

# 东北地区主要森林生态系统凋落量的比较<sup>\*</sup>

李雪峰<sup>1,2</sup> 韩士杰<sup>1\* \*</sup> 李玉文<sup>3</sup> 侯炳柱<sup>4</sup> 李雪莲<sup>5</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; <sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100039; <sup>3</sup> 东北林业大学, 哈尔滨 150040;

<sup>4</sup> 吉林市龙潭区杨木林场, 吉林 132200; <sup>5</sup> 吉林市龙潭区江密峰苗圃, 吉林 132206)

**摘要** 以东北地区不同纬度带上 4 个区域内的典型森林类型为研究对象, 采用直接收集法对森林凋落量进行连续 3 年的观测研究, 结果表明, 同一地区不同林型间的年凋落量差异显著, 凋落量年变化不显著; 落叶量占总量的比例最大, 在 70% 以上, 落枝和花果皮各占总量的 20% 以下, 落枝量和落叶量之间存在正相关关系, 相关系数为 0.82; 长白山区 5 种森林类型不同时期内凋落量统计结果显示, 秋、冬季的凋落量明显大于春、夏季, 前者为后者的 2.62~ 9.14 倍. 不同凋落组分之间凋落动态不同, 落叶以秋季为主, 落枝和花果皮则年内分布比较均匀. 同一林型的凋落量随纬度增加而减少, 并建立了总体森林凋落量和白桦凋落量随纬度变化的数学关系式; 总体森林凋落量和白桦林凋落量与温度均呈正相关, 相关系数分别为 0.95 和 0.91.

**关键词** 凋落量 森林类型 凋落组分 年变化

**文章编号** 1001- 9332(2005)05- 0783- 06 **中图分类号** S718 **文献标识码** A

Litterfall in main forest ecosystems of Northeast China. LI Xuefeng<sup>1,2</sup>, HAN Shijie<sup>1</sup>, LI Yuwen<sup>3</sup>(<sup>1</sup>Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; <sup>2</sup>Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; <sup>3</sup>Northeast Forestry University, Harbin 150040, China). Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16( 5): 783~ 788.

A three-year investigation on the litterfall of 15 forests in 4 different regions of Northeast China showed that the annual litterfall had a significant difference among forest types in the same region, but no significant difference was found between years. In the litterfall, leaf occupied 70% and more, while branch, flower and fruit were less than 20%. The branch production correlated positively with leaf production, and the correlation coefficient was 0.82. According to the investigation of 5 forest types in Changbai Mountain, the litterfall was 2.62~ 9.14 times higher in autumn and winter than in spring and summer. The peak of leaf fall appeared in autumn, while that of branch and others withered evenly during a year. The litterfall of same forest type decreased with increasing latitude, and the relationships of the total and birch litterfall with latitude were established. Both the total and the birch litterfall were positively related to annual mean temperature, with the correlation coefficient 0.95 and 0.91, respectively.

**Key words** Litterfall, Forest type, Litter components, Litter dynamics.

## 1 引言

森林凋落物是指森林生态系统内, 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的来源, 借以维持森林生态系统功能的总称<sup>[1,2,7,9,17,18]</sup>. 凋落物作为森林系统的一种重要结构和功能单元, 是森林生态系统物质循环和能量流动的重要途径, 并且地表积累森林凋落物会深刻影响到土壤的物理化学性质, 进而影响森林的生产力和生物量<sup>[3,14~16,30]</sup>. 同时, 它还是土壤动物、微生物的能量和物质来源, 对促进和维持整个生态系统平衡起着重要作用<sup>[11,13,22]</sup>. 有关森林凋落量的研究国内外都有大量报道, 但是多注重其养分归还方面的贡献<sup>[4~6,8,10,12,14,20,21,23]</sup>. 目前, 国内对天然林和人

工林凋落物产量、组成、动态和不同发育阶段的凋落量以及凋落量年际间的变化研究较多, 但多以南方的森林类型为主. 现有的研究多针对某一个区域内的几个森林类型进行<sup>[8,10~13,15,18,22,25,26,28,29]</sup>, 缺乏在大范围内对不同气候区域的多个森林类型进行系统的研究, 尤其是对我国东北地区典型温带森林凋落量的研究更为稀少<sup>[4,5,27]</sup>. 本文对我国东北地区沿纬度梯度分布的主要森林类型 3 年凋落量进行统计分析和对比研究, 探讨同一气候条件下不同森林凋落物产量、组成特征、季节动态变化以及不同气候条件下相同树种凋落物产量、组成特征间的差异, 以

<sup>\*</sup> 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX2SW20203) 和国家重大基础研究计划资助项目(2002CB412502).

<sup>\*\*</sup> 通讯联系人. E2mail: hansj@iae.ac.cn  
2004- 05- 26 收稿, 2004- 09- 06 接受.

期丰富我国东北地区森林生态系统凋落物量方面的研究.

2 研究区域与研究方法

211 研究地区概况

21111 长白山区 研究地点位于吉林省安图县长白山自然保护区内(44°42′~ 44°45′N, 127°33′~ 128°16′E). 长白山地处温带, 属于受季风影响的温带大陆性气候. 年平均温度 21.9℃, 年平均降水量 700 mm 左右. 由于海拔高度不同, 形成明显的植被垂直带: 低于 500 m 为次生阔叶林; 500~ 1 100 m 以阔叶红松(*Pinus koraiensis*) 林为主, 在河边水湿地段则形成以胡桃楸(*Juglans mandshurica*) 占优势的阔叶林, 经过人为皆伐的地方被先锋树种占据, 形成白桦(*Betula platyphlla*) 林、山杨(*Populus davidiana*) 林和白桦/山杨混交林; 1 100~ 1 700 m 为云冷杉(*Picea* spp, *Abies* spp.) 林; 1 700~ 2 100 m 为亚高山岳桦(*Betula ermanii*) 林; 2 100 m 以上为高山冻原. 其相应的土壤种类分别为暗棕壤、山地暗棕色森林土、山地暗针叶林土、山地生草森林土和山地苔原土. 本区地形复杂, 雨量充沛, 植物种类繁多, 达 1 700 多种, 森林类型丰富.

21112 帽儿山森林生态研究站 研究区位于黑龙江省哈尔滨市附近的老爷岭地区(44°45′N, 128°16′E), 属于低山丘陵, 最高处海拔为 805 m. 地带性顶级植被为阔叶红松林, 但经过人为干扰和采伐的地方形成典型的天然次生林, 以白桦(*Betula platyphalla*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*) 和落叶松(*Larix* sp.) 为主. 气候属温带大陆性季风气候, 年平均温 21.6℃, 年平均降水量 723 mm, 多集中在 7~ 8 月, 无霜期 120~ 140 d, 土壤为暗棕壤.

21113 小兴安岭凉水自然保护区 研究区位于黑龙江省伊春市附近、小兴安岭的南坡(47°7′N, 128°50′E), 海拔 707 m, 地带性顶级植被为阔叶红松林. 该地区为红松(*Pinus koraiensis*) 分布的北限, 人为干扰和采伐过的地方形成以白桦和落叶松为优势种的天然次生林. 土壤为暗棕壤, 年平均降水量 676 mm, 年平均气温 0℃左右.

21114 大兴安岭加格达奇区 研究区位于黑龙江省加格达奇附近(50°45′N, 130°36′E). 本区地带性顶级植被为兴安落叶松(*Larix olgensis*) 林, 阳坡则以耐干旱的蒙古栎和樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) 为优势种. 气候属于寒温带湿润季风气候, 是我国最寒冷的地区. 冬季漫长而严寒, 可达 5~ 7 个月, 年平均气温在 0℃以下, 年平均降水量 500 mm 左右. 冬天雪少, 雪盖厚度一般 20 cm 左右, 土壤冻结很深. 土壤为棕色针叶森林土.

212 研究方法

在上述 4 个气候区域中各选择 3~ 5 个具有代表性的森林类型(表 1). 为了使森林类型间具有可比性, 供试的森林类型满足如下条件: 1) 森林均处于各自的稳定成熟阶段; 2) 处于不同气候区域的同种森林类型的林龄和郁闭度尽量一致.

表 1 各种森林类型概况  
Table 1 Environmental conditions of forest types

研究区域 Areas	森林类型 Forest types	郁闭度 Coverage	林 龄 Forest ages (yr)
N	A	01.7~ 01.8	100~ 200
	B	01.6~ 01.7	50~ 60
	C	01.5~ 01.6	50~ 60
	D	01.6~ 01.7	50~ 60
	E	01.3~ 01.4	60~ 70
O	E	01.3~ 01.4	60~ 70
	B	01.5~ 01.6	50~ 60
	G	01.5~ 01.6	50~ 60
O	F	01.4~ 01.5	50~ 60
	G	01.4~ 01.5	40~ 50
	B	01.5~ 01.6	50~ 60
O	A	01.6~ 01.7	100~ 200
	B	01.6~ 01.7	50~ 60
	F	01.4~ 01.5	50~ 60
	G	01.4~ 01.5	50~ 60

N. 长白山区 Changbai Mountain; O. 帽儿山森林生态系统研究站 Maoer Mountain Research Station of Forest Ecosystem; O. 凉水保护区 Liangshui Conservation; O. 大兴安岭区 Daxinganling Mountain. A: 红松阔叶林 *Pinus koraiensis* broadleaved forest; B: 白桦纯林 *Betula platyphlla* forest; C: 山杨纯林 *Populus davidiana* forest; D: 白桦/山杨混交林 *B. platyphlla* and *P. davidiana* mixed forest; E: 胡桃楸林 *Juglans mandshurica* forest; F: 蒙古栎林 *Quercus mongolica* forest; G: 兴安落叶松林 *Larix olgensis* forest. 下同 The same below.

凋落物的收集采用直接收集方法, 在已选定的林分中, 分别按照一定距离间隔随机放置 6~ 8 个 1 m @ 1 m @ 01.25 m 的凋落物收集器, 置于离地面 50 cm 高处, 凋落物收集从 2001 年开始在 4 个区域的 15 个林型中进行, 每 3 个月收集一次, 将凋落物分成叶、枝和花果杂物等 3 种组分, 于 60℃条件下烘干后分别称重, 然后推算出 1 hm<sup>2</sup> 枝、叶和花果皮的年凋落量和总体年凋落量.

3 结果与分析

311 凋落物量、组成特征和节律变化

31111 凋落物量 影响森林凋落量的主要因素是气候、森林演替阶段(年龄)和森林类型, 并且森林凋落量年际间差异很大<sup>[7~ 10, 13, 14, 20, 21, 25, 28]</sup>. 枯枝落叶量随森林年龄的变化趋势近似于 Logistic 曲线<sup>[7, 9, 17]</sup>. 对每个气候区域内所有森林类型中的凋落量进行双因素方差分析, 以保证在温度和水分尽量一致的条件下, 判定森林类型和年份两个因子对凋落量的影响. 4 次双因素方差分析结果表明, 同一区域内不同林型间森林凋落量(3 年平均值)差异均极显著( $P < 0.01$ ). 其中, 长白山区 5 种林型年平均凋落量大小比较结果为胡桃楸林> 红松阔叶林> 白桦纯林> 白桦/山杨混交林> 山杨纯林; 帽儿山森林生态研究站 4 种林型平均凋落量为胡桃楸林> 蒙古栎林> 白桦林> 长白落叶松林; 小兴安岭凉水自然保护区 3 种林型年平均凋落量为红松阔叶林> 白桦林> 长白落叶松林; 大兴安岭加格达奇区 3 种林型间年平均凋落量为兴安落叶松林> 蒙古栎林> 白桦林(表 2).

多重比较表明, 长白山区白桦纯林和白桦2山杨混交林之间凋落量差异不显著, 而其余各森林类型间差异显著.

表 2 各森林的年凋落量  
Table 2 Annual litter productions in forests (t#hm<sup>-2</sup>)

研究区 Areas	森林类型 Forest type	年 份 Years			平均 Average	标准差 S. D.	变异系数 C. V.(%)
		2001	2002	2003			
N	A	3i 887	3i 990	4i 202	4i026	0i160	0i039
	B	3i 833	3i 656	4i 023	3i851	0i096	0i025
	C	2i 915	2i 849	3i 149	2i971	0i157	0i053
	D	3i 330	3i 703	3i 536	3i523	0i186	0i053
	E	4i 974	5i 336	5i 154	5i154	0i181	0i035
O	B	3i 245	3i 194	2i 913	3i117	0i178	0i057
	E	4i 428	4i 603	4i 198	4i410	0i203	0i046
	F	3i 863	4i 039	3i 764	3i888	0i139	0i036
O	G	2i 177	2i 041	2i 278	2i165	0i118	0i054
	A	3i 543	3i 300	3i 628	3i490	0i170	0i049
	B	2i 661	2i 792	2i 816	2i756	0i083	0i030
O	G	1i 945	1i 936	1i 847	1i909	0i054	0i028
	B	1i 087	0i 833	1i 065	0i995	0i140	0i140
	F	1i 198	1i 243	1i 412	1i284	0i113	0i088
	G	1i 782	1i 409	1i 398	1i529	0i112	0i073

连续 3 年的凋落量统计分析表明, 长白山区森林凋落量年际变化显著(P < 0i05), 帽儿山森林生态研究站、小兴安岭凉水自然保护区和大兴安岭加格达奇区森林凋落量年变化不显著(P > 0i05).

3i112 凋落物组成 由表 3 可以看出, 在所有供实验的森林类型中, 落叶在凋落物中所占比例最大, 在 70% 以上, 其中胡桃楸林凋落叶占总量的比例最大(82% 以上), 蒙古栎林所占比例最小(75% 以下). 落枝在凋落物总量中所占比例为 4% ~ 17%, 蒙古栎林落枝占总量的比例最大(14% 以上), 胡桃楸最小, 在 6% 以下. 这与胡桃楸和蒙古栎的生物学特性有关. 胡桃楸侧枝稀少而叶片大, 为奇数羽状复叶, 使落叶占凋落总量的比例加大, 落枝占凋落总量的比例减小. 相反, 蒙古栎树冠大、侧枝多, 很多叶片在秋季并不脱落而是连接在枝条上, 因此降低了蒙古栎落叶占凋落总量的比例而提高了枝的比例. 花果皮等杂物占凋落总量的比例在 4% ~ 12% 之间. 红松阔叶林花果皮等杂物占凋落总量的比例最大(12%), 白桦林花果皮等杂物占的比例最小. 这是由于白桦的种子属于风媒转播的种子, 并不具有山杨式的花序, 质量轻. 而红松阔叶林中红松在秋季脱落大量球果, 增加了该组分在总量中的比重. 本文所研究的 15 个森林类型中, 有 11 林型枝占总量的百分比要大于花果皮等杂物.

由表 3 可见, 不同森林类型间落枝和凋落的花果皮等杂物占凋落总量的比例差异不显著(P > 0i05), 而落枝占总量的比例与凋落的花果皮等杂物占凋落总量的比例之间存在差异显著(0i05 < P <

0i01). 相关分析表明, 落枝量和凋落的花果量之间极不相关(r = 0i215), 落叶与落枝之间显著相关(r = 0.82), 但是落叶与凋落的花果皮之间相关性不显著(r = 0i497).

表 3 3 种凋落物组分的凋落量及占总量的百分比  
Table 3 Production of different litter components(t#hm<sup>-2</sup>)(Data in the parenthesis are percentages)

研究区域 Areas	森林类型 Forest types	凋落组分 Litter components	年 份 Years			平均值 Average
			2001	2002	2003	
N	A	叶 Leaf	2189 (74)	3109 (78)	3112 (74)	3i03 (75)
		枝 Branch	0154 (14)	0i41 (10)	0i56 (13)	0i51 (13)
		花果 Others	0i45 (12)	0i49 (12)	0i52 (13)	0i48 (12)
	B	叶 Leaf	3i26 (85)	3i08 (84)	3i37 (84)	3i24 (85)
		枝 Branch	0i36 (9)	0i42 (11)	0i53 (13)	0i44 (11)
		花果 Others	0i22 (6)	0i17 (5)	0i11 (3)	0i17 (4)
	C	叶 Leaf	2i53 (87)	2i47 (87)	2i64 (84)	2i55 (86)
		枝 Branch	0i21 (7)	0i23 (8)	0i28 (90)	0i24 (8)
		花果 Others	0i16 (6)	0i14 (5)	0i22 (7)	0i17 (6)
O	D	叶 Leaf	2i74 (88)	3i08 (84)	2i95 (83)	2i92 (83)
		枝 Branch	0i23 (7)	0i50 (13)	0i41 (12)	0i38 (11)
		花果 Others	0i16 (5)	0i10 (3)	0i17 (5)	0i14 (6)
	E	叶 Leaf	4i44 (89)	4i53 (84)	4i58 (89)	4i51 (87)
		枝 Branch	0i19 (4)	0i21 (4)	0i20 (4)	0i20 (4)
		花果 Others	0i35 (7)	0i62 (12)	0i38 (7)	0i45 (9)
	B	叶 Leaf	2i66 (82)	2i58 (81)	2i30 (79)	2i51 (81)
		枝 Branch	0i32 (10)	0i43 (13)	0i41 (14)	0i39 (12)
		花果 Others	0i26 (8)	0i19 (6)	0i20 (7)	0i22 (7)
O	E	叶 Leaf	3i50 (79)	3i54 (77)	3i44 (82)	3i49 (79)
		枝 Branch	0i58 (13)	0i74 (16)	0i53 (6)	0i62 (14)
		花果 Others	0i35 (8)	0i32 (7)	0i26 (12)	0i31 (7)
	F	叶 Leaf	2i94 (76)	2i87 (71)	2i82 (75)	2i88 (74)
		枝 Branch	0i54 (14)	0i72 (18)	0i49 (13)	0i58 (15)
		花果 Others	0i39 (10)	0i45 (11)	0i45 (12)	0i43 (11)
	G	叶 Leaf	1i78 (82)	1i69 (83)	1i82 (80)	1i76 (81)
		枝 Branch	0i17 (8)	0i18 (9)	0i21 (9)	0i19 (9)
		花果 Others	0i22 (10)	0i17 (8)	0i25 (11)	0i21 (10)
O	A	叶 Leaf	2i94 (83)	2i67 (81)	2i83 (78)	2i81 (81)
		枝 Branch	0i25 (7)	0i17 (5)	0i36 (10)	0i26 (7)
		花果 Others	0i35 (10)	0i46 (14)	0i44 (12)	0i42 (12)
	B	叶 Leaf	2i21 (83)	2i40 (86)	2i31 (82)	2i31 (84)
		枝 Branch	0i24 (9)	0i22 (8)	0i28 (10)	0i25 (9)
		花果 Others	0i21 (8)	0i18 (6)	0i23 (8)	0i21 (7)
	G	叶 Leaf	1i46 (75)	1i43 (74)	1i46 (79)	1i45 (76)
		枝 Branch	0i31 (16)	0i35 (18)	0i24 (13)	0i30 (16)
		花果 Others	0i18 (9)	0i15 (8)	0i15 (8)	0i16 (8)
O	B	叶 Leaf	0i86 (79)	0i69 (78)	0i81 (76)	0i78 (78)
		枝 Branch	0i15 (14)	0i14 (16)	0i18 (17)	0i15 (15)
		花果 Others	0i08 (7)	0i05 (6)	0i07 (7)	0i07 (7)
	F	叶 Leaf	0i92 (77)	0i94 (76)	1i04 (74)	0i97 (75)
		枝 Branch	0i17 (14)	0i20 (16)	0i27 (19)	0i21 (17)
		花果 Others	0i11 (9)	0i10 (8)	0i10 (7)	0i10 (8)
	G	叶 Leaf	1i44 (81)	1i17 (83)	1i20 (86)	1i27 (82)
		枝 Branch	0i23 (13)	0i14 (10)	0i12 (9)	0i11 (7)
		花果 Others	0i16 (9)	0i10 (7)	0i07 (5)	0i16 (11)

研究结果表明, 4 个地区内不同森林类型之间落叶量差异显著(P < 0i01), 而落叶量的年变化差异不显著(P > 0i05). 其中, 长白山区 5 种森林类型之间落枝量差异极显著(P < 0i01), 但年变化差异不显著(P < 0i05); 帽儿山森林生态研究站的 4 种森林类型之间落枝量差异极显著(P < 0i01), 年变化差异不显著(P > 0i05); 凉水自然保护区 3 种森林类型和大兴安岭区 3 种森林类型间落枝量差异显著(P < 0i05), 年变化差异不显著(P > 0i05). 长白山区 5 种森林类型之间、帽儿山森林生态研究站的

4种森林类型之间以及凉水自然保护区的3种森林类型之间凋落的花果皮量都呈现显著差异( $P < 0.01$ ),但花果皮量年变化差异不显著( $P > 0.05$ );大兴安岭区3种森林类型之间凋落的花果皮量差异不显著( $P > 0.05$ ),年变化也不显著( $P > 0.05$ )。

**3.1.1.3 凋落节律** 4个研究区域均处于温带落叶林带,几乎所有的森林(常绿针叶林除外)都集中在秋季凋落,而春季和夏季的凋落量则相对较小。影响春季和夏季凋落量的主要原因是风和暴雨使林木的枝叶折断;许多树种在春季夏季之交凋落花絮和种子,如白桦等。此外,森林病虫害也会使部分枝叶提前凋落。对长白山5种林型春夏季和秋冬季2个时间段各个组分的凋落量进行整理(表4)。令T为秋冬平均值(AAW)与春夏平均值(ASS)之比: $T = AAW / ASS$ ,以比较春夏季和秋冬季凋落量之间的差异。所研究的5种林型总量的T值分别为红松阔叶林(21.62)、白桦纯林(61.38)、山杨纯林(61.97)、白桦-山杨混交林(61.48)和胡桃楸林(91.14),说明秋季和冬季的凋落量明显大于春季和夏季,前者最大为后者的9倍以上。红松阔叶林总量的T值最低是由于红松花序在春季集中脱落,并有大量针叶脱落。红松上半年的落叶量与下半年基本相当<sup>[4, 5, 24, 27]</sup>。

5种林型叶的T值在51.73~221.09之间,红松阔叶林叶的T值最低,为51.73,其他4种林型T值均在13以上,说明温带落叶阔叶林叶的凋落量集中在秋季。枝的T值在01.58~11.38之间,表明枝凋落量上半年和下半年分布比较均匀。树枝在枯死后不会立即脱落而是连结在树干上,在没有外力干扰下,靠树木的自然整枝过程则需要几个月甚至几年的时

间才能使其脱落。只有在风、暴雨、树干摩擦等外力作用下才会使其大量折断。在这些因素影响下,枝在每个季节都会脱落,因此其凋落量在一年当中分布比较均匀。

对落叶、落枝和凋落的花果皮和总量作双因素方差分析,结果表明,所有凋落物组分同一时间段内的凋落量年变化差异不显著,而森林类型对其影响显著( $P < 0.01$ ),但不同组分显著性水平不同,枝的显著性水平较其他组分小,表明东北地区的典型森林类型具有相似的凋落节律。

3.1.2 同种森林类型在不同地区的凋落动态

在林龄和郁闭度相近的条件下,对同一森林类型在不同地区的凋落量进行比较(图1),结果表明,白桦、蒙古栎、红松阔叶林、落叶松和胡桃楸5种林型凋落量随纬度的增加而减少,即凋落量与纬度呈负相关关系。

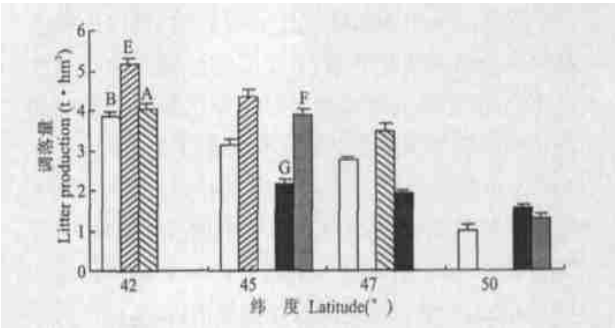


图1 同种森林类型在不同纬度的凋落量  
Fig. 1 Litter fall produced by same type of forests in different locations. A: 红松阔叶林 Pinus koraiensis broadleaved forest; B: 白桦纯林 Betula platyphlla forest; C: 山杨纯林 Populus davidiana forest; D: 白桦-山杨混交林 B. platyphlla and P. davidiana mixed forest; E: 胡桃楸林 Juglans mandshurica forest; F: 蒙古栎林 Quercus mongolica forest; G: 兴安落叶松林 Larix olgensis forest.

表4 长白山各林型内不同组分的凋落动态

Table 4 Litter dynamic of different components in forests of Changbai Mountain

林型 Forest types	凋落组分 Litter components	2001		2002		2003		春夏季 平均值 ASS	秋冬季 平均值 AAW	T 值 T value
		SS	AW	SS	AW	SS	AW			
A	叶 Leaf	01.42	21.47	01.48	21.61	01.46	21.66	01.45	21.58	51.73
	枝 Branch	01.31	01.23	01.26	01.15	01.38	01.18	01.32	01.19	01.58
	总量 Total	11.03	21.85	11.12	21.87	11.17	31.03	11.11	21.92	21.62
B	叶 Leaf	01.22	31.04	01.24	21.84	01.2	31.17	01.22	31.02	131.72
	枝 Branch	01.21	01.15	01.18	01.24	01.16	01.37	01.18	01.25	11.38
	总量 Total	01.59	31.25	01.54	31.13	01.44	31.57	01.52	31.32	61.38
C	叶 Leaf	01.13	21.40	01.10	21.37	01.11	21.53	01.11	21.43	221.09
	枝 Branch	01.12	01.09	01.13	01.10	01.21	01.07	01.15	01.09	01.6
	总量 Total	01.35	21.55	01.32	21.52	01.46	21.68	01.37	21.58	61.97
D	叶 Leaf	01.11	21.63	01.20	21.88	01.14	21.81	01.15	21.77	181.46
	枝 Branch	01.13	01.10	01.33	01.17	01.22	01.19	01.23	01.15	01.65
	总量 Total	01.33	21.8	01.59	31.09	01.47	31.06	01.46	21.98	61.47
E	叶 Leaf	01.25	41.19	01.26	41.27	01.30	41.28	01.27	41.25	151.74
	枝 Branch	01.10	01.09	01.10	01.11	01.07	01.13	01.09	01.11	11.22
	总量 Total	01.47	41.51	01.57	41.79	01.49	41.67	01.51	41.66	91.13

SS: 春季和夏季的凋落量 Litter production in spring and summer( $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ); AW: 秋季和冬季的凋落量 Litter production in autumn and winter ( $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ); ASS: 春季和夏季凋落量 3 年的平均值 Average litter production in spring and summer from 2001 to 2003; AAW: 秋季和冬季凋落量 3 年的平均值 Average litter production in autumn and winter from 2001 to 2003.

Bray 等<sup>[1]</sup>对全球主要气候带上的森林凋落量进行统计分析, 结果表明, 森林凋落量随纬度增加而降低, 并建立了回归直线关系. 王凤友<sup>[24]</sup>建立了森林凋落量与纬度的相关关系方程  $Y = 91\,7937 - 01\,113X$  ( $r = -01\,77$ ,  $n = 93$ ). 式中,  $Y$  为凋落量,  $X$  为纬度, 得出两者之间存在直线负相关关系.

本研究对每个区域内各种森林类型凋落量进行汇总, 分析森林凋落量与纬度之间的关系. 由于光合作用主要在叶片中进行, 并且落叶是森林凋落量的主体(占 70% 以上), 凋落规律性明显, 因此建立了森林落叶量与纬度之间的数学关系式. 白桦林在 4 个地区均有分布, 所以研究了其年平均凋落量和落叶量随纬度变化. 回归方程(表 5)显示, 森林凋落量和落叶量都与纬度呈显著负相关关系, 并且森林凋落量及落叶量与纬度之间存在直线线形相关关系, 但是相关性不如指数相关性显著( $r = -01\,79$ ), 所以采用指数方程. 白桦凋落量和落叶量与纬度呈负相关关系, 由于直线关系式的相关系数  $r$  值大于指数, 取直线关系式.

表 5 凋落量与纬度关系的拟合\*  
Table 5 Relationship between litter fall and latitude

类型 Type	回归方程 Regression model	R <sup>2</sup>
区域平均凋落量 Regional average litterfall	$Y = 10681.8e^{-011315x}$	01.68
区域平均落叶量 Regional average leaf fall	$Y = 11311.5e^{-011376x}$	01.71
白桦凋落量 Betula platyphlla litterfall	$Y = -01\,345x + 181\,547$	01.91
白桦落叶量 Betula platyphlla leaf fall	$Y = -01\,2943x + 151\,749$	01.91

\*  $P < 01.05$ .

对温度与凋落总量和枝、叶和花果皮凋落量间的相关分析表明, 相关系数分别为 0195、0191、0194 和 0183. 落叶量随温度变化的显著性大于枝和花果皮.

白桦的凋落总量及其凋落的枝、叶和花果皮与温度之间的相关系数分别为 0191、0199、0189 和 0162, 说明随着温度的升高, 白桦林凋落量有增加的趋势, 白桦落叶量与年平均温度间的相关系数最大, 说明温度升高对白桦叶的生产量具有显著的促进作用, 而对繁殖体的影响最小.

4 讨 论

411 森林类型的选择

森林在幼龄阶段凋落量逐年增加, 当到达成熟阶段后, 森林凋落量基本保持稳定. 森林生态系统中优势树种的生物学特性不同, 导致各种森林类型达

到稳定成熟阶段时的年龄不同, 如以阳性树种为主的森林类型到达成熟阶段的年龄通常要比以阴性树种早 100 年以上, 年龄上完全相同的 2 种森林类型之间无法进行比较. 因此, 研究同一气候区域不同森林类型间凋落量差异时, 应保证供实验的林型处于各自的稳定成熟期.

412 凋落物不同组分间的关系

研究发现, 落叶量与落枝量之间存在显著的相关关系( $r = 0182$ ), 与凋落的花果皮之间相关性不显著( $r = 01497$ ), 落枝量与凋落的花果皮之间相关性不显著( $r = 01215$ ). 这可能是叶片与枝在生长季节同时生长, 不存在生长抑制现象, 叶片和枝的生长量增加则使其凋落量相应增加. 落叶量和落枝量与凋落的花果皮量无关则说明树木的繁殖生长不受营养生长的影响.

413 不同森林类型间凋落量存在差异

由于不同森林类型中优势建群树种不同, 在温度和水分条件基本相同条件下, 树种间的光合速率和生产力各不相同, 形成树种间凋落量的差异<sup>[8-13, 15, 19]</sup>. 这种树种间生物学特性差别是导致同一气候区域内不同森林类型间凋落量产生显著差异的直接原因.

414 森林凋落量随纬度的变化

在不受水分和养分限制的环境条件下, 森林凋落量随着纬度升高逐渐降低<sup>[1, 14, 17, 24]</sup>. 程伯容等<sup>[5]</sup>对长白山不同海拔森林研究发现, 随着海拔升高, 温度逐渐降低, 森林凋落量逐渐下降. 这证明温度是影响森林凋落量的一个重要因子. 本文所研究的森林类型均处于我国东部气候湿润区域, 森林生长不受水分和养分限制, 纬度变化的影响主要表现在热量上, 纬度升高导致树木生长周期(光合作用时间)减少和光合速率降低, 使生产量降低, 同时影响到凋落量. 因此, 同种森林类型的总凋落量、落叶量、落枝量和花果皮量随着纬度的增加而降低.

5 结 论

511 对 4 个地区中 15 个森林类型的年平均凋落量统计分析显示, 同一气候区域内不同森林类型间年平均凋落量差异显著, 而凋落量的年际变化不显著. 长白山区、帽儿山森林生态研究站、小兴安岭凉水自然保护区和大兴安岭加格达奇区 3 年凋落量的年平均值分别为  $3.905 \pm 0181 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $31305 \pm 0198 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $21718 \pm 0179 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $11269 \pm 0127 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ .

512 树种种间生物学特性是不同森林类型之间落叶、落枝和凋落的花果皮占凋落总量的比例存在显著差异的根本原因. 落叶是凋落物中最大的组分, 占凋落总量的 70% 以上, 落枝和花果皮在凋落物总量中所占的比例范围波动很大, 分别为 4%~ 17% 和 4%~ 12% 之间. 统计分析结果表明, 不同森林类型之间落叶量和落枝量存在显著差异, 而年变化差异不显著, 落叶与落枝之间存在正相关关系( $r = 0.182$ ).

513 长白山区 5 种森林类型中秋冬两季的凋落总量和落叶量明显大于春夏两季, 落枝量和花果皮的量年内分布比较均匀. 生长在不同地区的同种森林类型, 在林龄和郁闭度相同的条件下, 凋落量随纬度的增加而减少. 区域平均温度对森林凋落量影响显著, 区域平均凋落量和白桦林的凋落量与温度都呈正相关关系( $r = 0.195$  和  $r = 0.191$ ).

参考文献

1 Bray JR, Gorham E. 1964. Litter production in forest of the world. *Adv Ecol Res*, 2: 101~ 157

2 Caldentey J, Ibarra M, Hernandez J. 2001. Litter fluxes and decomposition in *Nothofagus pumilio* stands in the region of Magallanes, Chile. *For Ecol Man*, 148: 145~ 157

3 Chang ZH(常直海), Li XY(李叙勇). 1992. Preliminary Study on the Litterfall of *Picea* Forest in Tianshan, Xinjiang Beijing: China Forestry Press. 22~ 25(in Chinese)

4 Chen H(陈华), Xu ZB(徐振邦). 1991. Preliminary study on tree death of Korean pine deciduous mixed forest of Changbai mountain. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 2(1): 89~ 91(in Chinese)

5 Cheng BR(程伯容), Xu GS(许广山), Ding QF(丁桂芳), et al. 1992. Litterfall and biological cycling intensity in coniferous forest and Korean pine broadleaved forest on the northern slope of Changbai Mountain. *Res For Ecol Syst(森林生态系统研究)*, 6: 200~ 203(in Chinese)

6 Deng SJ(邓仕坚), Liao LP(廖利平), Wang SL(汪思龙), et al. 2000. Effect of thinning intensity on the dynamics of litterfall from mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* with *Michelia macclurei*. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 11(supp.): 146~ 150(in Chinese)

7 Edwards PJ. 1977. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. *J Ecol*, 65: 971~ 992

8 Hou Y(侯庸), Wang BS(王伯荪). 1998. The litterfall of the south subtropical evergreen broadleaved forest in Heishiding Nature Reserve. *Ecol Sci(生态科学)*, 17(2): 14~ 18(in Chinese)

9 Kavvadias VA, Alifragis D, Tsiontsis A, et al. 2001. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. *For Ecol Man*, 144: 113~ 127

10 Liang H2W(梁宏温), Huang C2B(黄承标). 1993. A study on the litterfall and soil fertility of the different planted forests in Guangxi. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 13(3): 235~ 242(in Chinese)

11 Liao LP(廖利平), Wang SL(汪思龙), Chen CY(陈楚莹), et al. 2000. Litterfall and its ecological function in Chinese fir plantation at different development phase. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 11(supp.): 127~ 130(in Chinese)

12 Liao LP(廖利平), Wang SL(汪思龙), Chen CY(陈楚莹). 2000. Dynamics of litterfall in the mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei*: A ten year's observation. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 11(supp.): 131~ 136(in Chinese)

13 Liao LP(廖利平), Wang SL(汪思龙), Gao H(高洪), et al. 2000. Dynamics of litterfall and its nutrient contents in *Michelia macclurei* plantation. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 11(supp.): 137~ 140(in Chinese)

14 Lin KC, Steven P, Tang SL, et al. 2003. Typhoon effects on litterfall in a subtropical forest. *Can J For Res*, 33: 2184~ 2192

15 Mo JM(莫江明), Kong QH(孔国辉), Brown S, et al. 2001. Litterfall response to human impacts in a Dinghushan pine forest. *Acta Phytocol Sin(植物生态学报)*, 25(6): 656~ 664(in Chinese)

16 Nakane K. 1995. Soil carbon cycling in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) plantation. *For Ecol Man*, 72: 185~ 197

17 Nihlgard B, Lindgren L. 1977. Plant biomass primary production and bioelements of three mature beech (*Fagus sylvatica* L.) forests in south Sweden. *Oikos*, 28(1): 185~ 197

18 Pan K2W(潘开文), He J(何静), Wu N(吴宁). 2004. Effect of forest litter on microenvironment conditions of forestland. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 15(1): 153~ 158(in Chinese)

19 Spain AV. 1984. Litterfall and standing crop of litter in the three tropical Australian rainforests. *J Ecol*, 72: 947~ 961

20 Sundarapandian SM, Swamy PS. 1999. Litter production and leaf litter decomposition of selected tree species in tropical forests at Kodaigar in the Western Ghats, India. *For Ecol Man*, 123: 231~ 244

21 Swift MJ, Heal OW, Anderson JM. 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystem. Oxford: Blackwell Scientific Publication. 56~ 57

22 Tian DL(田大伦). 1989. The studies of litter in Chinese fir plantation ecosystems. Quantity, composition and dynamics. *J Central South For Coll(中南林学院学报)*, 9(supp.): 38~ 44(in Chinese)

23 Vogt KA, Grier CC, Vogt DJ. 1986. Production, turnover, and nutrient dynamics of above and below ground detritus of world forests. *Adv Ecol Res*, 15: 303~ 377

24 Wang F2Y(王凤友). 1989. Review on the study of forest litterfall. *Adv Ecol(生态学进展)*, 6(2): 82~ 89(in Chinese)

25 Wen Y2G(温远光), Wei S2Z(韦盛章), Qin W2M(秦武明). 1990. Analysis on the litterfall dynamics of Chinese fir plantation and its correlation to climatic factors in north Guangxi. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 10(4): 367~ 372(in Chinese)

26 Wu C2Z(吴承桢), Hong W(洪伟), Jiang ZL(姜志林), et al. 2000. Advances in research of forest litterfall in China. *Jiangxiensis Acta Agric Univ(江西农业大学学报)*, 12(3): 405~ 410(in Chinese)

27 Xu GS(许广山), Cheng BR(程伯容), Ding QF(丁桂芳), et al. 1992. Accumulation and decomposition of litterfall in a Korean pine broadleaved forest stand. *Res For Ecol Syst(森林生态系统研究)*, 7: 55~ 61(in Chinese)

28 Zhang DQ(张德强), Ye W2H(叶万辉), Yu Q2F(余清发), et al. 2000. The litterfall of representative forests of successional series in Dinghushan. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 20(6): 938~ 944(in Chinese)

29 Zhou C2Y(周存宇). 2003. Litter's roles in forest ecosystem and its research progress. *J Hubei Agric Coll(湖北农学院学报)*, 23(2): 140~ 145(in Chinese)

30 Zhong QH(钟国辉), Xin X2B(辛学兵). 2004. Chemical properties of litter in dark coniferous forest of Sejila mountains in Tibet. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 15(1): 167~ 169(in Chinese)

作者简介 李雪峰,男,1976年生,博士.主要从事森林生态系统碳循环及凋落物分解方面的研究,发表论文3篇. E-mail: lisenowmount@163.com