在一定差异,这可能是沿海地区受海风影响。海南铜鼓岭沿海森林的年凋落量(山麓灌木林为 $6.227 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,季雨矮林为 $5.636 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)比其他3个对照样地的年凋落量大,但与哀牢山常绿阔叶林($6.7 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)的年凋落量^[34]较接近;霸王岭南亚松林($5.403 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)和霸王岭高山云雾林($5.306 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)的年凋落量较接近,但比五指山山地雨林年凋落量($3.752 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)大很多;五指山山地雨林与滇中次生常绿阔叶林($3.51 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)的年凋落量^[35]较接近。

铜鼓岭山麓灌木林是原生的季雨矮林遭到破坏后出现的次生灌丛,现有向季雨矮林演替的趋势^[20,35],而山麓灌木林的年凋落量($6.227 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)比季雨矮林($5.636 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)的年凋落量大,说明在铜鼓岭自然保护区,凋落物年凋落量随着演替进程呈现出降低的趋势,这与王敏英的研究结果一致^[17]。

森林凋落物的器官组成可分为凋落叶、凋落枝、凋落的繁殖器官、其他杂物,一般凋落叶的比例最大,火炬林的凋落叶甚至达到凋落物总量的100%^[36]。廖军等研究发现,大多数森林凋落物的器官组成占凋落物总量的比例均为:叶>枝皮>花果>杂物^[1]。本研究中,5种不同森林类型凋落叶的比例均占绝对优势,说明凋落叶与凋落物总量的关系最密切,也体现了凋落叶在森林生态系统的凋落物归还中的重要作用。

4.2 不同森林类型凋落物量的季节动态 森林凋落物的季节动态模式多表现出单峰型、双峰型和不规则型^[2],不同森林类型,其季节动态不同^[10,16,37]。其凋落高峰受到气候因素、树种组成和森林类型的影响。而多数森林,特别是常绿森林,其月凋落量的季节动态模式是双峰型。本研究也符合这个变化规律:山麓灌木林和季雨矮林年凋落量,山麓灌木林的叶凋落量、繁殖器官凋落量的季节变化规律均表现为双峰型。

山麓灌木林和季雨矮林年凋落量的季节动态为双峰型,且两者的凋落高峰都在春季和秋季,春季峰值的出现与植物的物候期有关,秋季则为雨季和台风高发季节,而此时高温多雨的气候对凋落物的分解以及营养元素的循环非常有利。

山麓灌木林叶凋落量的季节动态为双峰型,而季雨矮林为单峰型。山麓灌木林的落叶树种占整个群落树种的15%^[24],春季的落叶高峰属生理性脱落,秋季的落叶高峰则受台风和降雨的影响;而季雨矮林是常绿林,全年不会出现明显的凋落高峰,秋季落叶高峰也是受台风和降雨的影响。

不同森林类型,凋落物的季节动态模式不同。高山云雾林、南亚松林、山地雨林的年凋落量及其组成

的凋落节律不明显,可能是由于取样面积较小,凋落物收集面积小,偶然误差较大,所以这3个对照样地的年凋落量及其组成,其季节动态只能作为参考。

4.3 影响铜鼓岭凋落物产量及其组成的因素 森林凋落量受到气候因子、土壤因子、森林类型、林分特征、林分发育状况等多方面的影响,其变化机制较复杂,目前的研究较零散,还未得到全面统一的定论。

凌华^[19]研究发现,影响我国森林凋落物量的主要因素有环境因子、林分特征、森林类型、树种组成等。由于不同森林类型的群落结构、树种组成等条件不同,会表现出不同的林分特征,森林凋落物的数量及组成也有较大差异^[31]。本研究发现,山麓灌木林凋落物数量及组成与林分特征之间无显著相关性,而季雨矮林凋落物总量与林分密度正相关,这与张家武^[22]、姚瑞玲^[38]在马尾松林中的研究结果一致;而凌华^[19]发现,成熟林中,凋落量与林分密度极显著负相关,此研究对象为中国各地区的117个不同样本,区别于单一森林类型。

另外,本研究发现,铜鼓岭2种森林类型的凋落物数量及组成与地形因子(坡向、坡度、岩石裸露度)间无显著相关性。本结果仅说明在160 m×160 m样地中,2种不同森林类型的凋落物年凋落量及其组成与微地形的关系不大,因此,在今后的研究中,笔者应该扩大样地面积,在大范围内讨论地形对凋落物特征值的影响。

参考文献:

- [1] 廖军. 森林凋落量研究概述[J]. 江西林业科技, 2000 (1): 31-34.
- [2] 王凤友. 森林凋落量研究综述[J]. 生态学进展, 1989, 6(2): 82-89.
- [3] LIKENS G E, BORMANN F H, PIERCE R S, et al. Biogeochemistry of a forested ecosystem. Berlin[M]. New York: Springer-Verlag, 1977: 121-134.
- [4] BRAY J R, GORHAM E. Litter production in forests of the world[J]. Advances in Ecological Research, 1964(2): 101-157.
- [5] RODIN L E, BAZILEVICH N I. Production and mineral cycling in terrestrial vegetation[M]. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1967: 288.
- [6] 彭少麟, 刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1534-1544.
- [7] CELENTANO D, ZAHAWI R A, FINEGAN B, et al. Litterfall dynamics under different tropical forest restoration strategies in Costa Rica[J]. Biotropica, 2011, 43(3): 279-287.
- [8] MUROVHI N R, MATERECHERA S A, MULUGETA S D. Seasonal changes in litter fall and its quality from three sub-tropical fruit tree species at Nelspruit, South Africa[J]. Agroforestry Systems, 2012, 86(1): 61-71.
- [9] 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.
- [10] 侯玲玲, 毛子军, 孙涛, 等. 小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化[J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1994-2002.
- [11] 范春楠, 郭忠玲, 郑金萍, 等. 磨盘山天然次生林凋落物数量及动态[J]. 生态学报, 2014, 34(3): 633-641.
- [12] ZHOU Y, SU J, JANSSENS I A, et al. Fine root and litterfall dynamics of three Korean pine (*Pinus koraiensis*) forests along an altitudinal gradient[J]. Plant and Soil, 2014, 374(1/2): 19-32.
- [13] 林鹏, 卢昌义, 王恭礼, 等. 海南岛河港海莲红树林凋落物动态的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(1): 69-73.
- [14] 卢俊培, 刘其汉. 海南岛尖峰岭热带林凋落物研究初报[J]. 植物生态学报, 1988, 12(2): 104-112.
- [15] 张乔民, 陈永福. 海南三亚河红树凋落物产量与季节变化研究[J]. 生态学报, 2003, 23(10): 1977-1983.
- [16] 刘强, 彭少麟, 毕华, 等. 热带亚热带森林凋落物交互分解的养分动态[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 24-32.
- [17] 王敏英, 刘强, 胡佳续. 海南岛中部丘陵地区植被恢复过程中凋落物动态及土壤碳氮含量变化[J]. 广西植物, 2012, 32(5): 630-636.
- [18] 伍恩华, 刘强. 海南岛北部木麻黄林凋落物与土壤养分、细根生物量的关系[J]. 广西植物, 2013, 33(4): 488-495.
- [19] 凌华, 陈光水, 陈志勤. 中国森林凋落量的影响因素[J]. 亚热带资源与环境学报, 2009, 4(4): 66-71.
- [20] 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]. 2008, 32(5): 1031-1040.
- [21] 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.

- [22] 张家武, 廖利平, 李锦芳, 等. 马尾松火力楠混交林凋落物动态及其对土壤养分的影响[J]. 应用生态学报, 1993, 4(4): 359–363.
- [23] 龙成, 周威, 杨小波, 等. 海南大风子种群不同径级的稀疏规律[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(8): 86–90.
- [24] 周威, 龙成, 杨小波, 等. 海南铜鼓岭灌木林稀疏规律[J]. 生态学报, 2013, 33(20): 6569–6576.
- [25] ALDRICH M, BILLINGTON C, EDWARDS M, et al. Tropical montane cloud forests: an urgent priority for conservation [M]. Cambridge: World Conservation Monitoring Centre, 1997.
- [26] 中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 247–249.
- [27] 广东省植物研究所. 广东植被[M]. 北京: 科学出版社, 1976: 98–105.
- [28] 黄清麟, 陈永富, 杨秀森. 海南霸王岭林区南亚松天然林乔木层结构特征研究[J]. 林业科学研究, 2002, (6): 741–745.
- [29] 藏润国, 蒋有绪, 杨彦承. 海南岛霸王岭热带山地雨林林隙更新生态位的研究[J]. 林业科学研究, 2001, 14(1): 17–22.
- [30] 刘创民, 李昌哲, 史敏华, 等. 多元统计分析在森林土壤肥力类型分辨中的应用[J]. 生态学报, 1996, 16(4): 444–447.
- [31] 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.
- [32] 李雪峰, 韩士杰, 李玉文, 等. 东北地区主要森林生态系统凋落量的比较[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 783–788.
- [33] 王斌, 杨校生. 不同气候区 4 种典型地带性植被凋落物比较研究[J]. 世界林业研究, 2009, 22: 44–48.
- [34] 于明坚. 浙江建德青冈常绿阔叶林凋落量研究[J]. 植物生态学报, 1996, 20(2): 144–150.
- [35] 钟义. 海南岛铜鼓岭自然保护区的植被与植物资源[J]. 海南大学学报(自然科学版), 1991, 9(1): 1–10.
- [36] 俞元春, 阮宏华, 费世民, 等. 苏南丘陵森林凋落物量及养分归还量[C]//姜志林. 下蜀森林生态系统定位研究论文集. 北京: 中国林业出版社, 1992: 992.
- [37] 熊红福, 王世杰, 容丽, 等. 普定喀斯特地区不同演替阶段植物群落凋落物动态[J]. 生态学杂志, 2013, 32(4): 802–806.
- [38] 姚瑞玲, 丁贵杰, 王胤. 不同密度马尾松人工林凋落物及养分归还量的年变化特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, 30(5): 83–86.

Litter Production of Different Types of Forests in Hainan and Its Impact Factors

WAN Chunhong, TAO Chu, YANG Xiaobo, HUANG Jin, FENG Dandan, YANG Qi, ZHOU Wensong

(Ministry of Education Key Laboratory for Protection, Development and Utilization of Tropical Crop Germplasm
Resources, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: Litter trap was used to collect litters in different types of forests in Hainan Island for one year starting from November 2012 to December 2013 to analyse and compare the litter production, composition and seasonal dynamics as well as its influencing factors. The annual litter production and composition were found different in different types of forests, and the annual litter production decreased in the order of the shrubbery ($5.305 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > Monsoon elfin forest ($5.636 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > *Pinus latteri* forest ($5.403 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > Montane cloud forest ($5.305 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > Montane rainforest ($3.753 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$). The coastal forests had higher annual litter production than the forests in the central mountainous areas, which might be the result of Typhoon. The *Pinus latteri* forest had the highest proportion of leaf litter (72.26%), the Montane cloud forest had the highest proportion of branch litter (30.42%), and the shrubbery had the highest proportion of fruit litter (17.18%). The seasonal dynamics of the litter production were different in different types of forests. A bimodal curve described the seasonal dynamic of the annual litter production in the shrubbery and monsoon elfin forest, and the peaks occurred in spring and autumn; the leaf litter production has a bimodal seasonal curve in the shrubbery, but has a unimodal seasonal curve in the monsoon elfin since it exhibited a single peak only in autumn. The branch litter production exhibited a unimodal seasonal curve in all types of forests except in the montane rainforest where the

branch litter production had a seasonal bimodal seasonal curve. The fruit litter showed a unimodal seasonal curve in all the types of forests except in the shrubbery where the fruit litter production had a bimodal seasonal curve. The annual litter production and its composition were not significantly correlated with the stand characteristics in the shrubbery, and the leaf litter production and the annual litter production exhibited a significant correlation ($P < 0.05$) with the stand density in the monsoon elfin forest. The annual litter production and its composition failed to show significant relationship with the terrain factor in the same types of forests in Tongguling mountain.

Key words: forest litter; annual litter production; litter composition; seasonal dynamics; influencing factors

(上接第 165 页)

Epoxy-resin Embedded Tissue Section and Staining of the Barks of *Hevea brasiliensis*

XU Jingwen, LIAN Wenjun, CAO Yuxin, XIA Zhihui, HUANG Xi

(Hainan Key Laboratory for Sustainable Utilization of Tropical Bioresources/College of Agronomy, Hainan University,
Haikou 570228, China)

Abstract: Tissue sectioning and staining are basic technologies for dissecting plant tissue and organic structure. Rubber trees (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) are the most important commercial source of natural rubber, and they produce and store latex in laticifers in the bark. Paraffin section stained with I-Br is usually used for observation of laticifer under light microscopy. The procedures of this method are complicated and time-consuming. Therefore, a technology for tissue section with tissue embedded in epoxy resin without using I-Br staining is introduced for laticifer observation under light microscopy, including fixation, dehydration, infiltration, embedding, polymerization, sectioning, staining, and mounting. Laticifer, xylem, cambium, vessel, phloemray radial, primary phloem ray fiber, cortex, and epidermis were well distinguished on the epoxy resin-embedded tissue sections by using 3 different stains. Furthermore, numerous cells and their inclusions that were scarcely observed in paraffin section, such as tannin, chloroplast, etc were also observed on the tissues embedded in epoxy resin. This technology is an improvement in paraffin-embedded tissue section under light microscopy for the bark of the rubber tree.

Key words: *Hevea brasiliensis* Müll. Arg.; epoxy resin; tissue section; staining