

Study on Litterfall Production and Dynamic in *Pinus tabuliformis* Forest of Lingkong Mountain, Shanxi Province

Liren Chen, Maoru Liang, Yue He, Xiaozhen Zhang, Donggang Guo

School of Environment and Resources, Shanxi University, Taiyuan Shanxi
Email: 857291478@qq.com, gdghjx@126.com

Received: May 3rd, 2018; accepted: May 19th, 2018; published: May 30th, 2018

Abstract

This study was based on the 4 hm² *Pinus tabuliformis* and *Quercus wutaishanica* mixed forest and 1 hm² *Pinus tabuliformis* forest dynamic monitoring plot in Lingkong Mountain, Shanxi Province. We studied litterfall from October 2014 to October 2015 with litterfall traps, and analyzed the yield amount, composition and dynamic variation features of the samples. The annual litterfall production was calculated as 3644.97 kg·hm⁻²·a⁻¹ in the mixed forest of *Pinus tabuliformis* and *Quercus wutaishanica*, and that was 4402.79 kg·hm⁻²·a⁻¹ in the *Pinus tabuliformis* pure forest, with a significant difference ($P < 0.05$). In both communities, the litter patterns could be described by a single-peaked curve, and it peaked during October and November. The percentage of nutritive organs (including leaf, bark and brunch) was 73.58% and 81.20%, respectively. Their litter pattern could be also described by a single-peaked curve. The annual leaf litter was both the largest in the 4 hm² and 1 hm² sample plots among all the elements, which was 2348.36 kg·hm⁻²·a⁻¹ and 3068.89 kg·hm⁻²·a⁻¹, and accounted 64.43% and 69.72%, respectively. Leaf litter dominated the monthly dynamics of total litter. There was no remarkable difference on brunch litter and reproductive organ litter between two plots. However, leaf litter, bark litter and other litter all showed obvious difference ($P < 0.05$). As for reproductive organs, the annual litterfall production was 798.50 kg·hm⁻²·a⁻¹ in 4 hm² plot and 598.72 kg·hm⁻²·a⁻¹ in 1 hm² plot, making up 21.91% and 13.60% in total litterfall amount. The dynamics curves of reproductive organ litter were both double-peaked in two plots. The largest element of reproductive organs in 4 hm² plot was *Quercus wutaishanica* fruit, while *Pinus tabuliformis* fruit was the major in 1 hm² plot. The dynamics of *Pinus tabuliformis* litter in 4 hm² plot was similar to that in 1 hm² plot, while the litter dynamics of *Pinus tabuliformis* and *Quercus wutaishanica* had a certain difference: needle leaf litter dynamics of *Pinus tabuliformis* varied with different years, while broad leaf litter pattern of *Quercus wutaishanica* was regular relatively, and they both reached the top in October; the flower litter peak of the two species both emerged in June, while the fruit litter periods for *Pinus tabuliformis* and *Quercus wutaishanica* were from October to November and from August to October, respectively.

Keywords

Lingkong Mountain, *Pinus tabuliformis*, Litterfall, Dynamic Variation

山西灵空山油松林凋落物节律研究

陈利人, 梁茂儒, 贺 悦, 张晓珍, 郭东罡

山西大学环境与资源学院, 山西 太原

Email: 857291478@qq.com, gdghjx@126.com

收稿日期: 2018年5月3日; 录用日期: 2018年5月19日; 发布日期: 2018年5月30日

摘 要

依托山西灵空山4 hm²松栎混交林和1 hm²油松(*Pinus tabulaeformis*)纯林森林动态监测样地为研究平台, 以2014年10月到2015年10月收集的凋落物为研究对象, 对其产量和组成的动态变化特征进行研究。结果表明松栎混交林的凋落物年产量为3644.97 kg·hm⁻²·a⁻¹, 油松纯林年产量为4402.79 kg·hm⁻²·a⁻¹, 差异显著($P < 0.05$)。两种群落类型的凋落集中在10~11月份, 总体动态呈现单峰型; 包括叶、枝、树皮在内的营养器官所占总量比例, 4 hm²和1 hm²样地分别为73.58%和81.20%, 其凋落动态也为单峰型; 年凋落物量各组分中落叶量最大, 主导了总量的月动态变化趋势, 4 hm²样地和1 hm²样地分别为2348.36 kg·hm⁻²·a⁻¹和3068.89 kg·hm⁻²·a⁻¹, 占总量的64.43%和69.72%。两样地凋落物中落枝量以及生殖器官量无显著差异, 而落叶量、树皮量、杂物量均有显著差异($P < 0.05$)。生殖器官方面, 4 hm²样地和1 hm²样地的年产量分别为798.50 kg·hm⁻²·a⁻¹和598.72 kg·hm⁻²·a⁻¹, 占总量的21.91%和13.60%; 两样地的生殖器官凋落动态均为双峰型。4 hm²样地上收集到的生殖器官中最大的组分为辽东栎果实, 1 hm²样地上最大的组分为油松球果。两样地上油松物种落叶动态相似, 而4 hm²样地内油松和辽东栎两物种凋落动态有一定差异: 油松针叶动态不同年份差异较大, 而辽东栎落叶规律性相对较强, 其高峰均为10月; 两者落花都集中在6月份, 果的凋落期分别为10月~11月和8月~10月。

关键词

灵空山, 油松, 凋落物, 动态变化

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

凋落物是指在森林生态系统中, 由森林植物产生并且最终归还给土地, 为分解者提供物质和能量的来源, 以维持生态系统功能的所有有机物质的总称, 也称为枯落物或有机碎屑[1]。凋落物主要包括森林生长发育过程中地上部分正常代谢产生的落叶、落花、落果、小枝、树皮等[2]。凋落物是连接生产者和土壤之间的重要环节[3], 其在森林生态系统物质循环过程中起着重要作用。因此凋落物一直以来都是森林生态学研究的热点。

油松林以及松栎混交林作为华北地区的重要地带性植被, 广泛分布于山西太岳山, 其中, 灵空山自然保护区的油松林群落由于我国天然林保护工程的开展, 受到了很好的保护, 是最具有典型性和代表性的天然油松林群落。另外, 油松也是重要的人工造林树种, 被广泛栽植。关于油松林凋落物的研究, 目

前已有的多为凋落物的分解[4] [5] [6], 凋落物养分特性[6]以及凋落物的储量[4] [6]等, 研究对象多为人工林[7] [8] [9], 关于天然油松林凋落物的组成及动态变化的研究较少。现有的关于凋落物动态变化的研究也存在一些不足, 如分类不够详细, 且在收时收集器数量较少, 收集的时空尺度较小, 少有采用大样地连续监测的方法[10] [11] [12], 因而对群落凋落物动态变化反映不够全面、准确。本文以 2011 年建成的灵空山 4 hm² 松栎混交林长期固定监测样地和 2013 年建成的 1 hm² 油松纯林长期固定监测样地为基础, 研究了凋落物的产量、组成及动态变化规律, 特别对油松营养器官和生殖器官的变化规律进行了分析, 为该森林类型生态系统的养分循环、碳储量等方面研究提供了科学参考。

2. 研究区概况

2.1. 自然地理

研究区位于山西省中南部太岳山脉中段, 地理坐标为 36°33'28"~36°42'52"N, 111°59'27"~112°07'48"E。气候为典型的暖温带大陆性季风气候, 年均温 6.2℃, 年日照 2600 h, 植物生长期 110~125 d, 年均降雨量 662 mm, 主要集中在 7、8、9 三个月, 占全年的 74.8%, 无霜期 145 d 左右, 平均风速 2.4 m/s。土壤为石灰岩母岩上发育而成的山地褐土、山地淋溶褐土和山地棕壤。研究区内植被在中国植被区划上属暖温带针叶林、落叶阔叶林和松栎针阔混交林, 森林群落的主要建群种为油松、辽东栎。

2.2. 样地概况

2011 年 7 月, 参照 CTFS (Center for Tropical Forest Science) 技术规范(<http://www.ctfs.si.edu/>), 在灵空山自然保护区建立了一块 200 × 200 m 的松栎混交林样地。1 hm² (100 × 100 m) 油松纯林卫星样地为 4 hm² 样地的辅助样地, 建成于 2013 年 7 月, 其建设和群落调查技术规范 4 hm² 样地相同。两样地等高线地形图见图 1。

对样地内所有木本植物个体进行每木挂牌, 每木监测。调查内容包括植物个体的物种名、胸径、坐标、树高、冠幅等。植物物种鉴定以《中国植物志》为标准进行。4 hm² 样地调查数据见表 1。样地内共

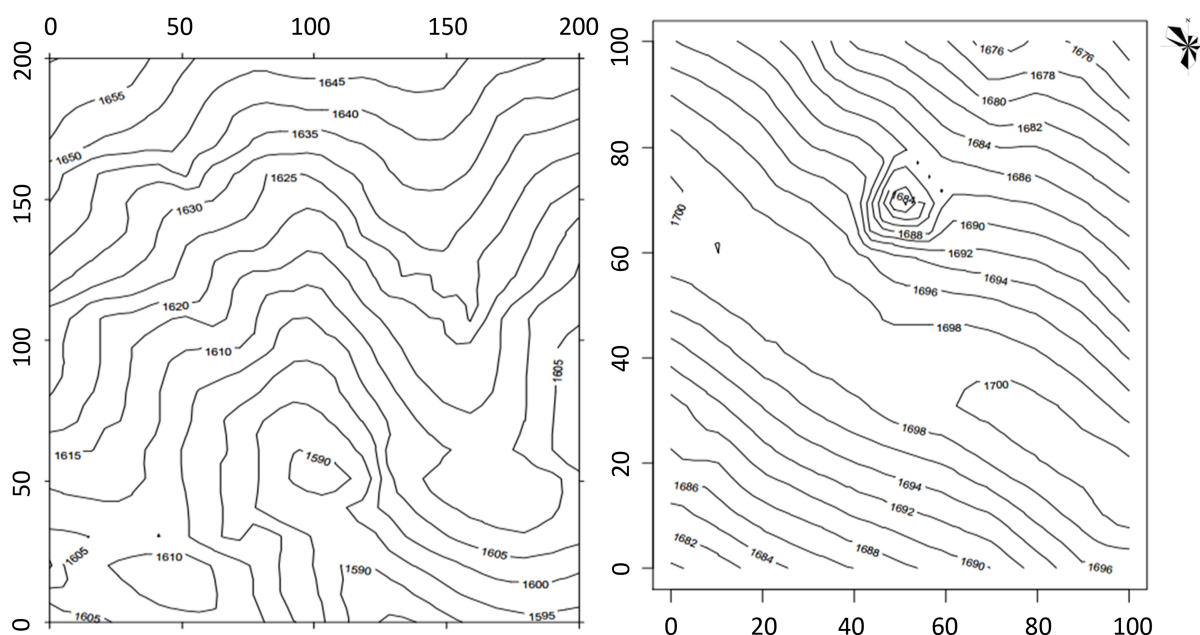


Figure 1. Contour map of 4 hm² plot (left) and 1 hm² plot (right) in Ling Kong Mountain

图 1. 灵空山 4 hm² (左) 和 1 hm² (右) 样地等高线地形图

Table 1. Species composition of major woody plant in 4 hm² plot
表 1. 4 hm² 样地主要木本植物物种组成

种名 Species	多度 Abundance	胸高断面积 Basal area (m ² /hm ²)	平均胸径 Mean DBH (cm)	相对优势度 Relative superiority degree
油松	2489	16.5481	15.16	34.56
辽东栎	2250	11.2972	14.94	27.05
杜梨	184	0.6216	12.19	1.90
甘肃山楂	173	0.2123	5.28	1.35
茶条槭	97	0.1017	5.30	0.74
漆树	34	0.0174	4.47	0.24
白蜡树	32	0.0402	6.88	0.25
槲栎	27	0.1065	13.57	0.29
冻绿	16	0.0458	10.05	0.15
山楂	16	0.0045	3.39	0.11
野山楂	12	0.0115	4.58	0.09
元宝槭	8	0.0063	5.05	0.06
鹅耳枥	4	0.0108	10.22	0.04
南蛇藤	4	0.0071	7.06	0.03
白桦	2	0.0194	18.87	0.04
暴马丁香	2	0.0108	15.50	0.03
构树	2	0.0005	3.40	0.01
槲树	2	0.0072	13.50	0.02
山杨	2	0.0032	9.15	0.02
流苏树	1	0.0007	6.00	0.01
色木槭	1	0.0003	3.70	0.01
山荆子	1	0.0024	11.10	0.01
鼠李	1	0.0019	10.00	0.01
木梨	1	0.0003	4.20	0.01
合计	5361	29.0782		

注：植物拉丁学名：油松 *Pinus tabulaeformis*，辽东栎 *Quercus wutaishanica*，杜梨 *Pyrus betulaefolia*，甘肃山楂 *Crataegus kansuensis*，茶条槭 *Acer ginnala*，漆树 *Toxicodendron vernicifluum*，白蜡树 *Fraxinus chinensis*，槲栎 *Quercus aliena*，冻绿 *Rhamnus utilis*，山楂 *Crataegus pinnatifida*，野山楂 *Crataegus cuneata*，元宝槭 *Acer truncatum*，鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii*，南蛇藤 *Celastrus orbiculatus*，白桦 *Betula platyphylla*，暴马丁香 *Syringa reticulata*，构树 *Broussonetia papyrifera*，槲树 *Quercus dentata*，山杨 *Populus davidiana*，流苏树 *Chionanthus retusus*，色木槭 *Acer mono*，山荆子 *Malus baccata*，鼠李 *Rhamnus davurica*，木梨 *Pyrus xerophila*。

有 14,765 个活的独立的木本植物个体，其中 DBH ≥ 1 cm 的木本植物(均为乔木物种)有 5361 株，胸高断面积为 29.0777 m²/hm²。胸高断面积大于 1 m²/hm² 的只有油松和辽东栎两个物种，依次为 16.55 m²/hm² 和 11.30 m²/hm²，二者之和占总胸高断面积的 95.76%，这表明油松和辽东栎在该森林群落中占绝对的优势。

1 hm² 样地调查数据见表 2。样地内共有 8777 个活的独立的木本植物个体，DBH ≥ 1 cm 的个体有 720 株，均为乔木物种，6 个物种个体数依次为油松 662 株(占总个体数的 91.94%)、辽东栎 51 株(占总个体数的 7.08%)、小叶鹅耳枥 3 株、鹅耳枥 2 株、杜梨 2 株和茶条槭 1 株。

Table 2. Species composition of major woody plant in 1 hm² plot
表 2. 1 hm² 样地 DBH ≥ 1 cm 的木本植物物种组成

种名 Species	多度 Abundance	胸高断面面积 Basal area (m ² /hm ²)	平均胸径 Mean DBH (cm)	相对优势度 Relative superiority degree
油松	662	41.38	26.08	63.57
辽东栎	51	0.83	10.18	3.08
鹅耳枥	5	0.02	8.06	0.25
杜梨	1	0.01	3.00	0.05
茶条槭	1	0.01	9.26	0.05
合计	720	42.25		

3. 研究方法

3.1. 野外调查与数据获取

凋落物收集方法为采用凋落物收集器直接收集。2014 年 8 月在灵空山 4 hm² 和 1 hm² 样地分别设置了 24 个和 11 个凋落物收集器(图 2)。收集器为 1 × 1 m 的正方形, 深度为 30 cm, 用 40 目尼龙网接收, 收集器距地面高度为 1.3 m, 因为收集对象主要是森林乔木层凋落物。收集周期为 2014 年 10 月~2015 年 10 月, 共 13 个月。其中 2015 年的 1~3 月收集一次, 2014 年 12 月、2015 年 5 月为月底收集一次(由于降雪封山等原因无法收集), 其余月份每月收集两次。将收集的凋落物带回实验室内, 按针叶、阔叶、花、果实、种子和其他进行分拣。分类鉴定后, 按类别在 80℃ 烘箱内干燥 12 小时, 然后用电子天平称量其干重, 精度为 0.001 g。

3.2. 数据处理

利用 Excel 2003 和 SPSS 24.0 对数据进行分析。使用 Excel 2003 绘制凋落物各组分动态曲线, 使用 SPSS 24.0 中独立样本 T 检验功能分析各组分含量差异, Pearson 相关性分析比较凋落动态的相关性。计算年产量时, 我们将 2014 年 10 月和 2015 年 10 月的凋落物量取平均值作为 10 月份的凋落物量。

4. 年凋落物总量及组成

4.1. 年凋落物总量及组成

4 hm² 松栎混交林样地 13 个月收集到的凋落物总量为 5189.10 kg·hm⁻², 年产量为 3644.97 kg·hm⁻²·a⁻¹, 1 hm² 油松纯林样地 13 个月的总凋落物量为 5825.64 kg·hm⁻², 年产量为 4402.79 kg·hm⁻²·a⁻¹。油松纯林大于松栎混交林的年凋落物量, 两者间差异显著(P < 0.05)。不论是 4 hm² 松栎混交林还是 1 hm² 油松纯林, 全年凋落物各种类器官中, 均是叶占比例最高, 分别为 64.43% 和 69.72%, 落叶量分别为 2348.36 kg·hm⁻²·a⁻¹ 和 3068.89 kg·hm⁻²·a⁻¹; 而营养器官(包括叶、枝、树皮)所占比例分别为 73.58% 和 81.20%。

4 hm² 混交林样地中, 油松年落叶量为 1159.04 kg·hm⁻²·a⁻¹, 占总量的 31.80%; 辽东栎叶凋落量为 1101.27 kg·hm⁻²·a⁻¹, 占总量的 30.21%, 两建群种的落叶量一共占总凋落量的比例为 62%。混交林中两建群种年凋落量在 95% 的置信区间内差异不显著。另外, 伴生树种落叶量为 88.05 kg·hm⁻²·a⁻¹, 占比 2.42%, 落叶量较多的树种有杜梨、茶条槭、鼠李, 落叶量分别为 41.02 kg·hm⁻²·a⁻¹, 14.98 kg·hm⁻²·a⁻¹ 和 12.07 kg·hm⁻²·a⁻¹, 伴生树种落叶量均不足 1%。枝的凋落量为 305.98 kg·hm⁻²·a⁻¹, 占比 8.39%, 树皮量为 27.45 kg·hm⁻²·a⁻¹。而生殖器官的比例为 21.91%, 年凋落量 798.50 kg·hm⁻²·a⁻¹, 其中辽东栎果实量最高, 为 607.72 kg·hm⁻²·a⁻¹。杂物量为 164.68 kg·hm⁻²·a⁻¹, 占比 4.52% (表 3)。

1 hm² 油松纯林中, 油松叶的年凋落量为 3001.64 kg·hm⁻²·a⁻¹, 占总凋落物量比例为 68.18%。其余树

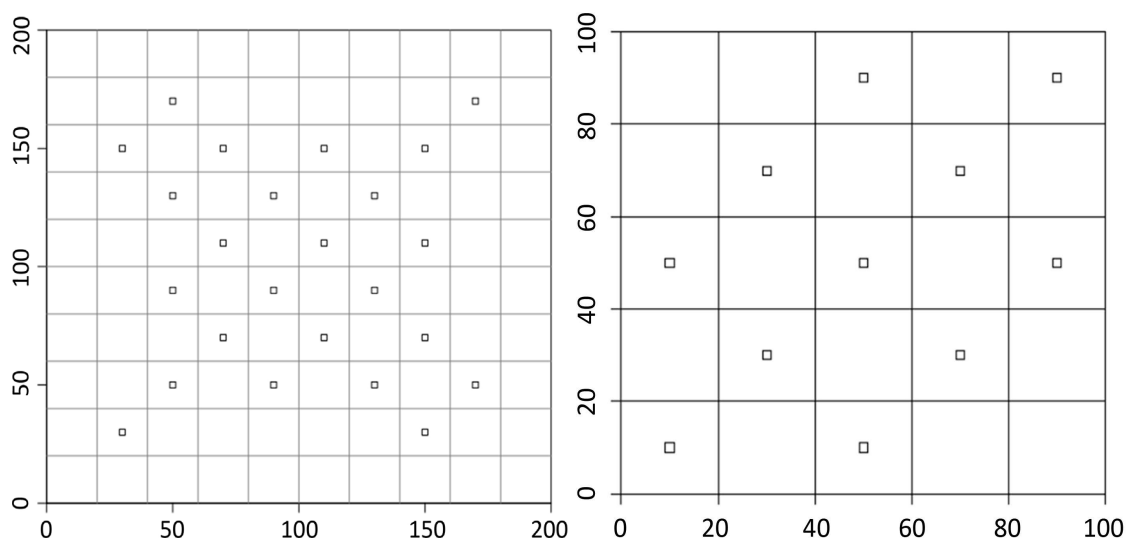


Figure 2. Litterfall traps distribution map of 4 hm² plot (left) and 1 hm² plot (right)

图 2. 4 hm² (左)和 1 hm² 样地(右)凋落物收集器分布图

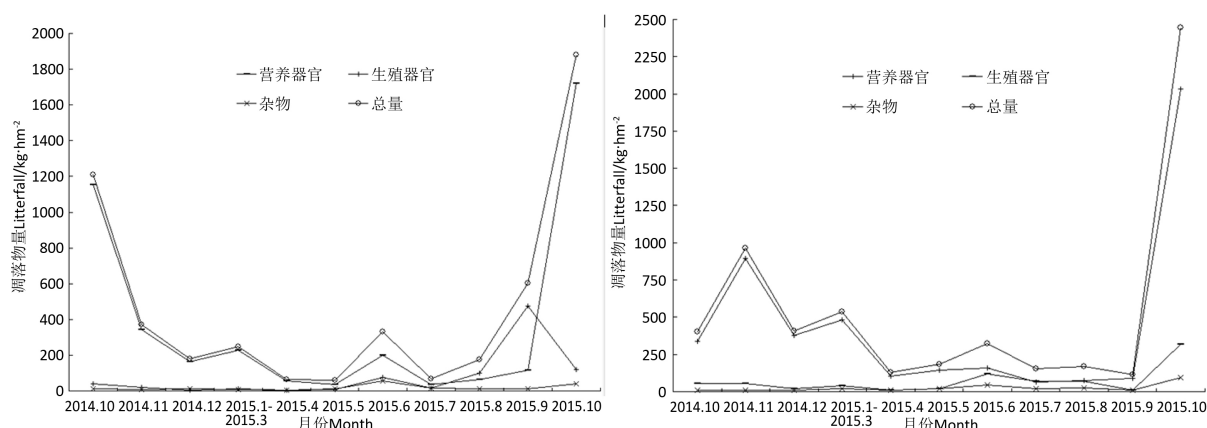


Figure 3. Monthly dynamics of total litterfall production and organs composition in 4 hm² plot (left) and 1 hm² plot (right)

图 3. 4 hm² (左)和 1 hm² (右)样地凋落物总量及器官组成月动态变化

种落叶量为 67.24 kg·hm⁻²·a⁻¹, 占总量 1.53%, 较多的有辽东栎、杜梨和茶条槭, 落叶量分别为 20.63 kg·hm⁻²·a⁻¹, 8.01 kg·hm⁻²·a⁻¹ 和 3.75 kg·hm⁻²·a⁻¹。枝和树皮的凋落量分别为 336.47 kg·hm⁻²·a⁻¹ 和 169.67 kg·hm⁻²·a⁻¹, 比重分别为 7.64% 和 3.85%。生殖器官比例为 13.60%, 其中, 油松球果 307.80 kg·hm⁻²·a⁻¹, 占总量的 6.99%; 油松雄球花的凋落量为 236.62 kg·hm⁻²·a⁻¹, 占总量比例为 5.37%。杂物量为 229.05 kg·hm⁻², 所占比例为 5.20% (表 4)。

4 hm² 松栎混交林样地各组分凋落量与 1 hm² 油松纯林样地相比, 在 95% 的置信区间内, 除了落枝量 ($P = 0.786$) 以及生殖器官量 ($P = 0.162$) 差异不显著外, 两者的落叶量 ($P = 0.006$)、树皮凋落量 ($P = 0.021$)、杂物量 ($P = 0.002$) 均差异显著。

4.2. 营养器官与生殖器官凋落动态特征

研究显示, 4 hm² 松栎混交林的凋落物月动态总体趋势为单峰型, 高峰为秋季 9、10、11 三个月。凋落量最高的月份为 10 月, 13 个月中最高的为 2015 年 10 月, 产量 1880.43 kg·hm⁻², 其次为 2014 年 10 月, 产量 1207.84 kg·hm⁻²。10 月约占全年的 40%~45%。2015 年 9 月和 2014 年 11 月分别为 603.89 kg·hm⁻²

Table 3. Annual litter components and the percentage in 4 hm² plot
表 3. 4 hm² 样地年凋落物组成及比例

组分	年凋落量(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	比例	组分	年凋落量(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	比例
油松叶	1159.04	31.80%	营养器官	2681.80	73.58%
油松雄球花	59.78	1.64%	生殖器官	798.50	21.91%
油松种子	20.06	0.55%	茶条槭叶	14.98	0.41%
油松球果	75.84	2.08%	杜梨叶	41.02	1.13%
辽东栎叶	1101.27	30.21%	忍冬叶	1.78	0.05%
辽东栎茱萸花序	26.42	0.72%	山楂叶	4.12	0.11%
辽东栎果实	607.72	16.67%	鼠李叶	12.07	0.33%
枝	305.98	8.39%	其他物种叶	14.08	0.39%
树皮	27.45	0.75%	其他物种花、果	8.68	0.24%
杂物	164.68	4.52%	总量	3644.97	100.00%

Table 4. Annual litter components and the percentage in 1 hm² plot
表 4. 1 hm² 样地年凋落物组成及比例

组分	年凋落量(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	比例	组分	年凋落量(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	比例
油松叶	3001.64	68.18%	辽东栎叶	20.63	0.47%
油松雄球花	236.62	5.37%	水栒子叶	3.94	0.09%
油松种子	48.01	1.09%	黄刺玫叶	3.33	0.08%
油松球果	307.80	6.99%	鼠李叶	2.00	0.05%
枝	336.47	7.64%	杜梨叶	8.01	0.18%
树皮	169.67	3.85%	茶条槭叶	3.75	0.09%
杂物	229.05	5.20%	其他物种叶	25.59	0.58%
营养器官	3575.03	81.20%	其他物种花、果	6.28	0.14%
生殖器官	598.72	13.60%	总量	4402.79	100.00%

和 370.62 kg·hm⁻²。秋季的高峰占全年的 70%左右。另外, 6 月有一个小高峰, 产量为 329.75 kg·hm⁻², 约为全年的 10%。2015 年 1 至 3 月的凋落量为 249.41 kg·hm⁻², 平均每月 83.14 kg·hm⁻²。冬季 12 月至次年 5 月及 7~8 月的凋落量很少。总体来看, 凋落物总量动态变化趋势与营养器官相近, 两者 Pearson 相关系数为 0.970, 相关性显著($P < 0.01$) (图 3 左)。

从凋落器官组成来看, 营养器官动态为单峰型, 凋落量最大的月份为 10 月份, 两年 10 月份的凋落量分别为 1155.19 kg·hm⁻² 和 1719.55 kg·hm⁻², 分别占月总量的 95.64%和 91.44%。从 2014 年 11 月至 2015 年 4 月, 营养器官所占比例也都在 90%左右。营养器官产量最少的月份为 5 月和 7 月, 凋落量分别为 37.87 kg·hm⁻² 和 34.81 kg·hm⁻²。2015 年 5 月至 7 月间, 每个月的营养器官的比重为 50%~65%, 8 月的比例为 36.55%, 而 9 月仅占月总量的 19.42% (图 3 左)。

生殖器官方面, 凋落动态为双峰型, 两个高峰分别为 6 月和 8、9、10 三个月。6 月第一个小高峰, 产量为 76.12 kg·hm⁻², 主要的组分是花。第二个高峰 8、9、10 三月中, 9 月凋落量最大, 为 475.90 kg·hm⁻²,

约占全年生殖器官总量的 60%；8 月和 10 月分别为 $100.26 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $121.47 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，三个月的生殖器官量占全年的 80% 以上，主要的组分是果实。9 月生殖器官量对月凋落总量贡献最大，占 3/4 以上，8 月的生殖器官凋落量占月总量的 57%，5~7 月占总量的比例在 15%~25% 之间，其余各月小于月总量的 8% (图 3 左)。

油松纯林的凋落动态也是单峰型，主要集中在秋冬季节 10、11、12 三个月。单月凋落量最大的月份为 2015 年 10 月，产量为 $2442.90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，其次是 2014 年 11 月，产量为 $963.63 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。2014 年 10 月和 12 月凋落量相近，分别为 $402.81 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $408.78 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。2015 年 1~3 月总和为 $537.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均每月为 $179.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。1~8 月份凋落量变化平缓，除去 6 月的 $322.42 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 稍高之外，其他月份相近且都很低。总凋落量与营养器官量变化趋势相近(图 3 右)，两者 Pearson 相关系数为 0.996，相关性显著($P < 0.01$) (图 3 右)。

营养器官组分凋落动态为单峰型，凋落集中在秋冬 10~12 月份。2014 年 10、11、12 月的产量分别为 $336.19 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $896.63 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $377.93 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；而 2015 年 10 月为 $2032.18 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，大于 2014 年 10~12 月三个月的总和。2015 年 7~9 月营养器官凋落量较少，在 $50 \sim 100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间，其中 2015 年 7 月最少，为 $64.04 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。2015 年 1~6 月间，每月的营养器官量在 $100 \sim 200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。2014 年 11 月至 2015 年 3 月，营养器官量约占月总凋落量的 90%，2015 年 6~8 月占总量比例较低，为 40%~50%，其余各月的占月总量的 80% 左右(图 3 右)。

生殖器官凋落动态为双峰型，6~8 月为第一个高峰，10 月是第二个高峰。2015 年 10 月是凋落量最大的月份，产量为 $315.86 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；2014 年 10 月和 11 月在 $55 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 左右。其次，2015 年 6 月也有一个生殖器官的小高峰，产量为 $119.33 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；2015 年 7、8 月份在 $70 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 左右。其余月份的凋落量很少，在 $20 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以下。从生殖器官在每月凋落物中所占的比重来看，2015 年 6~8 月所占比例较高，在 40% 左右，其余月份的比例均不足 15%，最低的 2014 年 12 月仅为月总量的 4.5% (图 3 右)。

4.3. 群落建群种凋落物各组分动态特征

在收集的时期内， 4 hm^2 样地收集到 29 个物种的凋落物， 1 hm^2 样地收集到 17 个物种的凋落物。我们发现，在两块样地上收集到的主要物种落叶量与物种的相对优势度有线性回归关系。 4 hm^2 样地上物种落叶量(y)与相对优势度(x)的回归模型为： $y = 55.457x - 3.312$ ，模型调整后的判断系数为 0.917； 1 hm^2 样地两者间的回归模型为： $y = 63.404x - 38.919$ ，模型调整后的判断系数为 0.998。

由于群落中油松和辽东栎优势度显著，在收集到的凋落物中占绝大比例，而其余物种接收到的凋落物很少，不具有较好的代表性，因此在讨论凋落动态时只讨论两群落中的建群种。

4 hm^2 样地和 1 hm^2 样地建群种的落叶为凋落营养器官的主要成分，两者间相关性显著($P < 0.01$)，Pearson 相关系数分别为 0.999 和 0.994。可以说建群种的落叶量主导了群落总凋落量。混交林样地中，辽东栎落叶集中在 10 月，占物种全年落叶量的 80% 以上，且 2014 年和 2015 年 10 月辽东栎落叶量较为接近，分别为 $927.97 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $891.71 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。除去 10 月之外，其余月份落叶量极少(图 4 上)。而两年的油松落叶动态有差异，在松栎混交林和油松纯林样地中，油松物种均是 11 月出现 2014 年月落叶量的最大值($278.52 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $879.16 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)，而 2015 年月落叶量最大值出现在 10 月($630.97 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $1690.26 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)，且远大于 2014 年 11 月的值(图 4 中，下)，这说明油松落叶可能有大小年的现象。两森林群落中油松叶月凋落动态具有显著相关性($P < 0.01$)，Pearson 相关系数为 0.985，两者动态相似。

4 hm^2 样地上，两建群种月凋落量相关性不显著($P > 0.05$)，说明两物种凋落动态存在差异。除 8、9、10 月之外，其余月份油松落叶量均大于辽东栎(图 5 左)。这主要有两方面因素：一是样地内油松多度和重要值大于辽东栎；二是两物种生理特性不同：油松是常绿针叶树种，换叶在全年都有发生，而辽东栎

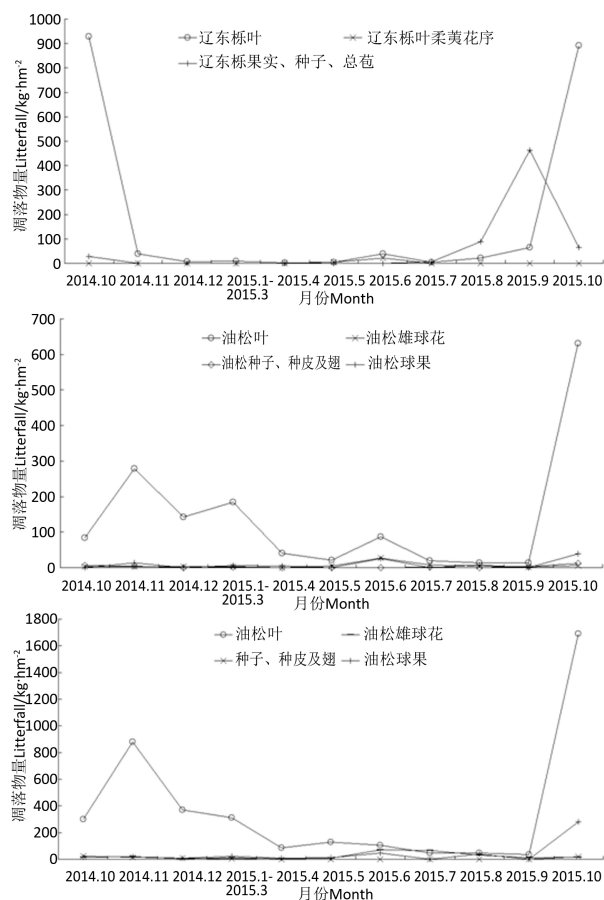


Figure 4. Monthly litterfall production dynamics of *Quercus wutaishanica* species (top), *Pinus tabuliformis* species (middle) in 4 hm^2 plot and *Pinus tabuliformis* species (bottom) in 1 hm^2 plot
图 4. 4 hm^2 样地辽东栎(上)、油松(中)物种及 1 hm^2 样地油松(下)物种凋落动态

是落叶阔叶树种，在生长期几乎不落叶。

生殖器官中花的部分，4 hm^2 样地的油松和辽东栎落花都集中在 6 月，油松雄球花产量为 $27.49 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，占雄球花年总量的 46%；辽东栎柔荑花序产量为 $22.54 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，占其年凋落量的 85%。6 月份 4 hm^2 样地上收集到的生殖器官中，油松球果、雄球花以及辽东栎柔荑花序各占约 1/3。油松辽东栎叶及生殖器官产量的升高共同导致了 6 月份的小高峰。而 1 hm^2 样地的油松雄球花凋落动态与 4 hm^2 样地不同，有两次高峰。一次是在 6~8 月，6、7、8 三个月分别为 $68.18 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ， $67.48 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $30.69 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，第一次高峰占全年凋落量的约 70%；另一次是秋冬季节 10、11 月份，14 年 10 月 11 月和 15 年 10 月分别为 $17.48 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ， $19.08 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $15.88 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，第二次高峰占全年的 15% 左右。其他的各月油松雄球花产量不足 $10 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (图 6 左)。夏季的油松雄球花凋落高峰是雄球花完成传粉后凋落，而秋冬季节的小高峰则是残留在枝头的雄球花在秋冬的风雨中脱落。

果实部分，油松种子雨在调查的两样地上时间均是 10~11 月，其余月份收集到的油松种子很少。2014 年 10 月、2014 年 11 月和 2015 年 10 月，4 hm^2 收集到的油松种子量分别为 $5.54 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ， $4.42 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $12.42 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (图 6 左)；1 hm^2 的油松种子量为 $22.23 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ， $16.05 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $17.78 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (图 6 右)。而油松球果凋落动态与种子不同，表现出一定的随机性。4 hm^2 样地球果凋落量较高的几个月份为 2014

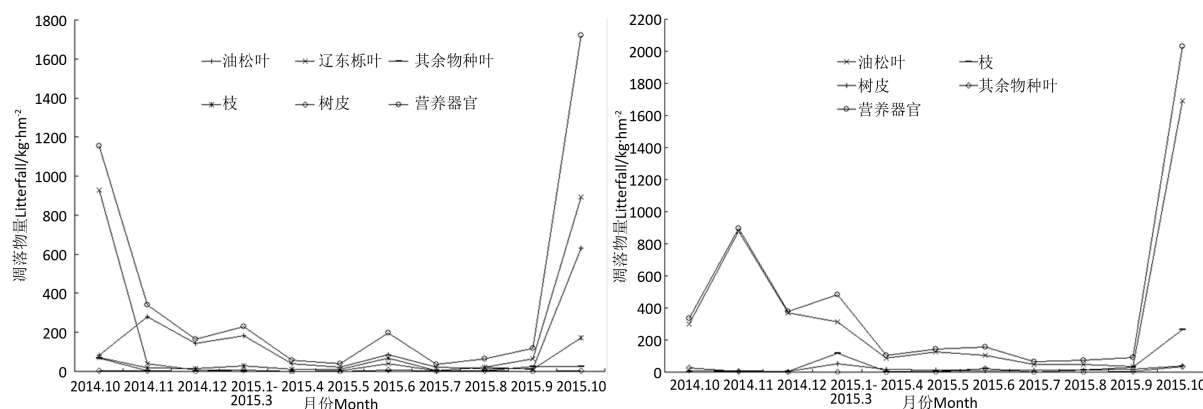


Figure 5. Monthly dynamics of nutritive organs and each components in litterfall production in 4 hm² plot (left) and 1 hm² plot (right)
图 5. 4 hm² (左)和 1 hm² (右)样地凋落物营养器官各组分月动态变化

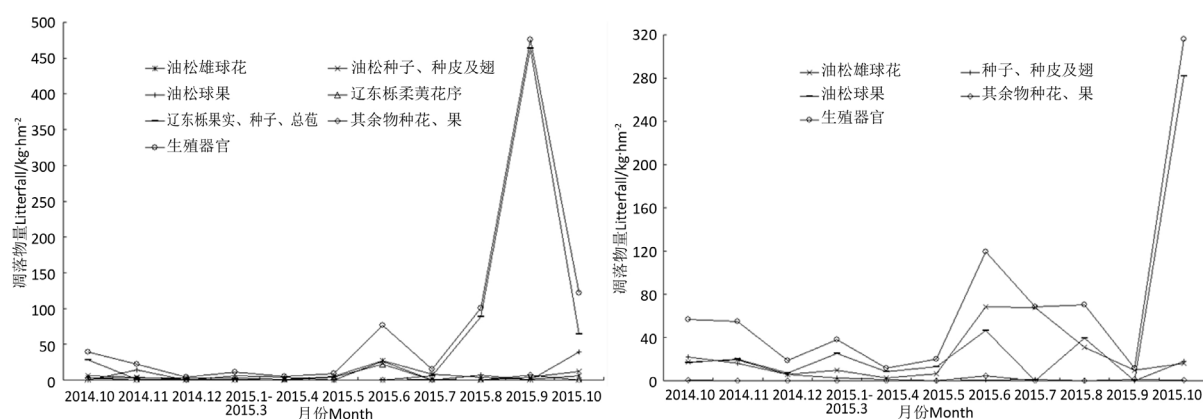


Figure 6. Monthly dynamics of reproductive organs and each components in litterfall production in 4 hm² plot (left) and 1 hm² plot (right)
图 6. 4 hm² (左)和 1 hm² (右)样地凋落物生殖器官各组分月动态变化

年 11 月, 2015 年 6 月和 10 月, 三个月的凋落量分别为 14.03 kg·hm⁻², 25.74 kg·hm⁻² 和 39.24 kg·hm⁻²。2014 年 10 月、12 月和 2015 年 5 月、7 月、9 月未收集到油松球果。其余月份油松球果凋落量在 10 kg·hm⁻² 以下(图 6 左)。1 hm² 样地收集到油松球果量较多的三月份为 2015 年 6 月、8 月、10 月, 各月的球果量分别为 46.51 kg·hm⁻², 39.17 kg·hm⁻² 和 281.817 kg·hm⁻²。2015 年 7 月和 9 月收集到的油松球果量为 0。其余月份收集到的球果量低于 25 kg·hm⁻² (图 6 右)。

4 hm² 样地上辽东栎种子雨集中在 8~10 月, 2015 年 8、9、10 三个月收集到的辽东栎果实量分别为 88.92 kg·hm⁻², 463.76 kg·hm⁻² 和 64.07 kg·hm⁻², 三个月的总和接近总量的 95%。另外, 8、9、10 三月辽东栎果实为凋落物中生殖器官的主要成分, 其在各月生殖器官凋落量中所占的比例分别为 88.69%, 97.45% 和 52.75%。9 月份为辽东栎种子雨高峰, 辽东栎果实是该月占比最大的组分。另外, 2014 年 10 月和 2015 年 7 月辽东栎果实量分别为 27.70 kg·hm⁻² 和 6.30 kg·hm⁻²。其余月份辽东栎果实量低于 1 kg·hm⁻² (图 6 左)。

由于凋落物中不同组分含量差异很大, 在绘制动态变化曲线时, 我们专门将产量较少的组分放在一起进行了比较, 以便更清晰的反映它们的动态(图 7)。

松栎混交林样地的枝凋落量在 2015 年 10 月最大, 为 170.46 kg·hm⁻²。2014 年 10 月和 2015 年 6 月相近, 分别为 71.60 kg·hm⁻² 和 66.40 kg·hm⁻²。油松纯林的最大枝凋落量同样出现在 2015 年 10 月, 达 266.43 kg·hm⁻², 其他月份落枝很少(图 7 左, 右)。两群落各月枝凋落量相关性极显著($P < 0.01$), 凋落动态相似, Pearson 相关系数为 0.824。4 hm² 样地上, 树皮产量最高的为 2015 年 6 月(5.97 kg·hm⁻²), 最低的为

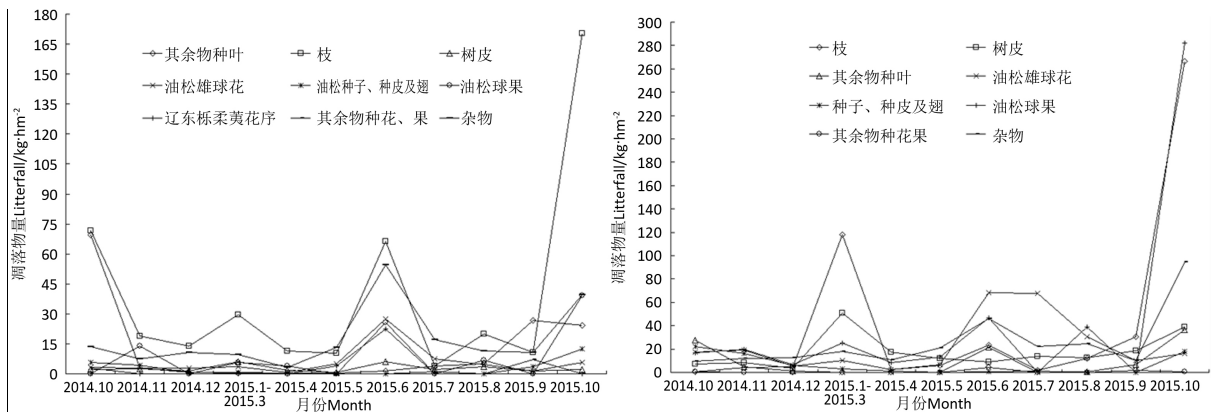


Figure 7. Monthly dynamics of minor components in litterfall production in 4 hm² plot (left) and 1 hm² plot (right)

图 7. 4 hm² (左)和 1 hm² (右)样地凋落物产量较低组分月动态变化

2015 年 5 月(0.80 kg·hm⁻²); 1 hm⁻² 样地最高的为 2015 年 10 月(38.90 kg·hm⁻²), 最低的为 2014 年 12 月(3.81 kg·hm⁻²)。树皮的产各月之间波动差异不大, 也没有明显的规律性(图 7 左, 右)。两块样地的树皮凋落动态无显著相关性, 即存在一定的差异。导致这一现象的原因, 可能是两者物种组成不同以及林龄上的差异。

由图 7 还可以看出, 杂物部分 4 hm² 的凋落量很少, 2015 年 6 月及 10 月为凋落量的两个峰值, 分别为 54.65 kg·hm⁻² 和 39.41 kg·hm⁻²。其中, 6 月杂物量较高是由于昆虫的活动。其余各月产量小于 20 kg·hm⁻² (图 7 左)。1 hm² 凋落物中的杂物量与 4 hm² 样地相似, 两个峰值出现在 2015 年 6 月和 10 月, 分别为 45.90 kg·hm⁻² 和 94.86 kg·hm⁻²。其余月份杂物量小于 25 kg·hm⁻²。

5. 讨论

5.1. 松栎混交林与油松纯林凋落量差异分析

森林群落凋落量与纬度、温度、气候、林龄、森林类型、树种组成以及物种自身特性等因素有关[13]。武启骞等研究发现, 降水量对凋落量有显著影响[14]。目前已有研究表明, 一般而言凋落物产量随纬度升高而降低[15]; 针阔混交林凋落物产量和养分归还量大于纯林[16]; 原始森林凋落量高于天然次生林[13]。骆宗诗等的研究指出, 由于人的经营管理, 人工林的凋落量会高于天然林[17], 而郭婧等的研究得出了不同的结论, 次生林比杉木人工林凋落物量大[18]。本研究中, 灵空山松栎混交林年凋落量为 3644.97 kg·hm⁻²·a⁻¹, 与平朔露天煤矿复垦区刺槐油松混交林年凋落物量 3787.28 kg·hm⁻²·a⁻¹ 相近[9], 略低于福建武夷山甜槠林(3.896 t·hm⁻²·a⁻¹) [19], 约是绵阳官司河流域马尾松麻栎混交林的 2/3 (5.701 t·hm⁻²·a⁻¹) [17]。油松纯林的年凋落量为 4402.79 kg·hm⁻²·a⁻¹, 接近湖南会同杉木人工林的凋落量(4.479 t·hm⁻²·a⁻¹) [20]。一般而言混交林凋落量大于纯林[16], 本研究的结果与此结论不符。这主要是因为影响凋落物产量的因素有很多, 而在此处可能是由于两样方林龄有差异等原因所导致的。另外, 油松落叶的年际波动也可能对研究结果产生影响。本研究中森林群落凋落物量也与 Bray 研究所得的全球温带森林年凋落量 3.1~4.9 t·hm⁻²·a⁻¹ 的范围相符[21]。

5.2. 凋落物各组分所占比例

凋落物中各组分所占的比例差异很大。Aber 等的研究结果表明, 一般而言, 温带森林群落中凋落物各组分所占比例如下: 叶在 49.6%~100.0%之间; 枝的比例为 0%~37%; 果实为 0%~32%之间, 其余组分为 10%左右[22]。其中, 叶是植物进行光合作用, 固定太阳能, 维持植物生长的关键营养器官,

叶片在凋落物总量中所占的比例也最大,对养分的归还起重要作用。本研究中,松栎混交林和油松纯林的落叶量占总量的65%~70%,在一般值60%~80% [1]之间。营养器官总量占凋落物量的70%~80%。树枝树皮量约占总量的10%,这其中,树枝占绝大部分(约8%),树皮量小于总量的5%。

凋落物中的营养器官与生殖器官比例,主要受物种自身特性、林型和树种组成以及林龄的影响。已有研究表明,老龄林生殖器官凋落量大于中龄林[2],大体上生殖器官产量随林龄增加而增加[14]。物种自身的生存繁殖策略也会影响生殖器官的比例。目前对凋落物按营养器官和生殖器官进行分类的研究不多,开展这方面的研究可以促进对不同植物物种生存繁衍策略的认识。

5.3. 营养器官与生殖器官凋落动态

以往研究显示,凋落物一般具有明显的月动态变化特征[23],常见的动态类型有单峰型、双峰型以及不规则型[1]。研究发现灵空山森林群落凋落动态主要呈现单峰型。松栎混交林与油松纯林在6月份有一个小高峰,主要的落叶高峰在秋季10、11月份出现。这与王凤友[1]和侯玲玲[13]研究中的小兴安岭枫桦红松林有所相似,但本研究中的小波峰明显较低,因而年凋落动态不呈现双峰型。由于落叶为凋落物主要组分,落叶的动态主导了凋落物量的变化动态。

不同树种的凋落格局不同。辽东栎在生长季节和冬季凋落量极少,落叶集中在秋季10月份,落叶量达全年的80%,且收集到的两次峰值十分接近,有比较明显的规律性。而油松全年都有落叶,两年的落叶峰值月份不同,凋落量差距也很大,但大体上也是单峰型,主要集中在秋冬10、11、12三个月。

油松和辽东栎两物种落花都是6月为峰值,而辽东栎种子雨为8~10月,油松种子雨为10~11月。已有的研究成果指出,常绿针叶林用于生殖器官生长的养分分配较多,而落叶阔叶树果实小,质量轻[13][18]。但本研究中油松的生殖器官凋落量远小于辽东栎。引起这一结果的一个原因可能是研究的对象树种不同,其生物学特性差异导致生存繁殖策略不同;另一方面原因可能是油松球果成熟周期较长,并且其凋落动态也存在大小年现象,研究的年份不同,结果也有差异。

关于6月的小高峰,4 hm²样地上两物种落叶量均有所升高,而1 hm²油松纯林样地的油松落叶量没有明显变化,只是由于生殖器官凋落量增加而形成小波峰。这可能是由于6月份混交林达到郁闭,下层叶片因缺少光照而凋落[1],而针叶林郁闭度低于混交林,未出现叶片凋落情况。另一种解释可能是6月正值两建群种的花期,混交林中种间竞争比较激烈,再加上物种在进行生殖生长时需要养分较多,导致营养器官生长养分不足,从而引起部分叶片凋落。

总体而言,两样地上的营养器官凋落动态为单峰型,峰值在深秋出现;而生殖器官凋落动态为双峰型,两个峰值分别为夏季6月份花凋落高峰和秋季9、10月份果实凋落高峰。通过研究凋落物中器官含量动态变化情况,可以了解森林群落主要物种生长特性,也可以反映物种对环境的适应情况。

基金项目

国家自然科学基金(31400358),山西大学第十五期本科生科研训练项目(2017015083)。

参考文献

- [1] 王凤友. 森林凋落量综述研究[J]. 生态系统学进展, 1989, 6(2): 95-102.
- [2] 汪思龙, 陈楚莹, 王清奎, 等. 森林残落物生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [3] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 森林凋落物研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 60-64.
- [4] 何帆. 秦岭林区油松、锐齿栎林凋落叶分解及其凋落物储量动态研究[D]: [博士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [5] 吕瑞恒, 李国雷, 刘勇, 等. 不同林龄油松针叶凋落物初期分解特性比较[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),

- 2013, 37(2): 39-44.
- [6] 崔建国, 谭娟. 辽西油松蒙古栎林下凋落物现存量及持水能力的研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2): 154-155.
 - [7] 姜沛沛, 曹扬, 陈云明, 等. 不同林龄油松(*Pinus tabulaeformis*)人工林植物、凋落物与土壤 C、N、P 化学计量特征[J]. 生态学报, 2016, 36(19): 6188-6197.
 - [8] 刘向东, 吴钦孝, 赵鸿雁. 黄土高原油松人工林枯枝落叶层水文生态功能研究[J]. 水土保持学报, 1991(4): 87-92.
 - [9] 卢宁, 李晋川, 岳建英, 等. 平朔露天煤矿复垦区刺槐油松混交林凋落物量及动态特征[J]. 山西农业科学, 2016, 44(1): 36-39.
 - [10] 马承恩, 孔德良, 陈正侠, 等. 根系在凋落物层中的生长及其对凋落物分解的影响[J]. 植物生态学报, 2012, 36(11): 1197-1204.
 - [11] 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.
 - [12] 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.
 - [13] 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.
 - [14] 武启骞, 王传宽, 张全智. 6 种温带森林凋落量年际及年内动态[J]. 生态学报, 2017, 37(3): 760-769.
 - [15] Vogt, K.A., Grier, C.C. and Vogt, D.J. (1986) Production, Turnover, and Nutrient Dynamics of Above- and Below-ground Detritus of World Forests. *Advances in Ecological Research*, **15**, 303-377.
 - [16] Wang, Q., Wang, S. and Huang, Y. (2008) Comparisons of Litterfall, Litter Decomposition and Nutrient Return in a Monoculture *Cunninghamia lanceolata*, and a Mixed Stand in Southern China. *Forest Ecology & Management*, **255**, 1210-1218. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.10.026>
 - [17] 骆宗诗, 向成华, 慕长龙. 绵阳官司河流域主要森林类型凋落物含量及动态变化[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1772-1781.
 - [18] 郭婧, 喻林华, 方晰, 等. 中亚热带 4 种森林凋落物量、组成、动态及其周转期[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4668-4677.
 - [19] 林益明, 何建源, 杨志伟, 等. 武夷山甜槠群落凋落物的产量及其动态[J]. 厦门大学学报(自然版), 1999, 38(2): 280-286.
 - [20] 宁晓波, 项文化, 王光军, 等. 湖南会同连作杉木林凋落物量 20 年动态特征[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 5122-5129.
 - [21] Bray, J.R. and Gorham, E. (1964) Litter Production in Forests of the World. *Advances in Ecological Research*, **2**, 101-157. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60331-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60331-1)
 - [22] Aber, J.D., Melillo, J.M. and Mcclaugherty, C.A. (1990) Predicting Long-Term Patterns of Mass Loss, Nitrogen Dynamics, and Soil Organic Matter Formation from Initial Fine Litter Chemistry in Temperate Forest Ecosystems. *Botany-Botanique*, **6**, 2201-2208. <https://doi.org/10.1139/b90-287>
 - [23] 张东来. 帽儿山林区两种主要林分类型凋落物研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5665, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: br@hanspub.org