

# 绵阳官司河流域主要森林类型凋落物含量及动态变化

骆宗诗 ,向成华 ,慕长龙

(四川省林业科学研究院 ,四川成都 610081)

**摘要** 对绵阳官司河流域代表性森林——桉柏混交林、柏木纯林、松栎混交林和松柏混交林的凋落物量、组成特征和季节动态变化及其凋落物中 N、P、K 含量进行了定位观测和研究。结果表明,其年均凋落物量分别为 4.229 (3.732~4.828)、5.133 (4.215~6.545)、5.701 (5.133~6.642)  $t \cdot hm^{-2}$  和 5.351 (4.762~5.854)  $t \cdot hm^{-2}$ 。叶、枝、花果、松皮和杂物的比例分别为 72.1:8.9:11.9:0:7.1、75.4:9.0:9.0:0:6.5、79.7:11.0:6.3:0.5:2.4 和 60.4:9.5:16.0:7.5:6.5。灌木凋落量分别占总凋落量的 16.4%、1.5%、9.5% 和 12.1%。凋落物的年变化规律为桉柏混交林和柏木林主要集中在生长季,松柏混交林为双峰型,出现在生长季早期和休眠期,松栎混交林为单峰型,为 12 月份。凋落物中 N、P、K 元素含量以 N 素最高,其次是 K 素,P 素最少,N、P、K 总量分别为 62.702、70.596、79.228  $kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$  和 80.011  $kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 。

**关键词** 凋落物,养分贮存,防护林,官司河流域

文章编号:1000-0933(2007)05-1772-10 中图分类号:Q945,Q948,S718.5 文献标识码:A

## The litterfall of major forests in Guansi River Watershed in Mianyang City , Sichuan Province

LUO Zong-Shi , XIANG Cheng-Hua , MU Chang-Long

Sichuan Academy of Forestry , Sichuan Province , Chengdu 610081 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (5) 1772 ~ 1781.

**Abstract** :The amount , composition , seasonal pattern of litterfalls and its nitrogen , phosphor and potassium contents in four typical forests (i. e. *Alnus-Cupressus* mixed forest (A. C. ) , *Cupressus funebris* forest (C. P. ) , *Pinus massoniana-Quercus* mixed forest (P. Q. ) and *P. massoniana-C. funebris* mixed forest (P. C. ) ) were measured in Guansi River Watershed in Mianyang City. The results showed that the mean annual litterfall productions were 4.229 , 5.133 , 5.701 , 5.351  $t \cdot hm^{-2}$  , respectively. The litterfall in A. C. forest was composed of 72.1% of leaves , 8.9% of branches , 11.9% of flowers and fruits and 7.1% of other mixed-matter. In C. P. forest the litterfall of leaves , branches , flowers and fruit , and others amounted to 75.4% , 9.0% , 9.0% and 6.5% of total litterfall. In P. Q. forests the component of litterfall was 79.7% , 11.0% , 6.3% , 0.5% and 2.4% for the leaves , branches , flowers and fruit , pine bark , and others , respectively. These were 60.4% , 9.5% , 16.0% , 7.5% and 6.5% in P. C. forests. The litterfall productions of shrub accounted to 16.4% and 1.5% and 9.5% and 12.1% of total litterfall of the correspondent forests , respectively. The seasonal patterns of litterfall production varied with the different stands. The litterfall production peaked at the earlier of growing season and dormancy for P. C. stands , and in December for P. Q. stands. The nitrogen content in litterfall was highest followed by potassium and phosphor. The amount of N , P and K in litterfall was measured at 62.702 , 70.596 , 79.228 , 80.011

基金项目:国家“十一五”科技支撑资助项目(2006BAD03A05-4);四川林业科技先导计划重点创新工程资助项目(研究04-13)

收稿日期:2006-03-03;修订日期:2007-03-02

作者简介:骆宗诗(1963~),男,湖南桂阳人,硕士,主要从事森林生态学研究。E-mail:luozongshi168@yahoo.com.cn

**Foundation item** :The project was financially supported by National and Technology of China (No. 2006BAD03A05-4); the Key Project of Pre-planning of Sichuan Forestry Science and Technology , China (No :04-13)

**Received date** 2006-03-03 ; **Accepted date** 2007-03-02

**Biography** LUO Zong-Shi , Master , mainly engaged in forest ecology. E-mail:luozongshi168@yahoo.com.cn

$\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  in 2003, respectively.

**Key Words** : litterfall ; nutrient storage ; protection forest ; Guansi River Watershed

凋落物是森林生态系统的重要组成部分<sup>[1-3]</sup>,是林地有机质的主要物质库和维持土壤肥力的基础,是生态系统内物质循环的中心环节<sup>[4,5]</sup>;同时,枯枝落叶层可以提高地表持水量,减少地表径流,在森林生态系统水量平衡中起着重要的调节作用<sup>[6]</sup>,所以森林凋落物一直是森林生态系统功能的重要研究内容。国外对森林凋落物的研究最早可追溯到 1876 年,德国学者 E. Ebermayer 在其经典著作《森林凋落物产量及其化学组成》中阐述了森林凋落物在养分循环中的重要性,继后世界各国对森林凋落物进行了大量研究<sup>[7]</sup>。我国对森林凋落物的研究始于 20 世纪 60 年代,从 20 世纪 80 年代至今,我国学者对国内不同气候带各种森林类型的凋落物进行了大量研究,主要集中在凋落量、化学成分及分解速率上,如,长白山温带红松阔叶混交林<sup>[8]</sup>、燕山东段暖温带森林及灌木群落<sup>[9]</sup>、哀牢山北亚热带山地常绿阔叶林<sup>[10]</sup>、滇中高原北亚热带次生半湿润常绿阔叶林<sup>[11]</sup>、武夷山中亚热带甜槠林<sup>[12]</sup>、三明莘口中亚热带福建柏人工林<sup>[13]</sup>、苏南中亚热带丘陵区杉木和火炬松人工林<sup>[14]</sup>、鼎湖山南亚热带季风常绿阔叶林和针阔叶混交林<sup>[15]</sup>及马尾松林<sup>[16]</sup>、小良热带北缘人工混交林<sup>[17]</sup>、海南热带红树林<sup>[18]</sup>、尖峰岭热带山地雨林<sup>[19]</sup>、川西高山云杉人工林<sup>[20]</sup>和峨眉冷杉天然林<sup>[21]</sup>、西藏高原林芝云杉林<sup>[22]</sup>等。近年来,将森林凋落物放在全球大环境背景下进行研究<sup>[23]</sup>,重视凋落物在碳素和营养循环中所起的重要作用,凋落物分解和土壤微生物活动释放出  $\text{CO}_2$  对温室效应的贡献,全球变暖对凋落物动态的影响等等<sup>[7]</sup>。尽管有关凋落物的研究较多,但川中丘陵区主要森林群落凋落物研究鲜见报道。川中丘陵区是四川盆地腹心的丘陵山区,面积约  $16.54 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,处于亚热带与温带的过渡地带<sup>[24]</sup>,地带性植被为亚热带常绿阔叶林<sup>[25]</sup>。由于人口稠密 ( $525 \text{ 人}/\text{km}^2$ <sup>[24]</sup>),大量林地被辟为耕地,原生植被破坏殆尽,有的县森林覆盖率不足 5%,生态环境极度恶化。1989 年该地区开始实施长江防护林一期工程建设,主要造林模式为柏木纯林和桉柏混交林。通过近 20a 的防护林建设,森林植被得到了极大的恢复。本项研究选择川中丘陵区具代表性的区域——绵阳官司河流域,该流域是长江上游防护林重点建设地段之一。通过对该流域主要森林类型凋落物特征(如凋落量、组成成分、凋落节律和养分元素贮量)的研究,以期了解川中丘陵区主要防护林群落凋落物的凋落节律、作用与贡献,为林分改造、防护林的优化经营、森林生态功能和土壤肥力评价提供参考。

## 1 研究地概况和研究方法

### 1.1 研究地概况

研究样地位于四川省林业科学研究院绵阳新桥森林生态效益监测定位站内的官司河流域,该流域处于龙门山前缘向盆地的过渡地带,属浅-深切割的丘陵地貌,位于东经  $104^\circ 46' \sim 104^\circ 49'$ ,北纬  $31^\circ 32' 30'' \sim 31^\circ 37' 30''$ ,海拔高度 485 ~ 627m。气候属北亚热带湿润季风气候,气温与年降水的地域分布变化很小,年均温  $16.1^\circ\text{C}$ ,极端最高气温  $40.1^\circ\text{C}$ ,极端最低气温  $-7.3^\circ\text{C}$ ,年均日照 1298.1h,年均太阳辐射量  $89.54 \times 4.18 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,年均降水量 921.0mm,年均相对湿度 79%,无霜期 272d<sup>[26,27]</sup>。

本区域主要的森林类型为桉柏混交林、柏木纯林、松栎混交林和松柏混交林,前两者为人工林,后两者为天然次生林。其结构简单,可明显分为乔、灌、草 3 层。林下灌木以黄荆 (*Vitex negundo*)、铁籽 (*Myrsine Africana*)、火棘 (*Pyracantha fortuneana*)、胡颓子 (*Elaeagnus umbellate*)等为主;草本植物以莎草 (*Cyperus* sp.)、苔草 (*Carex* spp.) 和白茅 (*Imperata cylindrica* var. *major*)等为主。本项研究观测的 4 种林分基本概况见表 1。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 凋落量的测定

在选择 4 个林分类型中,各设置一个样地,分别在各样地中按一定距离间隔随机设置 10 个凋落物收集框 ( $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ ),收集框为孔径 1mm 的尼龙网制成的方框,底网距地面约 0.5m。每月最后一天定期收集一次,观测期为 2002 年 9 月至 2005 年 12 月。将收集的凋落物按树种、叶、枝、松皮、花序/果和有机碎屑等组分

分选,将分选好的各样品在 80℃ 下烘至恒重,分别测定其干重。

表 1 林分基本情况表

Table 1 The general introduction to the stands

林型 Forest type	林龄 Age (a)	样地面积 Plot size (m <sup>2</sup> )	密度 Density (Trees·hm <sup>2</sup> )	DBH (cm)	H (m)	树种组成 Composition
桧柏混交林	24	20×20	6550	6.2	6.4	9 柏 1 桧 + 栎
柏木纯林	26	10×10	15000	5.1	5.6	10 柏 + 栎
松栎混交林	18	10×20	8000	7.5	7.6	9 栎 1 马
松柏混交林	35	20×20	6950	8.7	8.4	6 马 4 柏 + 栎

林型 Forest type	坡向 Exposure	坡度 Slope (°)	土层厚 Soil depth (cm)	有机质 * Organic Matter (%)	土壤类型 Soil type	母质类型 Soil texture
桧柏混交林	SW	20	80	2.46	紫色土	紫色泥岩
柏木纯林	SW	18	60	1.61	灰白砂壤	灰白砂岩
松栎混交林	SE	20	60	2.04	灰白砂壤	灰白砂岩
松柏混交林	SE	18	70	1.48	紫色土	紫色泥岩

\* 指 0~40cm 土层含量 Content of organic matter means the percentage of soil depth from 0 to 40 centimeter ;桧柏混交林 *Alnus-cupressus* mixed forest 柏木纯林 *Cupressus funebris* forest 松栎混交林 *Pinus massoniana-Quercus* mixed forest 松柏混交林 *P. massoniana-C. funebris* mixed forest 9 柏 1 桧 + 栎 9 *Cupressus* 1 *Alnus* + *Quercus* ;10 柏 + 栎 10 *Cupressus* + *Quercus* 9 栎 1 马 9 *Quercus* :1 *Pinus* 6 马 4 柏 + 栎 6 *Pinus* :4 *Cupressus* + *Quercus* ;紫色土 Purple soil ;灰白砂壤 Grey-white sandy loam soil ;紫色泥岩 Purple mud stone ;灰白砂岩 Grey-white sandstone

## 1.2.2 凋落物养分分析方法

2004 年 1 月将 2003 年全年的总凋落物混合取样 (具体作法是 :将全年凋落物分批重新烘干后粉碎到不能辨认各组分的程度,再将各批次粉碎的样品混合搅拌数次,取所需的分析量。)混合样经磨碎过筛后,用凯氏消煮法制备 N 的待测样品,用干灰化法制备 P、K 的待测样品。N 用蒸馏法,P 用钼锑抗比色法,K 用 AA-5000 型原子吸收分光光度计测定。

## 2 结果分析

### 2.1 凋落量、组成和节律

#### 2.1.1 凋落物的年凋落量

3 年观测结果表明 (表 2),桧柏混交林的年凋落量为 3.732~4.828 t·hm<sup>-2</sup>,平均年凋落物量为 4.229 t·hm<sup>-2</sup>,变异系数为 13%;柏木纯林的年凋落量为 4.215~6.545 t·hm<sup>-2</sup>,平均年凋落物量为 5.133 t·hm<sup>-2</sup>,变异系数为 24%;松栎混交林的年凋落量为 5.133~6.642 t·hm<sup>-2</sup>,平均年凋落物量为 5.701 t·hm<sup>-2</sup>,变异系数为 14%;松柏混交林的年凋落量为 4.762~5.854 t·hm<sup>-2</sup>,平均年凋落物量为 5.351 t·hm<sup>-2</sup>,变异系数为 10%。各森林类型之间的年凋落量虽有一定的差异,但经方差分析,彼此之间差异不显著 ( $F = 1.651, P = 0.2534 > 0.05$ )。

#### 2.1.2 凋落物的组分组成

凋落物是林木生长发育的代谢产物,包括落下的茎、叶、枝条、芽、鳞片、花、果实、树皮及其残体。不同森林类型因其树种的生理、生态特性和林分组成的差异,凋落物各组分的年凋落量表现出一定的差异 (表 3)。从表 3 可以看出,凋落物组分中叶的凋落量最多,桧柏林、柏木林、松栎林和松柏林的凋落叶占凋落总量分别是 72.15%、75.44%、79.60% 和 60.43%,且年际间变异较小,凋落量较稳定;凋落枝中 4 种林分之间相差不大,占凋落总量的 8.89%~11.00%;凋落花和果中,以松柏林最多,占 15.99% (其中松花松果占凋落花和果的 36.58%),桧柏林次之,占 11.89%;柏木林再次之,占 9.04%;松栎林最少,仅占 6.50%;松柏林中松皮的凋落量占凋落总量的 7.53%,相当于该林分中枝的凋落量,且年变幅较小;4 种林分碎屑的凋落量不多,占凋落总量的 2.36%~7.07%。灌木层凋落物对林分凋落物的贡献以桧柏林最大,占 16.36%,其次是松柏林 (12.06%) 和松栎林 (9.50%),柏木林最少,仅占 1.45%。

表 2 官司河流域森林年凋落物量 ( $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ )Table 2 Annual litter production in the forests of Guansi River watershed ( $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ )

林型 Forest type	年份 Years			平均 Mean	标准差 S. D.	变异系数 C. V. %
	2003	2004	2005			
桉柏混交林 <i>Alnus-cupressus</i> mixed forest	3.732	4.128	4.828	4.229	0.555	13.12
柏木纯林 <i>C. funebris</i> forest	4.640	4.215	6.545	5.133	1.241	24.17
松栎混交林 <i>P. massoniana-Quercus</i> mixed forest	5.327	5.133	6.642	5.701	0.821	14.40
松柏混交林 <i>P. massoniana-C. funebris</i> mixed forest	4.762	5.854	5.438	5.351	0.551	10.30

表 3 不同森林类型凋落物的组成及凋落量 ( $g \cdot m^{-2}$ )Table 3 The amount and composition of litter in various forests ( $g \cdot m^{-2}$ )

林型 Forest type	指标 Items	叶 Leaf		枝 Branch		花果 Flowers and fruits		松皮 Pine bark	杂物 Others
		乔木 Trees	灌木 Shrub	乔木 Trees	灌木 Shrub	乔木 Trees	灌木 Shrub		
桉柏混交林 <i>Alnus-cupressus</i> mixed forest	2003	228.49	36.18	36.93	11.55	42.92	7.82		9.35
	2004	262.69	46.41	27.58	12.86	29.15	8.62		25.45
	2005	282.38	59.25	11.20	12.73	50.21	12.15		54.87
	平均值 Mean	257.85	47.28a	25.24a	12.38	40.76	9.53		29.89
	占总量 Proportion (%)	60.97	11.18	5.97	2.93	9.64	2.25		7.07
柏木纯林 <i>C. funebris</i> forest	2003	352.11	2.15	38.85	6.18	38.02			26.71
	2004	316.79	1.19	35.48	4.09	31.80			32.11
	2005	483.73	5.76	51.55	3.04	69.44			40.95
	平均值 Mean	384.21	3.03b	41.96ac	4.44	46.42			33.26
	占总量 Proportion (%)	74.85	0.59	8.17	0.86	9.04			6.48
松栎混交林 <i>P. massoniana-Quercus</i> mixed forest	2003	335.64	45.36	64.02	5.36	44.37	13.68	2.54	18.72
	2004	412.57	14.22	40.52	5.18	21.15	5.02	3.81	10.90
	2005	496.22	57.40	63.24	9.74	17.28	6.60	2.99	10.74
	平均值 Mean	414.81	38.99a	55.93bc	6.76	28.60	8.44	3.11	13.45
	占总量 Proportion (%)	72.76	6.84	9.81	1.19	5.02	1.48	0.55	2.36
松柏混交林 <i>P. massoniana-C. funebris</i> mixed forest	2003	232.13	45.72	36.04	12.65	60.47	15.55	35.89	37.75
	2004	328.08	47.38	40.48	17.86	61.79	8.76	47.60	33.44
	2005	289.19	27.61	42.62	3.22	95.34	14.80	37.39	33.62
	平均值 Mean	283.14	40.24a	39.71ac	11.24	72.53	13.04	40.29	34.93
	占总量 Proportion (%)	52.91	7.52	7.42	2.10	13.55	2.44	7.53	6.53

林型间各组分凋落量的差异用方差分析检验,并用 LSD 法检验各组间的差异,差异显著者标示于平均值 ( $\alpha = 0.05$ ),没有显著差异的,未作标示 Significance of difference among the forest types was tested by anova and LSD ( $\alpha = 0.05$ ), significant difference was denoted in mean values, whereas no significant difference not denoted

不同林型凋落物各组分间的差异较小,只有灌木叶和乔木枝的凋落量达到 0.05 的显著水平,其它组分间均未达到显著水平。灌木叶凋落量中,柏木纯林占叶凋落总量的 0.59%,与桉柏混交林、松栎混交林和松柏混交林间有显著差异,乔木枝凋落量中,桉柏林与松栎林间有显著差异,其它林型间未达到显著水平。

### 2.1.3 凋落物的凋落节律

4 种林分的凋落过程具有明显的季节性,其凋落总量、叶、枝和花果的月凋落变化见图 1~图 4。

在主要由柏木组成的桉柏混交林和柏木林中,其凋落量主要集中在生长季节的 4、5、6、7 月份,而在休眠期的冬季凋落量却很少。桉柏混交林在生长季节的叶凋落量为  $3.051 t \cdot hm^{-2}$ ,占全年叶凋落量的 58.02%;柏木林叶凋落量为  $3.872 t \cdot hm^{-2}$ ,占全年叶凋落量的 63.28%,这与苏南丘陵区杉木林在 10~11 月份出现凋落高峰不同,与湖南会同杉木中心产区在 2 月和 7 月份出现 2 次凋落高峰也不同<sup>[4]</sup>,这可能是由于林分密度过大,异常木(指生长势弱,生命力衰退,有病虫害,树干、树冠发育畸形的树木,包括倾斜木、倒伏木、枯立木和濒死木)数量过多(桉柏混交林占 32.44%、柏木林占 41.33%)<sup>[28]</sup>,生长期间,林分对养分的需求增加,而异

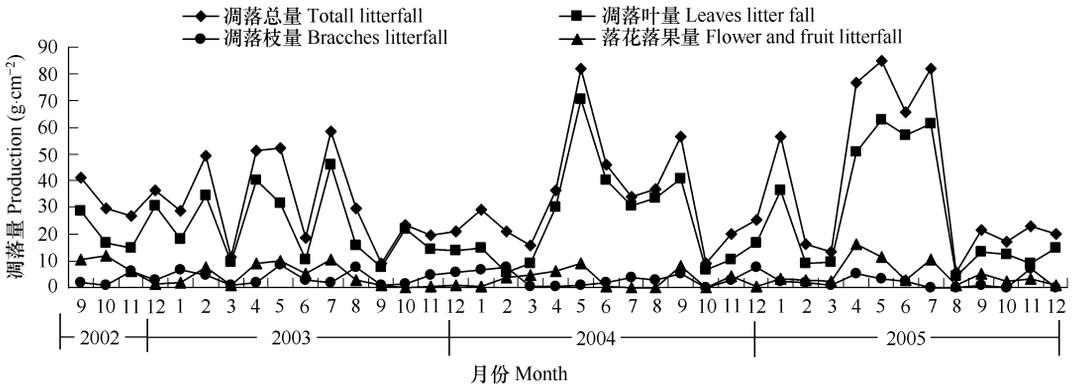


图 1 桉柏混交林凋落物月动态

Fig. 1 Monthly variation of litterfall in *Alnus-cupressus* mixed forest

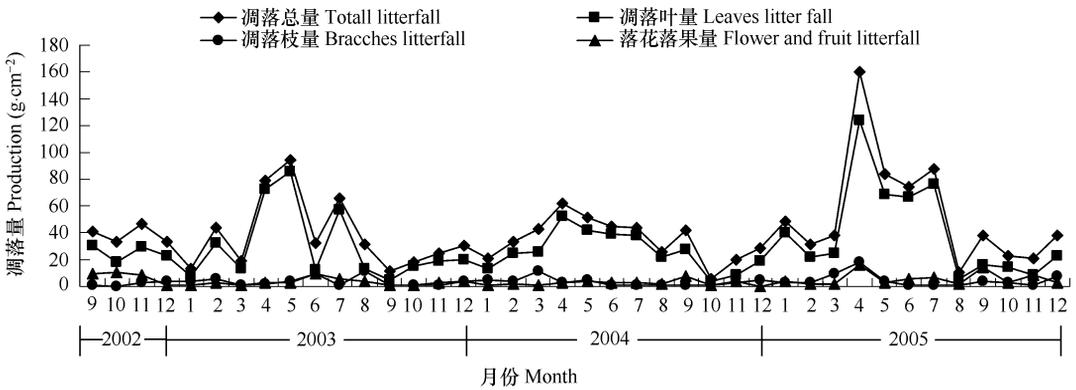


图 2 柏木林凋落物月动态

Fig. 2 Monthly variation of litterfall in *Cupressus funebris* mixed forest

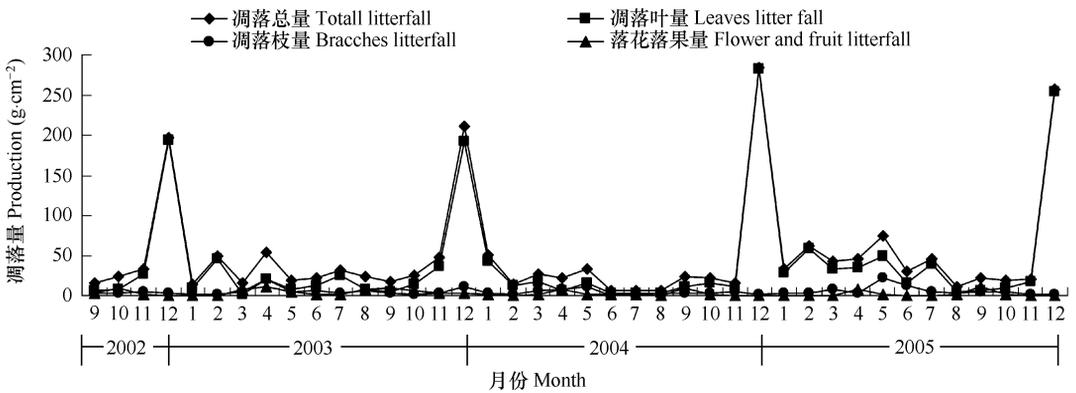


图 3 松栎混交林凋落物月动态

Fig. 3 Monthly variation of litterfall in *Pinus massoniana-Quercus* mixed forest

常木对养分的竞争力弱,导致凋落量大的缘故,这也是林分对养分需要的适应性反应。

松柏混交林的凋落总量和叶凋落量的凋落节律为双峰型,但峰值不高,第1次峰值不同年份略有差异,一般在生长季节前期(4、5、6月份),第2次峰值在11~12月份,前者叶凋落量占全年叶凋落量的24.91%,后者占30.36%。凋落枝在39个月的变化中没有明显的规律性。落花和落果亦有2次峰值,分别是4、5月份和10、11月份,并有大小年现象。松柏类植物的果实形成需要3a,从图4可以看出,2004年为小年。

在主要由麻栎阔叶树构成的松栎混交林中,其凋落总量和叶凋落量的凋落节律为单峰型,峰值出现在隆

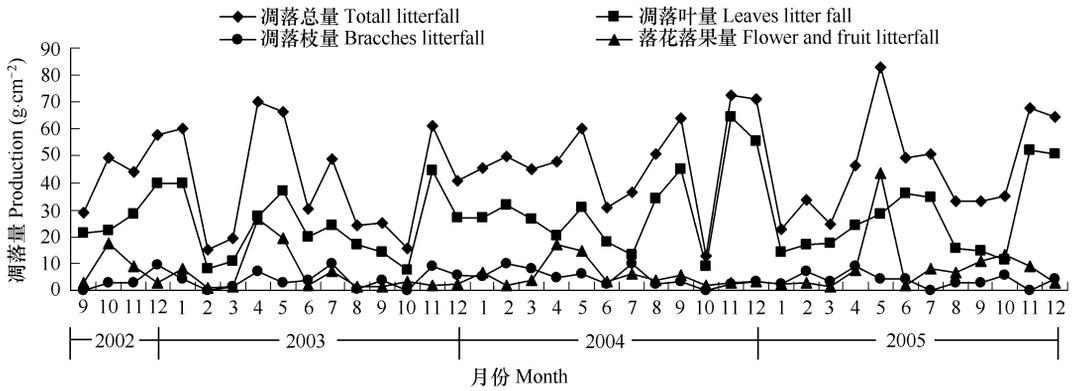


图 4 松柏混交林凋落物月动态

Fig. 4 Monthly variation of litterfall in *P. massoniana-C. funebris* mixed forest

冬的 12 月份,其凋落量占年凋落量的 44.13% (落叶占全年落叶量的 53.59%) ,这与苏南丘陵区的栓皮栎林相似<sup>[14]</sup> ,而与广东鼎湖山亚热带马尾松阔叶混交林全年没有明显的凋落高峰不同<sup>[15]</sup> 。枝的凋落量主要集中在夏季,占全年枝凋落量的 51.18% ,花和果实则有 2 次明显的峰值——4 月和 9 月份,分别占全年花和果实凋落量的 20.13% ,16.51% 。

从以上分析可知,森林凋落物各组分的凋落节律有相同点,也有差异,体现了不同的森林群落其林分结构、树种的生理、生态特性、物候期及花果期的差异。

### 2.2 凋落物中 N、P、K 贮量

对 2003 年凋落物的 N、P、K 营养元素测定表明(表 4) 4 种林分全年凋落物中,以 N 素最高,其次是 K 素,P 素最少,这与福建柏人工林的研究结果一致<sup>[29]</sup> ,但 4 种林分各元素之间的含量没有多大差异。NPK 贮存总量中,桉柏混交林为 62.702kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> ,柏木纯林 70.596 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> ,松栎混交林 79.228 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> ,松柏混交林 80.011 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> 。这些营养元素最终归还土壤,对维持林地的长期生产力具有重要意义。

表 4 凋落物中 N、P、K 年贮存量

Table 4 The annual amount of N, P, K storage in the litter (2003)

林型 Forest types	凋落量 Litterfall (t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	NPK 含量 N, P, K content (g·kg <sup>-1</sup> )			NPK 贮存量 N, P, K stocks (kg·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )			NPK 合计 Total nutrient storage (kg·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
		N	P	K	N	P	K	
桉柏混交林 <i>Alnus-cupressus</i> mixed forest	3.732	15.050	0.580	1.170	56.171	2.165	4.367	62.702
柏木纯林 <i>C. funebris</i> forest	4.640	13.500	0.624	1.090	62.643	2.895	5.058	70.596
松栎混交林 <i>P. massoniana-Quercus</i> mixed forest	5.327	13.220	0.493	1.160	70.423	2.626	6.179	79.228
松柏混交林 <i>P. massoniana-C. funebris</i> mixed forest	4.762	15.110	0.432	1.260	71.954	2.057	6.000	80.011

## 3 讨论

### 3.1 森林凋落量的影响因素

凋落物量是森林生态系统生物量的组成部分,生物量反映森林生态系统的初级生产力水平,是森林生态系统功能的体现<sup>[7]</sup> ,其凋落量受地带性、植物成分、森林结构和林木的生理特性以及森林经营活动等因素的影响。Vogt K. A. 描述了凋落物量在全球的分布格局,随纬度的增高,凋落物产量下降<sup>[30]</sup> 。我国地处北半球,从南向北跨越热带、亚热带、温带,其天然林凋落物量亦呈此分布格局(表 5),从热带的 9t·hm<sup>-2</sup>左右下降

表 5 中国气候带主要森林凋落量的分布格局

Table 5 The patterns of litterfall of climate zones in China

气候带 Climate zone	类型 Type	凋落物量 Litterfall ( $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ )	文献 References
热带 Tropical zone	尖峰岭山地雨林 Montana rain forest in Jianfengling Mt.	7.7 ~ 9.7	[19]
	海南海莲红树林 <i>Bruguiera sexangula</i> mangrove in Hainan island	10.41 ~ 13.87	[18]
	小良人工混交林 Artificial mixed plantation in Xiaolian	5.539	[17]
	西双版纳季节雨林 Seasonal rain forest in Xishuangbanna	8.42	[31]
南亚热带 Southern subtropical zone	鼎湖山季风常绿阔叶林 Seasonal evergreen broad-leaved forest in Dinghushan Mt.	7.5 ~ 9.12	[15]
	鼎湖山针阔叶混交林 Needle broad-leaved mixed forest in Dinghushan Mt.	7.85 ~ 9.26	[15]
	鼎湖山马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest in Dinghushan Mt.	2.695	[16]
	黑石顶常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest in Heishiding Mt.	4.63	[32]
	白云山次生阔叶林 Secondary evergreen broad-leaved forest in Baiyunshan Mt.	6.77	[33]
	武夷山甜槠林 <i>Castanopsis eyrei</i> forest in Wuyishan Mt.	3.896	[12]
中亚热带 Central subtropical zone	苏南丘陵杉木人工林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> plantation in hill area in southern Jiangsu province	16.677	[14]
	苏南丘陵区火炬松人工林 <i>Pinus taeda</i> plantation in hill area in southern Jiangsu province	10.706	[14]
	广西禄峰山马尾松人工林 <i>Pinus massoniana</i> plantation in Lufengshan Mt. of Guanxi province	11.434	[34]
	三明福建柏人工林 <i>Fokienia hodginsii</i> plantation in Sanming city, Fujian province	7.318	[13]
	湖南会同杉木人工林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> plantation in Huitong farmland	4.479	[35]
	哀牢山常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest in Ailaoshan Mt.	6.77	[10]
	滇中次生半湿润常绿阔叶林 Secondary semi-humid ever green broad-leaved forest in central Yunnan province	3.51	[11]
北亚热带 Northern subtropical zone	四川盆地人工桉柏混交林 <i>Alnus-cupressus</i> mixed forest in Sichuan basin	4.229	This paper
	四川盆地人工柏木林 <i>Cupressus funebris</i> forest in Sichuan basin	5.133	This paper
	四川盆地松栎混交林 <i>Pinus massoniana-Quercus</i> mixed forest in Sichuan basin	6.642	This paper
	四川盆地松柏混交林 <i>Pinus massoniana-Cupressus funebris</i> mixed forest in Sichuan basin	5.351	This paper
	长白山针叶林 Coniferous forest in Changbaishan Mt.	1.7 ~ 2.4	[8]
	西藏高原 Tibetan plateau	西藏林芝云杉林 <i>Picea likiangensis</i> var. <i>linzhiensis</i> forest in Tibet	3.843
川西高山 Alpine of western Sichuan	黑水云杉人工林 <i>Picea balfouriana</i> plantation in Heishui county	2.760	[20]
	贡嘎山峨眉冷杉天然林 <i>Abies fabri</i> forest in Gongga Mt.	2.044 ~ 2.809	[21]

到温带的  $2t \cdot hm^{-2}$  左右,即使是同一地带,由于森林类型不同,其凋落量也有很大差异,如热带红树林高于雨林,亚热带阔叶林高于针叶林。人工林中,由于经营管理之故,其凋落量很高,如中亚热带的杉木人工林高于

海南红树林。官司河流域地处北亚热带,与其它地区森林比较,人工桫欏混交林和柏木纯林的年凋落量分别为  $4.229\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $5.133\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$  (表 2),其量比中亚热带福建柏人工林、马尾松人工林和苏南丘陵区杉木人工林、火炬松人工林低,比川西高山云杉人工林高;天然次生松栎混交林和松柏混交林的年凋落量分别为  $5.701\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $5.351\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$  (表 2),其量比南亚热带阔叶混交林低,比高山云杉林、北亚热带次生半湿润常绿阔叶林、中亚热带甜槠群落、峨眉冷杉天然林高。

### 3.2 凋落物与森林经营

森林经营目的已由生产木材为主向森林多种功能转变,如为动植物提供生境<sup>[36,37]</sup>、发挥森林生态效益等。而森林凋落物是地表的一个重要覆盖面,能减缓雨滴击溅土壤,延长坡面汇流时间,提高水分的下渗速度,还对径流固体物起过滤沉降作用,分解后能增加土壤的有机质,是森林生态系统功能发挥的一个重要层面。据报道,土壤动物的数量和组成与凋落物的种类、厚度和数量以及分解速率存在正相关关系<sup>[38]</sup>,鼎湖山阔叶林及针阔叶混交林枯枝落叶层有无脊椎动物 3 门 7 纲 31 目 58 科<sup>[39]</sup>,栲树林凋落物层土壤动物就有 10 纲 27 个类群<sup>[40]</sup>,秦岭油松和锐齿栎混交林凋落物和土壤层中含真菌 58 属(种)<sup>[41]</sup>,这加速了枯落物的分解和养分循环。据笔者 2005 年 9 月对同一样地枯落物现存量最大持水深的测定,桫欏混交林  $0.54\text{mm}$ 、柏木林  $0.49\text{mm}$ 、松栎混交林  $1.13\text{mm}$ 、松柏混交林  $0.68\text{mm}$ ,森林的水文作用表现出次生林优于人工林,混交林优于纯林;NPK 贮存总量中,桫欏混交林  $62.702\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、柏木纯林  $70.596\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、松栎混交林  $79.228\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、松柏混交林  $80.011\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  (表 4),这对维持林地可持续地力具有重要意义。该流域位于四川盆地低山丘陵区,这一地区农业发达,垦殖指数高,且当地村民有掠刮林地枯落物的习性。假设掠刮  $1\text{t}$  枯落物,将使林地损失约  $16\text{kg}$  的 NPK,从而也损失土壤动物和微生物,减缓枯落物的分解,最终导致森林的生产力减退,同时使地表裸露,减弱森林的水文功能。因此,在森林经营和低效林改造上,除了积极营造针阔混交林,还应大力保护林地枯落物层。

灌木层是构成林分的一个重要层次,也是昆虫和鸟类的重要栖息地。该流域灌木以黄荆、铁籽为主,其叶薄,易于分解,有利于加速养分的循环。灌木层凋落物中,桫欏混交林、柏木林、松栎混交林和松柏混交林分别占总凋落量的  $16.36\%$ 、 $1.45\%$ 、 $9.50\%$  和  $12.06\%$  (表 3)。此 4 种林分密度以柏木林最大,其它林分密度较稀,柏木林高达  $15000\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,是其它林分的 2 倍(表 1)。由此也影响林下灌木盖度,柏木林灌木稀疏,盖度极小,其它林分盖度较高<sup>[28]</sup>。可见,林分密度不仅影响林下灌木的盖度,也影响林分凋落物的组分组成。因此,在营林活动中应改善林分结构,重视灌木层的经营。

### References :

- [1] Pan K W, He J, Wu N. Effects of forest litter on microenvironment conditions of forestland. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15 (1): 153-158.
- [2] Liu C J, Ilvesniemi H, Berg B, et al. Above ground litterfall in Eurasian forests. Journal of Forestry Research 2003, 14 (1) 27-34.
- [3] Lin B, Liu Q, Wu Y, et al. Advances in the studies of forest litter. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23 (1) 60-64.
- [4] Wang Y F. Review on the study of forest litterfall. Advance in Ecology, 1989, 15: 82-89.
- [5] Guo J F, Yang Y S, Chen G S, et al. A Review on Litter Decomposition in Forest Ecosystem. Scientia Silvae Sinicae. 2006, 42 (4) 93-100.
- [6] Jiang Y X. Phytocological role of forest floor in sub-alpine fir forests in western Sichuan province. Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica, 1981, 5 (2) 89-98.
- [7] Peng S L, Liu Q. The dynamics of forest litter and its responses to global warming, Acta Ecologica Sinica, 2002, 22 (9) 1534-1544.
- [8] Cheng B R. The litterfall and intensity of biological cycle in the coniferous forest and *Pinus koraiensis* broad-leaved mixed forest in the north slope of Changbai Mountain. Research of Forest Ecosystem, 1992, 6: 200-203.
- [9] Zheng J B, Wang D Y, Guo Q S, et al. Studies on the litters in the forest and shrub communities in the Eastern Yan Shan Mountains. Forest Research, 1993, 6 (5) 473-479.
- [10] Liu W Y, Xie S C, Xie K J, et al. Preliminary studies on the litterfall and coarse woody debris in mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest in Ailao mountains. Acta Botanica Sinica, 1995, 37 (10): 807-814.
- [11] Liu X, Duan C Q. Research on characteristics of secondary semi-humid evergreen broad-leaved forest in Sanachang area. Journal of Yunnan Environmental Science, 2004, 23 (supl. 1) 53-56.

- [12] Lin Y M, He J Y, Yang Z W, *et al.* The dynamics and production of litter falls of *Castanopsis eyrei* community in Wu Yi Mountains. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1995, 38 (2): 280—286.
- [13] Yang Y S, Chen Y X, He Z M, *et al.* Comparatively study on litter properties between plantations of *Fokienia hodginsii* and *Cunninghamia lanceolata*. *Science Silvae Sinicae*, 2004, 40 (1): 2—10.
- [14] Yu Y C, Ruan H H, Fei S M. Study on litters in main forest stands in Xiashu forest farm. In: Department of science and technology ministry of forestry. long-term research on China's forest ecosystems. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994. 112—122.
- [15] Zhang D Q, Ye W H, Yu Q F, *et al.* The litter-fall of representative forests of successional series in Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20 (6): 938—944.
- [16] Weng H, Li Z A, Tu M Z, *et al.* The production and nutrient contents of litter in forests of Ding Hu Shan mountain. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1993, 17 (4): 299—304.
- [17] Ren H, Peng S L, Liu H X, *et al.* Litterfall and its ecological effects at Xiaoliang tropical artificial mixed plantation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9 (5): 458—462.
- [18] Lin P, Lu C Y, Wang G L, *et al.* Studies on dynamics of litter fall of *Bruguiera sexangula* mangrove in Hainan island, China. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1990, 14 (1): 69—74.
- [19] Lu J P, Liu Q H. Litter-fall in tropical forest at Jian-Fengling mountain, Hainan island. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1988, 12 (2): 104—112.
- [20] Su Y M, Liu X L, He F, *et al.* Studies of the withered and fallen substances in man-made *Picea* forest. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2005, 26 (5): 46—48, 95.
- [21] Luo J, Cheng G W, Song M Q, *et al.* The characteristic of litterfall of *Abies fabric* forests on the Gongga Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27 (1): 59—65.
- [22] Wang J L, Tao L, Lu Z W. Study on the characteristic of litterfall of *Picea likiangensis* var. *linzhiensis* forest in Tibet. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22 (6): 566—570.
- [23] Zou B, Li Z A, Ding Y Z, *et al.* Litterfall of common plantation in south subtropical China, *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (3): 715—721.
- [24] Sun H L. China's Ecosystems. Beijing: Science Press, 2005. 1198—1229.
- [25] Cooperating group of Sichuan vegetation. *Sichuan vegetation*, Chengdu: Sichuan People Press, 1980. 263—295.
- [26] Yang X C, Zhong Z C, Ye Z Y. Study on species diversity under secondary succession of semi-natural protected forest in center of Sichuan. *China Applied Environ Biology*, 2002, 8 (2): 127—132.
- [27] Hu Z Y, Wang J X, Peng P H, *et al.* Studies on soil amelioration of the protection forests in the hilly areas of central Sichuan. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2003, 24 (3): 17—24.
- [28] Luo Z S, Xiang C H, Yang Y W. The Natural Differentiation and Distribution Patterns of Abnormal Growth Trees of the Protection Forests in Guansi River Valley, Mianyang. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2005, 26 (4): 29—35.
- [29] Lin C F, Li Z, Niu Z P, *et al.* Litter fall nutrient dynamics in *Fokienia hodginsii* plantation. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2005, 34 (1): 63—66.
- [30] Vogt K A, Grier C C, Vogt D J. Production, turnover, and nutrient dynamics of above-and below-ground detritus of world forests. *Advan. Ecol. Res.*, 1986, 15: 303—377.
- [31] Ren Y H, Cao M, TANG J W, *et al.* A comparative study on litterfall dynamics in a seasonal rain forest and a rubber plantation, *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23 (5): 418—425.
- [32] Hou Y, Wang B S, Zhang H D, *et al.* The litterfall of the south subtropical evergreen broad-leaved forest in Heishiding Nature Reserve. *Ecologic Science*, 1998, 17 (2): 14—18.
- [33] Zeng S C, Su Z Y, Gu Y K, *et al.* Litterfalls of major forest stands at Baiyunshan scenic spot of Guangzhou. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 (1): 154—156.
- [34] Tian D L, Lin X B. Studies on the amount of litter and nutrient restitution in different age of classes *Pinus massoniana* plantation. *Journal of Central-South Forestry University*, 1995, 15 (2): 163—169.
- [35] Tian D L, Chen X Y, Kang W X, *et al.* Study on the litter decomposition and nutrient release in a *Cunninghamia lanceolata* plantation ecosystem. In: Department of science and technology ministry of forestry, ed. long-term research on China's forest ecosystems, Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994. 146—153.
- [36] Hartley M J. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests. *For. Ecol. Manage.*, 2000, 155: 81—95.
- [37] Takuo Nagaike, Atsuko Hayashi, Masako Kubo, *et al.* Plant species diversity in a managed forest landscape composed of *Larix kaempferi* plantations and abandoned coppice forests in central Japan. *Forest Science*, 2006, 52 (3): 324—332.
- [38] Qian F S. Relationships between forest litters and soil macrofauna in Wuhu municipality, *Chinese Journal of Ecology*, 1995, 14 (4): 19—24.
- [39] Xu G L, Huang Z L, Ou-Yan X J, *et al.* Diversity of Aboveground Invertebrates in Dinghushan and Its Correlation with Litter, *Zoological Research*, 2002, 23 (6): 477—482.
- [40] Yi L, You W H. Community Structure and Seasonal Change of Soil Animals in *Castanopsis Fargesii* Forest at Tiantong, Zhejiang Province, *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2006, 2: 112—120.

- [41] Tian C M, Liang Y M, He X X, *et al.* Microfungi in litter and soil of Pine-oak mixed forest, *Journal of Northwest Forest College*, 1996, 11 (supplement): 132 - 136.

## 参考文献:

- [1] 潘开文, 何静, 吴宁. 森林凋落物对林地微生境的影响. *应用生态学报*, 2004, 15 (1): 153 - 158.
- [3] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 森林凋落物研究进展. *生态学杂志*, 2004, 23 (1): 60 - 64.
- [4] 王友凤. 森林凋落物研究综述. *生态学进展*, 1989 (2): 82 - 89.
- [5] 郭剑芬, 杨玉盛, 陈光水, 等. 森林凋落物分解研究进展. *林业科学*, 2006, 42 (4): 93 - 100.
- [6] 蒋有绪. 川西高山冷杉林枯落物叶层的群落学作用. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1981, 5 (2): 89 - 98.
- [7] 彭少麟, 刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应. *生态学报*, 2002, 22 (9): 1534 - 1544.
- [8] 程伯容. 长白山北坡红松针阔混交林凋落物及其生物循环. *森林生态系统研究*, 1992, 6: 200 - 203.
- [9] 郑均宝, 王德艺, 郭泉水, 等. 燕山东段森林和灌木群落凋落物研究. *林业研究*, 1993, 6 (5): 473 - 479.
- [10] 刘文耀, 谢寿昌, 谢克金, 等. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林凋落物和粗死木质物的初步研究. *植物学报*, 1995, 37 (10): 807 - 814.
- [11] 刘曦, 段昌群. 岷马场次生半湿润常绿阔叶林凋落物特征初步研究. *云南环境科学*, 2004, 23 (增刊1): 53 - 56.
- [12] 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. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1995, 38 (2): 280 - 286.
- [13] 杨玉盛, 陈银秀, 何宗明, 等. 福建柏和杉木人工林凋落物性质的比较. *林业科学*, 2004, 40 (1): 2 - 10.
- [14] 俞元春, 阮宏华, 费世民. 下蜀林场主要森林类型凋落物研究. 见: 林业部科技司编. 中国森林生态系统定位研究. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994. 112 - 122.
- [15] 张德强, 叶万辉, 余清发, 等. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究. *生态学报*, 2000, 20 (6): 938 - 944.
- [16] 翁翕, 李志安, 屠梦照, 等. 鼎湖山森林凋落物及营养元素含量研究. *植物生态学与地植物学学报*, 1993, 17 (4): 299 - 304.
- [17] 任海, 彭少麟, 刘鸿先, 等. 小良热带人工混交林的凋落物及其生态效益研究. *应用生态学报*, 1998, 9 (5): 458 - 462.
- [18] 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. *植物生态学与地植物学学报*, 1990, 14 (1): 69 - 74.
- [19] 卢俊培, 刘其汉. 海南尖峰岭热带雨林凋落物研究补报. *植物生态学与地植物学学报*, 1988, 12 (2): 104 - 112.
- [20] 宿以明, 刘兴良, 何飞, 等. 云杉人工林凋落物研究. *四川林业科技*, 2005, 26 (5): 46 - 48, 95.
- [21] 罗辑, 程根伟, 孟孟强, 等. 贡嘎山峨眉冷杉林凋落物的特征. *植物生态学报*, 2003, 27 (1): 59 - 65.
- [22] 王建林, 陶澜, 吕振武. 西藏林芝云杉林凋落物的特征研究. *植物生态学报*, 1998, 22 (6): 566 - 570.
- [23] 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. *生态学报*, 2006, 26 (3): 715 - 721.
- [24] 孙鸿烈主编. 中国生态系统. 北京: 科学出版社, 2005. 1198 - 1229.
- [25] 四川植被协作组. 四川植被. 成都: 四川人民出版社, 1980. 263 - 295.
- [26] 阳小成, 钟章成, 叶志义. 川中半自然型防护林演替过程中的物种多样性. *应用与环境生物学报*, 2002, 8 (2): 127 - 132.
- [27] 胡振宇, 王金锡, 彭培好, 等. 川中丘陵区防护林改良土壤作用研究. *四川林业科技*, 2003, 24 (3): 17 - 24.
- [28] 骆宗诗, 向成华, 杨逸雯. 绵阳官司河流域防护林林木分化及异常木分布格局. *四川林业科技*, 2005, 26 (4): 29 - 35.
- [29] 林成芳, 李震, 牛志鹏, 等. 福建柏人工林凋落物的养分动态特征. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2005, 34 (1): 63 - 66.
- [31] 任泳红, 曹敏, 唐建维, 等. 西双版纳季节雨林与橡胶多层林凋落物动态的比较研究. *植物生态学报*, 1999, 23 (5): 418 - 425.
- [32] 侯庸, 王伯荪, 张宏达, 等. 黑石顶自然保护区南亚热带常绿阔叶林的凋落物. *生态科学*, 1998, 17 (2): 14 - 18.
- [33] 曾曙才, 苏志尧, 古炎坤, 等. 广州白云山风景名胜区主要林分类型凋落物的研究. *应用生态学报*, 2003, 14 (1): 154 - 156.
- [34] 田大伦, 宁晓波. 不同龄组马尾松林凋落物量及养分归还量研究. *中南林学院学报*, 1995, 15 (2): 163 - 169.
- [35] 田大伦, 谌小勇, 康文星, 等. 杉木林生态系统凋落物分解量及养分释放规律. 见: 林业部科技司编. 中国森林生态系统定位研究. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994. 146 - 153.
- [38] 钱复生. 芜湖市森林凋落物与大型土壤动物的关系. *生态学杂志*, 1995, 14 (4): 19 - 24.
- [39] 徐国良, 黄忠良, 欧阳学军, 等. 鼎湖山地表无脊椎动物多样性及其与凋落物的关系. *动物学研究*, 2002, 23 (6): 477 - 482.
- [40] 易兰, 由文辉. 浙江天童栲树林土壤动物群落结构及其季节变化. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 2: 112 - 120.
- [41] 田呈明, 梁英梅, 贺秀贤, 等. 松栎混交林凋落物及土壤微型真菌群落的研究. *西北林学院学报*, 1996, 11 (增): 132 - 136.