

浙江省马尾松生态公益林凋落物及与群落特征关系

黄承才<sup>1,2</sup>, 葛 滢<sup>2</sup>, 朱锦茹<sup>3</sup>, 袁位高<sup>3</sup>, 戚连忠<sup>3</sup>, 江 波<sup>3</sup>, 沈 琪<sup>4</sup>, 常 杰<sup>2</sup>

(1. 绍兴文理学院生命科学学院, 绍兴 312000; 2. 浙江大学生命科学学院, 杭州 310012;  
3. 浙江省林业科学研究院, 杭州 310013; 4. 浙江教育学院, 杭州 310012)

摘要: 在浙江 10.18 万 km<sup>2</sup> 的区域内, 有代表性地调查了 12 个县共 24 个马尾松生态公益林样地的凋落物。研究表明: 马尾松林年均凋落量为 257.9 g/(m<sup>2</sup> · a), 其中叶凋落含量为 84.6%, 枝、果实、皮、碎屑凋落含量分别为 4.7%、4.2%、2.0% 和 4.5%。不同地区间比较表明, 浙西北、浙中、浙南 3 个自然区域间年凋落量无显著差异 ( $p > 0.05$ ), 沿海则明显低于其它地区。年凋落量与马尾松林龄呈对数相关 ( $p < 0.01$ ); 年凋落量与马尾松的胸径、树高、生物量及群落生物量间也呈对数相关关系 ( $p < 0.01$ )。同龄林凋落量比较及凋落量与植物多样性关系表明: 马尾松纯林的凋落量小于非纯林, 且乔木种类越多, 凋落量越多。从凋落物角度分析, 马尾松纯林的生态效益较低, 不利于林地自肥、保水及进一步的植被恢复。

关键词: 马尾松林; 凋落量; 植物多样性; 群落特性; 生态效益

文章编号: 1000-0933(2005)10-2507-07 中图分类号: Q145, Q948 文献标识码: A

The litter of *Pinus massoniana* ecological public-welfare forest in Zhejiang Province and its relationship with the community characters

HUANG Cheng-Cai<sup>1,2</sup>, GE Ying<sup>2</sup>, ZHU Jin-Ru<sup>3</sup>, YUAN Wei-Gao<sup>3</sup>, QI Lian-Zhong<sup>3</sup>, JIANG Bo<sup>3</sup>, SHEN Qi<sup>4</sup>, CHANG Jie<sup>2</sup> (1. College of Life Science, Shaoxing College of Arts and Sciences, Shaoxing 312000, China; 2. Zhejiang University, College of Life Science, Hangzhou 310012, China; 3. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310013, China; 4. Zhejiang Institute of Education, Hangzhou 310012, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2507~2513.

**Abstract:** Twenty-four sample plots of *P. massoniana* public-welfare forest distributed in twelve counties were investigated in over 100,000 km<sup>2</sup> zones of Zhejiang province. Five 1 m<sup>2</sup> quadrates were placed in every plot by using a diagonal method. From March 2000 to May 2001, litters were collected and analyzed every month. Studying the litter of *P. massoniana* forest in different zones and of different ages enables the exploration of the litter characteristics and their relationship with community characteristics and plant diversity. This provides the basic materials for forest litter research and important references for building and restoring ecological public-welfare forests. The results showed that the average annual litter production of *P. massoniana* forest was 257.9 g/(m<sup>2</sup> · a) in which the litter production of leaf, branch, fruit, bark and crumb was 84.6%, 4.7%, 4.2%, 2.0% and 4.5% respectively. There were no significant differences of annual litter production between the Northwest, Middle and South of Zhejiang ( $p > 0.05$ ). However, litter production was much less along the seaboard. This implies that the litter of *P. massoniana* forest diminished while the latitude increased as discussed in the relationship between the litter of *P. massoniana* forest and the environment on the macro-scale. Litter production in the pure *P. massoniana* forest was less than non-pure forests, though they were of the same age and there was a logarithmic relativity between annual litter productions and the ages of *P. massoniana* forest ( $p < 0.01$ ). The amount of litter declined gradually with the age of the *P. massoniana* forest. The relationship between annual litter production and the diameter at breast height, height, biomass of *P.*

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(M303055); 浙江省科技厅重大项目(021102541)

收稿日期: 2004-07-18; 修订日期: 2005-04-03

作者简介: 黄承才(1963~), 浙江嵊州人, 副教授, 主要从事森林生态研究. E-mail: Chengcai@zscas.edu.cn

**Foundation item:** Natural Science Foundation of Zhejiang Province(No. M303055); Science and Technology Department of Zhejiang Province(No. 021102541)

**Received date:** 2004-07-18; **Accepted date:** 2005-04-03

**Biography:** HUANG Cheng-Cai, Associate professor, mainly engaged in forest ecology. E-mial: Chengcai@zscas.edu.cn

*massoniana* and the community biomass also showed logarithmic relativity ( $p < 0.01$ ). The relationship between the annual litter production and Shannon-Wiener Index showed linear positive relativity. That means more tree species, mostly consisting of evergreen and defoliated broad-leaved trees, produced more litters in the *P. massoniana* forest. Because of the lower litter production in pure *P. massoniana* forest and the decline of litters in growing *P. massoniana* forest, the pure *P. massoniana* forest did not aid stand on soil self-fertilization, the retention of water or the deep restoration of vegetation. Moreover, the ecological benefit was lower. This suggests that *P. massoniana* forests might be improved with adding broad-leaved trees if the soil conditions allowed. The research can provide some insights for building and restoring stronger ecological functioning forests as well as restoring and reconstructing better ecologically environments and maintaining biodiversity.

**Key words:** *Pinus massoniana* forest; litter production; plant diversity; community characters; ecological efficiency

生态公益林是以发挥森林生态效益和社会效益为主的森林植被,也是维持陆地生态系统平衡、保障人类基本生存条件和实现社会经济持续发展的基础。在浙江森林植被中,针叶林占森林面积的 85%,其中以马尾松(*Pinus massoniana*)为优势的松林面积达 237.1 万  $\text{hm}^2$ ,约占全省林分面积 55.9%,已归属生态公益林的松林面积达 45.5 万  $\text{hm}^2$ ,占全省生态公益林林分面积的 55.2%<sup>[1]</sup>。马尾松林生态系统功能与生态效益如何?如何构建和恢复生态功能强的生态公益林,是近年来林业研究的新问题。是否可以通过恢复生物多样性来提高生态系统功能,这是当前生态学理论研究与实际应用结合的热点之一<sup>[2,3]</sup>。而在森林生态系统功能研究中,森林凋落物历来受到重视<sup>[4,5]</sup>,它是森林生态系统内物质循环的中心环节,也是林地自肥的根本原因,对水源涵养和水土保持有重要的作用,是指示生态公益林生态效益的重要指标。

国内外森林凋落物的研究较多<sup>[6~21]</sup>,但在 1 个陆域 10.18 万  $\text{km}^2$  的省区范围内进行比较研究的报道尚少。本文试图通过不同地区、不同林龄,对马尾松生态公益林进行研究,找出植被恢复过程中凋落物特点,以及与植被生物量、植物多样性等的关系,为森林凋落物研究提供基础资料,也为全国及全球生态公益林的构建与恢复提供重要参考。

### 1 自然概况

浙江省地处我国东南沿海,北纬 27°06′~31°11′,东经 118°01′~123°10′,陆域 10 万  $\text{km}^2$ ,属典型的亚热带季风性湿润气候。年均温 15.3~18.5℃,最低月均温 2.7~7.9℃,最高月均温 27.0~29.5℃,10℃以上年积温 4800~5800℃,无霜期 225~280d;年降水量 1000~2000mm,以春雨、梅雨、台风雨为主,7、8 月间有伏旱。土壤主要为红壤、红黄壤和黄壤。地貌复杂,山脉多呈西南至东北走向,有山地、丘陵、谷地、平原等多样变化,从而影响气温、降水、风、湿度、日照等气候因素及土壤的形成,使浙江植被因地理位置、地势高低、地形变化等不同而存在差异,从而构成了十分丰富的森林植被<sup>[1]</sup>。

根据浙江的地理位置、地貌特点以及气温、海拔等自然地理特征,全省分为浙北平原、浙西北中低山(浙西北)、浙中丘陵平地(浙中)、浙南中山(浙南)及浙东南沿海(沿海)等 5 个自然地理分区<sup>[1]</sup>,由于历史原因及地区社会经济不平衡因素,森林资源在各自然区中分布不均衡,其中西部山区森林资源较多,北部平原和东南沿海地区较少。本研究选择在 4 个区域中分布的马尾松生态公益林样地(图 1):即浙西北(临安、桐庐、淳安)、浙中(嵊州、天台、常山、开化)、浙南(泰顺、磐安、仙居)及沿海(宁海、定海),其样地概况见表 1。其中,马尾松纯林是指优势度为 1 的样地。除纯林外,部分马尾松林中存在少量的阔叶乔木(优势度在 0.78~0.9 之间),部分与樟树(*Cinnamomum camphora*)、木荷(*Schima superba*)等常绿树种混交,还有部分与枫香(*Liquidambar formosana*)、白栎(*Quercus fabri*)等落叶树种混交,混交的比例体现在优势度中。

### 2 研究方法

#### 2.1 群落特征及凋落物的收集

2000~2002 年,在浙江 10.18 万  $\text{km}^2$  的自然区域内,有代表性选择 23 个县进行大范围的植被野外调查:乔木层样方面积

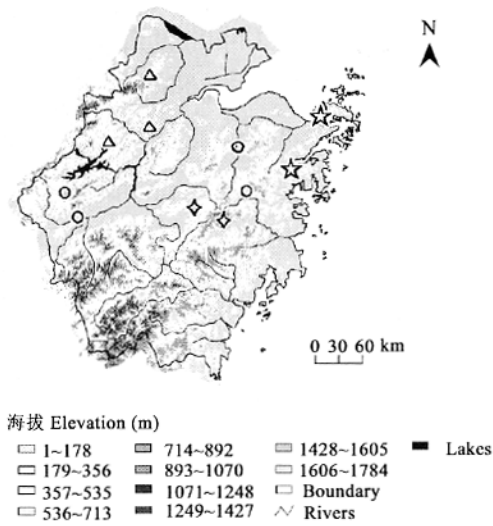


图 1 浙江省马尾松林生态公益林凋落物研究样地的分布  
Fig. 1 Distribution of sample plots of the litter production of *P. massoniana* ecological public-welfare forest in Zhejiang Province, China  
△、○、◇、☆ 分别为浙西北、浙中、浙南和沿海区域的取样区  
Represent sample plots in northwest, middle, south and coastal regions of Zhejiang Province, respectively

为 20×30m<sup>2</sup>,灌木层在 20×30m<sup>2</sup> 样方的 1 条对角线上,取 36m<sup>2</sup> 面积;草本层取 2×2 m<sup>2</sup> 面积。调查包括种名、胸径、高度、枝下高、冠幅、盖度等,以及海拔、坡向、坡度、土壤厚度等生境条件,并在其中的 14 个县进行凋落物的调查。

马尾松生态公益林凋落物共调查了 12 个县 24 个样地,每个 20×30m<sup>2</sup> 的植被样地内,按对角线法设置 5 个样方,分别放置 1×1 m<sup>2</sup> 凋落物收集架,2000 年 3~5 月开始实验,至 2001 年 3~5 月结束,月底收集 1 次,每个样地连续收集 12 个月,带回室内后,区分出各组分(叶、枝、果实、皮及碎屑),80℃ 下烘至恒重、称重,计算月凋落量及年凋落总量。

表 1 浙江省马尾松林生态公益林凋落物样地的立地条件

Table 4 Site conditions of sample plots in <i>P. massoniana</i> ecological public-welfare forest in Zhejiang Province, China												
区域 Region	样地 Sample plot	土壤含水量 Soil moisture (%)	土壤容重 Soil density (g/cm <sup>3</sup> )	海拔 Altitude (m)	坡度 Slope (°)	坡向 Aspect	表土厚度 Depth of surface soil(cm)	土壤 pH Soil pH	土壤类型 Soil type	森林类型 Forest type	林龄 Age of stand (a)	优势度 Dominance
A	淳安Ⅰ ChunanⅠ	21.96	0.85	250	24	S-E	29	6.0	红壤 Red soil	①	13	1.00
	淳安Ⅱ ChunanⅡ	27.81	1.24	200	15	S-E	53	5.5	红壤 Red soil	④	23	0.68
	淳安Ⅲ ChunanⅢ	26.02	1.24	130	26	S	23	5.5	红壤 Red soil	②	17	0.38
	淳安Ⅳ ChunanⅣ	16.09	1.27	140	12	S-E	17	4.5	红壤 Red soil	①	21	1.00
	桐庐Ⅰ TongluⅠ	23.00	1.25	165	12	W	20	5.0	红壤 Red soil	①	30	1.00
	桐庐Ⅱ TongluⅡ	28.57	1.16	140	40	N	18	6.5	黄壤 Yellow soil	②	7	0.48
	临安 Linan	75.74	0.80	360	35	S	10	5.4	红黄壤 Red-yellow soil	⑤	22	0.54
	B 开化 Kaihua	26.23	1.22	145	15	S	15	4.5	红黄壤 Red-yellow soil	⑥	33	0.90
	嵊州Ⅰ ShengzhouⅠ	—	—	200	25	S-W	30	5.0	红壤 Red soil	①	21	1.00
	嵊州Ⅱ ShengzhouⅡ	—	—	220	15	S	20	5.5	红黄壤 Red-yellow soil	⑤	11	0.43
B	天台Ⅰ TiantaiⅠ	21.14	1.39	170	25	S-E	20	5.0	红壤 Red soil	①	9	1.00
	天台Ⅱ TiantaiⅡ	10.89	1.22	186	10	S-W	11	6.0	红壤 Red soil	⑥	20	0.90
	常山Ⅰ ChangshanⅠ	--	--	350	32	W	8	6.3	红壤 Red soil	①	15	1.00
	常山Ⅱ ChangshanⅡ	25.35	1.51	350	34	E	40	6.5	红壤 Red soil	⑥	17	0.78
	C 磐安Ⅰ PananⅠ	18.40	1.24	500	8	S-E	16	4.5	红黄壤 Red-yellow soil	③	26	0.21
	磐安Ⅱ PananⅡ	21.17	1.25	500	22	E	17	5.0	红黄壤 Red-yellow soil	③	33	0.25
	磐安Ⅲ PananⅢ	19.14	1.28	480	15	E	10	5.0	红壤 Red soil	①	12	1.00
	仙居Ⅰ XianjuⅠ	29.05	1.20	400	22	E	13	5.4	红壤 Red soil	①	18	1.00
	仙居Ⅱ XianjuⅡ	35.23	1.36	400	20	E	18	5.4	红壤 Red soil	①	28	1.00
	泰顺Ⅰ TaishunⅠ	24.13	1.40	580	10	S	54	5.0	红色石灰土 Red limestone soil	⑥	32	0.88
C	泰顺Ⅱ TaishunⅡ	24.62	1.23	380	12	S	16	5.0	紫砂土 Red stone-ware	⑥	41	0.80
	D 定海 Dinghai	13.15	1.20	30	20	S	20	5.0	红黄壤 Red-yellow soil	①	24	1.00
	宁海Ⅰ NinghaiⅠ	13.78	1.17	35	30	S	25	5.0	红壤 Red soil	①	33	1.00
	宁海Ⅱ NinghaiⅡ	20.86	1.25	40	25	N	20	5.5	红黄壤 Red-yellow soil	①	10	1.00

A 浙西北中低山区 The middle and low mountains in Northwest Zhejiang;B 浙中丘陵平地区 Hill regions in Middle Zhejiang;C 浙南中山区 Middle mountains in South Zhejiang;D 浙东南沿海区 Coastal region in Southeast Zhejiang;①马尾松纯林 pure *P. massoniana* forest;②马尾松、樟树混交林 *P. massoniana* mixed *Cinnamomum camphora* forest;③马尾松、木荷混交林 *P. massoniana* mixed *Schima superba* forest;④马尾松、白栎混交林 *P. massoniana* mixed *Quercus fabric* forest;⑤马尾松、枫香混交林 *P. massoniana* mixed *Liquidambar formosana* forest;⑥马尾松与少量阔叶树混交林 *P. massoniana* mixed few broad-leaved forest

2.2 物种多样性的测度

(1) 生态优势度  $(D):D = \sum P_i^2 (\sum P_i = 1)$

(2) Shannon-Wiener 指数  $(H'):H' = - \sum P_i \ln P_i (\sum P_i = 1)$

式中, $P_i$  为种  $i$  的相对重要值( $IV$ ),乔木层物种相对重要值=(相对密度+相对胸高断面积+相对频度)/3;灌木和草本层物种的相对重要值=(相对多度+相对盖度+相对频度)/3;其中频度在乔木层、灌木层、草本层中以每 100、18、4m<sup>2</sup> 为统计单位计算。

3 结果与分析

3.1 凋落物的特点

在浙江 10.18 万 km<sup>2</sup> 的自然区域内,对 24 个样地的马尾松林进行调查表明,马尾松林年凋落量在 62.3~464.0g/(m<sup>2</sup>·a)

之间,平均为 257.9g/(m<sup>2</sup>·a);其中叶凋落量除开化(40.7%)外在 72.7%~99.1%之间,平均为 84.6%,占凋落量的极大部分;枝、果实、皮、碎屑分别为 4.7%、4.2%、2.0%、4.5%,只占凋落量中的少部分。

不同林龄的马尾松,其年凋落量差异较大。分析马尾松林年凋落量与林龄关系(图 2)表明,马尾松林的年凋落量与其林龄呈对数相关( $p<0.01$ ),即随着马尾松林龄的增长,凋落物增加量逐渐减少。

参照浙江林业自然资源的林龄划分标准<sup>[1]</sup>,本文对马尾松林龄划分为幼龄林(1~20a)、中龄林(21~30a)、近熟林(31~40a)、成熟林(41~60a)4 个阶段,其中处在幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林的样地分别为 11、8、4、1 个。表 2 表明,同一林龄中,马尾松纯林凋落量<非纯林;同一林龄、同一优势度中,由于纬度、海拔、气温、坡度、坡向、表土厚度等环境因子影响,年凋落量也有较大差异,其变异系数在 18.7%~42.4%之间。

中龄(21~30a)马尾松纯林(淳安Ⅳ、桐庐Ⅰ、嵊州Ⅰ、仙居Ⅱ、定海)年凋落量在 133.6~279.1g/(m<sup>2</sup>·a)间,年均均为 229.9±57.3g/(m<sup>2</sup>·a);其中叶凋落含量为 82.7%,占凋落量的极大部分。若不含台风、气温影响较大的浙东沿海区(定海),则其凋落物年均值为 254.0±22.8g/(m<sup>2</sup>·a),变异系数下降到 9.0%;其中叶凋落含量为 82.7%,占凋落量的极大部分;枝、果实、皮、碎屑分别为 6.6%、5.3%、3.3%、2.1%,这比张庆费等<sup>[9]</sup>在浙江天童研究的马尾松优势林的年凋落量(309.0g/(m<sup>2</sup>·a))、张德强等<sup>[10]</sup>在鼎湖山研究的马尾松凋落量(331.0g/(m<sup>2</sup>·a))要低些。

浙东沿海区(定海、宁海Ⅰ、宁海Ⅱ),由于台风、气温及人为扰动等环境因子影响,使马尾松林生物量及群落生物量普遍较低,以至其凋落量较小。因此,近熟林(表 2)中的马尾松纯林(宁海Ⅰ)仅为 133.8g/(m<sup>2</sup>·a),这一值仅在沿海地区具有代表性。

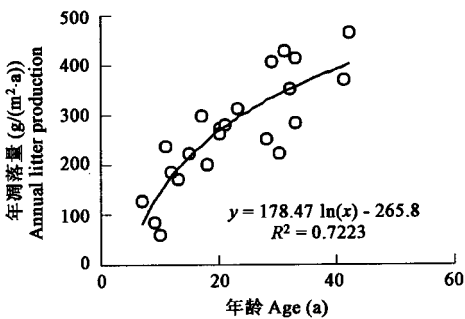


图 2 浙江省马尾松林生态公益林凋落物年总量与林龄间的关系  
Fig. 2 Relationship between annual litter production and age of stand of *P. massoniana* ecological public-welfare forest in Zhejiang Province, China

表 2 浙江省马尾松林生态公益林凋落物年总量(g/(m<sup>2</sup>·a))及各组分百分含量(%)  
Table 2 Total annual litter productions and its component percentage in *P. massoniana* ecological public-welfare forest in Zhejiang Province, China

林龄 Age of stand	优势度 Dominance	样地数 Number of sample plot(No.)	年凋落量 Annual litter production(g/(m <sup>2</sup> ·a))	变异系数 Coefficient of variation(%)	叶 Leaf (%)	枝 Branch (%)	果 Fruit (%)	皮 Bark (%)	碎屑 Crumb (%)
幼龄林 Juvenile stand≤20a	1 ≤0.9	6	155.4±65.9	42.4	90.7	1.6	4.5	0.7	2.5
中龄林 Middle-aged stand 21~30a	1 ≤0.68	5	273.8±107.1	39.1	84.8	4.6	5.3	0.9	4.5
近熟林 Close-mature stand 31~40a	1 ≤0.9	3	229.9±57.3	24.9	82.7	6.6	5.9	2.9	1.9
成熟林 Mature stand 41~60a	1 0.8	3	394.4±76.8	19.5	84.5	4.2	3.2	3.3	4.8
		1	133.8	0	92.2	3.7	0.1	1.4	2.6
		3	349.8±65.4	18.7	69.2	8.7	4.8	3.8	13.4
		1	371.2	0	94.0	3.1	0.0	2.9	0.0

3.2 凋落物与群落特征的关系

为进一步分析凋落物特点与差异,以马尾松林的平均胸径、树高为自变量,以马尾松林的年凋落量为因变量进行回归分析(图 3),发现马尾松林的年凋落量与马尾松的胸径、树高之间均呈对数相关( $p<0.01$ )。随着胸径、树高的增加,年凋落量也增加,其增加幅度逐渐下降,但在目前的胸径范围内还没有表现出明显的饱和现象。

马尾松林的年凋落量与马尾松的生物量及群落生物量之间也呈对数相关( $p<0.01$ )(图 4),即随着马尾松的生物量及群落生物量的增加,年凋落量也增加,其增加幅度逐渐下降。对凋落物贡献来说,马尾松的生物量占了群落生物量中的大部分;然而,当马尾松生物量约达 120t/hm<sup>2</sup> 时,其凋落量几乎不再随马尾松生物量的增加而增加,表现出饱和现象,说明马尾松林到一定林龄后,其凋落量的增加主要由其中的阔叶乔木与灌木产生。

3.3 凋落物与植物多样性关系

在分析凋落量与群落生物量的基础上,进一步分析凋落量与生物多样性关系表明,马尾松林的年凋落量与其乔木的 Shannon-Wiener 指数呈线性正相关( $p<0.01$ ),说明马尾松林中的乔木种类越多,马尾松林的凋落量越多(图 5),且乔木大多为

常绿阔叶树与落叶阔叶树。凋落量与乔木的 Simpson 指数及优势度关系也都表明同一结论。

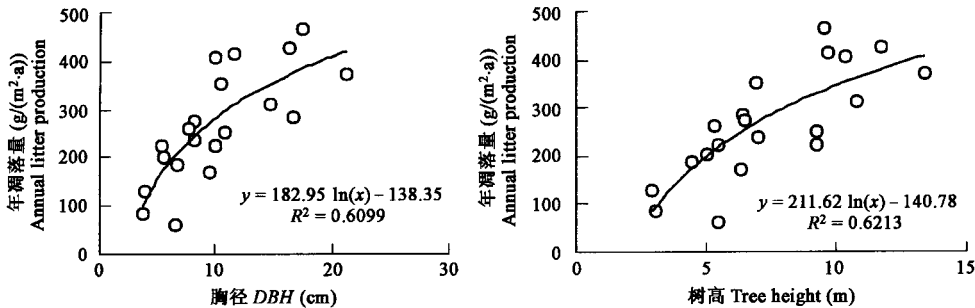


图3 浙江省马尾松林生态公益林凋落物年总量与胸径、树高的关系

Fig. 3 Relationship between annual litter production and the diameter at breast height and height of *P. massoniana* ecological public-welfare forest in Zhejiang Province, China

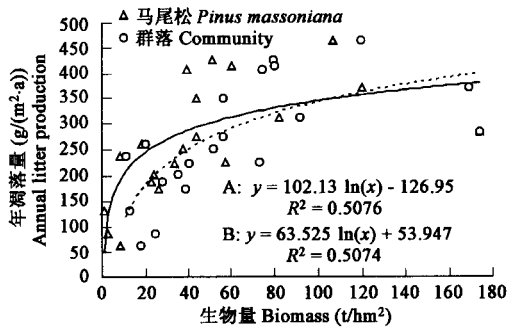


图4 浙江省马尾松林生态公益林凋落物凋落物年总量与马尾松生物量及群落生物量的关系

Fig. 4 Relationship among annual litter production and biomass of *P. massoniana* and the total biomass of whole community  
A:群落(虚线) community, broken line;B:马尾松(实线) *P. massoniana*, real line

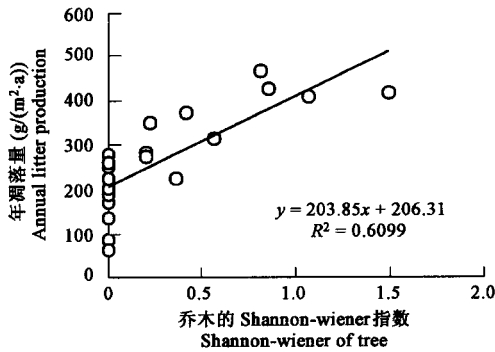


图5 浙江省马尾松林生态公益林凋落物与植物多样性的关系

Fig. 5 Relationship between annual litter production and plant diversity in the *P. massoniana* ecological public-welfare forest in Zhejiang Province, China

3.4 凋落物在自然区域间的差异

从3.1中数据表明,年凋落量与林龄呈对数相关。为探讨年凋落量的区域间差异,减少因林龄不同而导致的误差,将西北、浙中、浙南3个自然区域的年凋落量进行协方差分析,其结果表明,年凋落量与林龄间的总回归与共同回归均呈极显著相关( $p<0.01$ );地区因子间协方差分析结果表明:跨越了浙江的西北、浙中、浙南3个自然区域,其纬度、气温、海拔、坡向、土质等有一定差异,但包括人为扰动在内的环境因子影响下,使得浙西北、浙中、浙南3个自然区域间年凋落量无显著差异( $p>0.05$ ),结合3.1的结果分析,21~30a马尾松纯林凋落量的平均值( $254.0\pm22.8\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ )对浙西北、浙中、浙南3个自然区域内而言具有一定的代表性。

浙东沿海区域只选择了3个样地,不能与其它3个自然区间(均为7个样地)进行协方差分析,但与其它地区相同或接近的林龄、相同优势度的马尾松林进行比较表明,沿海地区马尾松的年凋落量小于其它3个自然区,这与沿海的气候及人为扰动等环境因子而导致马尾松生物量与群落总生物量较少有关。

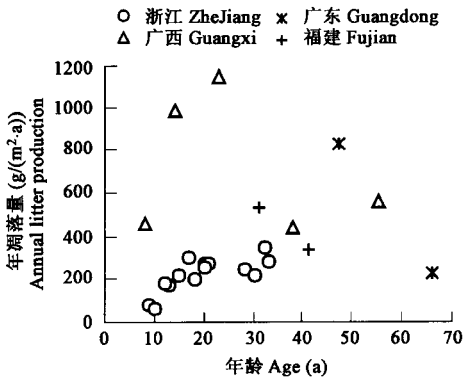


图6 中国不同地区马尾松林年凋落量的比较

Fig. 6 Comparisons of annual litter production of *P. massoniana* forest in different zones of China

4 讨论

4.1 凋落量与环境因子间的关系

对于森林凋落量影响因子的研究,Dray 等<sup>[14]</sup>报道了凋落量随纬度的增加而逐渐减少,在此基础上,王凤友等<sup>[15]</sup>建立了森林凋落量与纬度的线性回归关系。为探讨环境因子对凋落量的影响,现将马尾松纯林与优势林(优势度>0.78)凋落物数据,与文献中在广西、广东、福建等地对马尾松纯林凋落物的数据<sup>[16~21]</sup>进行比较(图6);广西武宣幼龄林、中龄林明显高于浙江同林龄的马尾松林;福建洋口31a马尾松林凋落物也高于浙江同林龄的马尾松林,表明马尾松林的凋落量也存在随纬度增加而减少的规律。然而,纬度、海拔及其它地理因子都是通过对光、温、水等生态因子的再分配来影响森林凋落量,其中,影响森林凋落量的主导因子是年均温度<sup>[5]</sup>。从表3中也可以看出,4个省区的年降水量较接近,而年均温度为广西、广东>福建>浙江,其变化与凋落量随纬度增加而减小的规律基本一致,这与年均温度是影响凋落量的主导气候因子的结论相符合。

本研究虽跨越整个浙江省,但对研究凋落物而言,其纬度变化并不大,加之海拔、气温、坡向、土质及人为扰动等因子影响,其纬度对凋落量的影响不甚明显。

另外,从林龄与凋落量关系分析,广西、广东、福建等3个地区研究结果可以看出,马尾松林到一定林龄后,其凋落量呈减少的趋势;3个地区马尾松林凋落物中,叶的含量为最多(45.4%~78.8%),且各成分含量为叶>枝>果实>皮。这些规律与本文的研究结果基本一致。

表3 中国不同地区马尾松林样地的立地条件

Table 3 Site Condition of Sample Plots of <i>P. massoniana</i> forest in different zones of China					
样地 Sample plot	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude(m)	年平均气温 Annual mean temperature(℃)	年降水量 Annual precipitation (mm)
浙江 Zhejiang	27°06'~31°11'	118°01'~123°10'	30~580	15.3~18.5	1000~2000
福建 Fujian	26°50'	117°53'	190~360	18.5~19.1	1741~1880
广东 Guangdong	23°03'~23°10'	112°33~113°19'	50~382	21.0~21.7	1727~1927
广西 Guangxi	21°41'~23°45'	105°05'~110°18'	400~600	19.6~21.1	1418~1988

4.2 马尾松公益林的生态效益分析

据统计,浙江省以马尾松为优势树种的林龄中,幼龄林、中龄林、近熟林、成过熟林分别占42%、43.3%、12.4%和2.3%<sup>[1]</sup>,说明本省马尾松林目前主要处在幼龄林与中龄林。随着浙江经济的快速发展,柴樵逐渐减少,加之生态公益林建设,马尾松林在近期会更加稳定地发育,并在水源涵养、养分归还等方面存在一定的生态效益。但随着马尾松林龄的增长,纯林的弱点也逐渐暴露出来,立地衰退日益明显,已引起人们的广泛关注<sup>[22,23]</sup>。对马尾松林凋落物的研究表明:马尾松纯林凋落量较低,且随着马尾松林龄的增长,凋落物增加量减少,这不利于土壤自肥、保水与改良及进一步的植被恢复,其生态效益较低。因此,在土壤十分瘠薄、阔叶树不易生长的生境上可以保留马尾松林,而在有一定土壤条件的地方可以对其进行改良,增加阔叶树成分,这对构建、恢复生态功能强的生态公益林,恢复和再造良性生态环境以及维护生物多样性具有一定的指导意义。

References:

[1] Liu A X, Zhang Z S, Ding Y D. *Zhejiang forestry natural resources-forest (Forest Volume)*. Beijing: Chinese Science and Technology Press of Agriculture, 2002. 20~135.

[2] Tilman D. *Plant strategies the dynamics and structure of plant communities*. Princeton: Princeton University Press, NJ, 1988.

[3] Tilman D. Relative growth rates and plant allocation patterns. *American Naturalist*, 1991, **138**: 1269~1275.

[4] Wu C Z, Hong W, Jiang Z L, *et al.* Advances in research of forest litterfall in China. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2000, **22**(3): 405~410.

[5] Lin B, Liu Q, Wu Y, *et al.* Advances in the studies of forest litter. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, **23**(1): 60~64.

[6] Pedersen L B, Bille-Hansen J. A comparison of litterfall and element ? uxes in even aged Norway spruce, sitka spruce and beech stands in Denmark. *Forest Ecology and Management*, 1999, **114**: 55~70.

[7] Kavvadias V A, Alifragis D, Tsiontsis A, *et al.* Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. *Forest Ecology and Management*, 2001, **144**(1-3): 113~127.

[8] Hariss M R, Lamb D and Erskine P D. An investigation into the possible inhibitory effects of white cypress pine (*Callitris glaucophylla*) litter on the germination and growth of association ground cover species. *Australian Journal of Botany*, 2003, **51**: 93~102.

[9] Zhang Q F, Song Y C, Wu H Q, *et al.* Dynamics of litter amount and it's decomposition in different successional stages of evergreen

broad-leaved forest in tiantong, Zhejiang Province, *Acta Phytoecologica Sinica*, 1999, **18**(2): 17~21.

[10] 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.

[11] Guo J X, Sun G, Jiang S C. Study on effect of litter layer on community in aneurolepidium Chinense grassland in songnen plain. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2000, **24**(4):473~476.

[12] 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.

[13] Peng S L, Liu Q. The dynamics of forest litter and its responses to global warming. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(9): 1534~1544.

[14] Dray J R, Gorham E. Litter production in forests of the world. *Adv. Res.* , 1964, **2**:101~157.

[15] Weng F Y. Review on the study of forest litter productions. *Advances in Ecology*,1989, **6**(2):82~89.

[16] Tian D L, Lin X B. Studies of 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.

[17] Zhang J W, Liao L P, Li J F, *et al.* Litter dynamics of *Pinus massoniana* and *Michelia macclurei* mixed forest and its effect on soil nutrients. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1993,**4**(4):359~363.

[18] Mo J M, Kong G H, Brown S, *et al.* Litterfall response to human impacts in a dinghushan pine forest. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2001, **25**(6): 656~664.

[19] Zeng S C, Su Z Y, Gu Y K, *et al.* Littlefalls of major forest stands at Baiyunshan scienic spot of Guangzhou. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, **14**(1): 154~156.

[20] Yang X M. Laws of Litter-fall Decomposition and Nutrient Release in the *Pinus massoniana* Plantation Ecosystem. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2002,**22**(1):86~89.

[21] Fan H B, Lin D X, Su B Q, *et al.* Forest litter ecology in *Pinus massoniana* and its mixed forests formed by inter-planting with hardwood tree species. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2002,**22**(3): 209~212.

[22] He J S, Chen W L, Jiang M G,*et al.* Plant species diversity of the degraded ecosystems in the three gorges region. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, **18**(4): 399~407.

[23] Weng H Z. *Studies on mixed forest in south China*. Beijing: Forest Press of China, 1993. 1~13.

参考文献:

[ 1 ] 刘安兴,张正寿,丁衣冬. 浙江林业自然资源(森林卷). 北京:中国农业科学技术出版, 2002. 20~135.

[ 4 ] 吴承祯,洪伟,姜志林,等. 我国森林凋落物研究进展. 江西农业大学学报, 2000, **22**(3): 405~410.

[ 5 ] 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.

[ 9 ] 张庆费,宋永昌,吴化前,等. 浙江天童常绿阔叶林演替过程凋落物数量及分解动态. 植物生态学报. 1999, **18**(2): 17~21.

[10] 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.

[11] 郭继勋,孙刚,姜世成. 松嫩平原羊草草原凋落物层群落学作用的研究. 植物生态学报, 2000, **24**(4):473~476.

[12] 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应研究. 应用生态学报, 1998, **9**(5): 458~462.

[13] 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.

[15] 王凤友. 森林凋落量研究综述. 生态学进展,1989, **6**(2):82~89.

[16] 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.

[17] 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. 应用生态学报,1993,**4**(4):359~363.

[18] 莫江明,孔国辉, Sandra BROWN,等. 鼎湖山马尾松林凋落物及其对人类干扰的响应研究. 植物生态学报, 2001, **25**(6): 656~664.

[19] 曾曙才,苏志尧,古炎坤,等. 广州白云山风景区主要林分类型凋落物的研究. 应用生态学报, 2003, **14**(1): 154~156.

[20] 杨细明. 马尾松人工林凋落物分解及养分释放规律. 福建林学院学报,2002,**22**(1):86~89.

[21] 樊后保,林德喜,苏兵强,等. 林下套种阔叶林的马尾松林凋落物生态学研究 I. 凋落物量及其动态. 福建林学院学报, 2002, **22**(3): 209~212.

[22] 贺金生,陈伟烈,江明喜,等. 长江三峡地区退化生态系统植物群落物种多样性特征. 生态学报,1998, **18**(4): 399~407.

[23] 王宏志. 中国南方混交林研究. 北京:中国林业出版社, 1993. 1~13.