

豫东平原杨-农复合系统凋落物的数量、组成及其动态

万 猛¹, 田大伦¹, 樊 巍^{2,*}

(1. 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004; 2. 河南省林业科学研究院, 河南 郑州 450008)

摘要: 农林复合系统的凋落物既是维持植被系统和土壤系统养分循环的关键, 也是维持农林复合系统结构和功能的重要因子。通过对豫东平原农区 4 年生、9 年生和 12 年生 3 个不同林龄杨-农复合系统杨树凋落物的数量、组成及季节动态的研究来为深入研究农林复合系统对大气中 CO₂ 的调节作用以及碳循环机理提供参考数据。结果表明, 4a 杨-农复合系统年凋落物总量为 11.18 t·hm⁻²; 9a 杨-农间作复合系统年凋落物总量为 12.86 t·hm⁻²; 12a 杨-农复合系统年凋落物总量为 13.75 t·hm⁻²。3 个不同林龄的杨-农复合系统凋落物总量月变化模式较为相似, 均在 8 月和 11 月份出现峰值, 而以 11 月份数量最大。其季节变化模式则为秋季 > 冬季 > 夏季 > 春季。

关键词: 豫东平原; 杨树; 杨-农复合; 凋落物; 动态

文章编号: 1000-0933 (2009) 05-2507-07 中图分类号: S181, S314 文献标识码: A

Amount, composition and seasonal dynamics of litterfall in Poplar-Crop agroforestry ecosystems in Henan Eastern Plain

WAN Meng¹, TIAN Da-Lun¹, FAN Wei^{2,*}

1 Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China

2 Henan Academy of Forestry, Zhengzhou, Henan 450008, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2507 ~ 2513.

Abstract: Litterfall is a structurally and functionally important component of agroforestry ecosystems and plays an essential role in supplying organic matter and nutrient for the soil and sustaining nutrient cycle in vegetation-soil system. Amount, composition and seasonal dynamics of litterfall were investigated in the poplar-crop agroforestry systems with different years of poplar plantation (4, 9, and 12 years) in Henan Eastern Plain. The results showed that annual litterfall was 11.18, 12.86 and 13.75 t·hm⁻² in the three years agroforestry systems, respectively, with a similar seasonal change pattern in the order autumn > winter > summer > spring. Two monthly peaks of litterfall was found in August and in November in the three systems, respectively. The present study provides important basis and scientific reference for further research on nutrient biogeochemical cycling, CO₂ flux and carbon sequestration in agroforestry ecosystems.

Key Words: East Henan Plain; *Populus* sp.; poplar-crop agroforestry ecosystem; litterfall; dynamics

森林凋落物 (forest litter) 是森林生态系统的重要组成成分, 其动态是森林生态系统物质循环和能量流动的一个重要方面^[1~3], 与林分动态密切相关。每年不断有凋落物输入土壤表面的凋落物层, 同时凋落物的分解也通过土壤供应植物营养元素^[4,5], 而这些养分元素又是林木维持自身生长所需养分的主要来源之一, 凋落物的分解与森林生态系统的养分循环及林地生产力关系密切^[6~8], 在维持土壤肥力方面起到了特别重要的作用。随着全球碳循环问题受到广泛关注, 凋落物的分解对森林生态系统碳预算所具有重要科学意义也逐渐

基金项目: 国家“十一五”重大科技支撑专题资助项目 (2006BAD03A0506); 国家林业局行业公益专项资助项目 (20070414); 国家林业局黄淮海平原, 农田防护林生态系统定位研究观测站资助项目

收稿日期: 2009-02-17; 修订日期: 2009-04-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Fanw2004@163.com

被人们所认识。而以前的研究多集中在天然林上^[8~13],近年来对人工林和农林复合系统的研究也逐渐增多。人工林和农林复合系统因其与天然林在林龄、抚育方式等方面的差异,其凋落、分解的特征也不相同。有关研究发现,凋落物是农林复合系统林木部分碳通量的最大贡献者,随着树木株行距的变化其凋落物碳的投入而相应的呈指数减少^[14],其生产力随着系统年龄的增长而增加^[15]。对于农林复合系统来说,凋落物不仅对林木本身有利,而且对于加快农田生态系统的物质与能量循环也有一定的作用^[16]。因此,对农林复合系统凋落物的数量、组成及其动态的研究是了解这一人工系统的关键。

杨树(*Populus* sp.)作为一种分布广泛、适应性强、生长迅速的树种,具有耐瘠薄、耐水、耐寒、耐旱,成活率高、速生、用途广、经济效益高的特点,是用材林、防护林和四旁绿化的主要树种,特别是在农田林网、农林间作等农林复合经营中起着重要作用,已经成为世界上最有利用价值树种之一,而且截至到2003年,河南省农林复合经营的面积已经达到了495.8万hm²。因此本文通过研究豫东平原农区不同年龄阶段杨-农复合系统凋落物的数量、组成及其动态的变化特征,从而为深入研究农林复合系统的合理经营模式、养分循环、农林复合系统对大气CO₂的调节作用以及碳循环机理等提供参考数据。在丰富基础资料的同时,也为进一步准确评估豫东平原农区农林复合系统的物质生产、碳循环以及农林复合模式的生态效益和经济效益提供了依据。

1 研究区概况

研究区位于河南省商丘市民权国营林场,民权林场位于豫东平原黄河故道腹地民权县境内,地理坐标为北纬34.31°~34.52°,东经114°~115°28′,海拔60.9m,年均气温14.0℃,绝对最低气温-16.0℃,大于10℃积温4700℃,无霜期213d,年均降水量679mm,属于暖温带大陆性季风气候区。土壤为黄河冲击而形成的风沙土,pH8.85~9.28,地下水位1.5~4.0m。

在研究区内调查了杨树4年生、9年生和12年生3个龄级的杨-农复合系统,品种均为中林46杨(*Populus × euramericana* (Dode) Guimer CL. ‘zhanglin-46’)。各龄级林分林相比较整齐,其株行距分别为6m×9m、3m×10m和8m×30m,平均胸径分别为9.02、22.96cm和34.16cm,平均树高分别为7.38、21.96m和26.49m。3个龄级的杨-农复合系统中在夏季和秋季间作的农作物分别是小麦和花生。林分特征的测定值见表1。

表1 各样地林分特征值
Table 1 The site characteristics

样地类型 Site type	林分特征 Stand Characteristic					
	林龄 Age (a)	密度 Density (株数·hm ⁻²)	平均胸径 Average DBH (cm)	平均树高 Average height dimension(m)	平均冠幅 Average crown (m×m)	株行距 Tree spacing (m×m)
4a 杨-农复合 4 years Poplar-Crop agroforestry	4	416	9.02	7.38	4.54×4.46	6×9
9a 杨-农复合 9 years Poplar-Crop agroforestry	9	303	22.96	21.96	3.58×2.76	3×10
12a 杨-农复合 12 years Poplar-Crop agroforestry	12	105	34.16	26.49	7.33×3.74	8×30

2 研究方法

样地调查于2006年8月~2008年9月进行,按照杨-农复合系统4a、9a和12a 3个不同龄级,分别设立1块40m×40m固定标准地。凋落物的收集是通过简易的收集器进行收集,其规格为50cm×50cm×60cm。在农林间作固定样地内,采用机械布点的方法,分别在每条林带林缘的1、2、5、10、15m和20m处设置凋落物收集器。在4a、9a和12a 3个不同龄级的固定样地分别设置了凋落物收集器为14、14和29个。从2006年8月起于每月底收集凋落物,收集后带回实验室,按照叶、枝、花序和其它(碎屑、昆虫粪便、小动物尸体等)进行分类,将各组分凋落物分别置于烘箱中,80℃下烘干至恒重,称重。每个样地内所有收集器的每月凋落量之和除以所有收集器的总面积,即得到每月每平方米的凋落量,转化可得其每公顷凋落量,各龄级杨-农间作林木

每月凋落量之和为其年总凋落量^[17]。所有分析都采用 SPSS13.0 软件进行统计分析,使用 SigmaPlot9.0 软件进行作图。

3 结果与分析

3.1 不同林龄杨-农复合系统凋落物的年产量及组成

凋落物数量组成及质量是林木生长发育过程中的新陈代谢产物,受林木组成结构等因素的深刻影响,是森林自我培肥地力的主要来源之一^[18]。特别是在我国很难做到大面积林地施肥的情况下,凋落物的养分再循环对保持林地的长期生产力显得十分重要^[19]。从 2a 的观测结果可得(表 2),4a 杨-农复合系统年凋落量为 11.18 ~ 11.69 t·hm⁻²,平均年凋落量为 11.43 t·hm⁻²,变异系数为 2.23%;9a 杨-农复合系统年凋落量为 12.66 ~ 12.86 t·hm⁻²,平均年凋落量为 12.76 t·hm⁻²,变异系数为 0.79%;12a 杨-农复合系统年凋落量为 13.75 ~ 14.05 t·hm⁻²,平均年凋落量为 13.90 t·hm⁻²,变异系数为 1.07%。不同林龄的杨-农复合之间的年凋落量虽有一定的差异,但彼此之间差异不显著,变异系数仅为 7.94%。由此可知 3 个不同林龄杨-农复合系统年凋落物量随着林龄的增大而增大。

表 2 不同林龄杨-农复合系统凋落量
Table 2 Litterfall production in different Poplar-Crop agroforestry ecosystems

林型 Site type	组分 Tissue type	凋落量 Litterfall amount (t·hm ⁻²)		合计 Total (t·hm ⁻²)		平均 Average (t·hm ⁻²)	标准差 Standard deviation	变异系数 V. C. (%)
		2006 ~ 2007 年	2007 ~ 2008 年	2006 ~ 2007 年	2007 ~ 2008 年			
4a 杨-农复合 4 years Poplar- Crop Agroforestry	枯叶 Leaf litter	10.38	9.90	11.18	11.69	11.43	0.25	2.23
	枯枝 Brance litter	0.20	0.58					
	花序 Inflorescence litter	0.57	0.85					
	其它 Others litter	0.03	0.36					
9a 杨-农复合 9 years Poplar- Crop Agroforestry	枯叶 Leaf litter	11.99	11.59	12.86	12.66	12.76	0.10	0.79
	枯枝 Brance litter	0.21	0.34					
	花序 Inflorescence litter	0.61	0.68					
	其它 Others litter	0.04	0.05					
12a 杨-农复合 12 years Poplar- Crop Agroforestry	枯叶 Leaf litter	13.09	13.26	13.75	14.05	13.90	0.15	1.07
	枯枝 Brance litter	0.29	0.39					
	花序 Inflorescence litter	0.34	0.39					
	其它 Others litter	0.05	0.03					

4a 杨-农复合类型中枯叶、花序、枯枝和其它(碎屑、昆虫粪便、小动物尸体等)凋落量所占凋落物总量的平均百分比分别是 88.76%、6.21%、3.37% 和 1.67%;9 年杨-农复合类型中枯叶、花序、枯枝和其它(碎屑、昆虫粪便、小动物尸体等)凋落量所占凋落物总量的平均百分比分别是 92.41%、5.09%、2.17% 和 0.34%;12a 杨-农复合类型中枯叶、花序、枯枝和其它(碎屑、昆虫粪便、小动物尸体等)凋落量所占凋落物总量的平均百分比分别是 94.79%、2.63%、2.31% 和 0.28%。3 种林龄类型中枯叶凋落量所占比例都很高,在凋落物组成中占绝对优势。花序凋落量所占比例次之,枯枝凋落量所占比例再次之,其它(碎屑、昆虫粪便、小动物尸体等)凋落量所占比例最小。3 种类型各组分所占比例的分布格局均为枯叶 > 花序 > 枯枝 > 其它(碎屑、昆虫粪便、小动物尸体等)。凋落物量的变化除了与所处气候带不同外,主要与林分年龄差异有关,因此林分年龄的差异决定了这 3 种类型年凋落物总量的变化。另外,4a 杨-农复合、9a 杨-农复合和 12a 杨-农复合这 3 种类型在造林密度上是不同的,造林密度对该地区杨-农复合系统中林木的生长及凋落物量的影响有待于进一步研究。

3.2 不同林龄杨-农复合系统凋落物总量的月变化

凋落物是林木生长发育的代谢产物,包括落下的叶、枝、芽、花序、果实、皮以及其它残体。对于同一种类

型的杨-农复合系统因不同的林分年龄、不同的栽植密度等差异,凋落物各组分的年凋落量会表现出一定的差异。虽然暖温带落叶阔叶乔木在全年均有凋落物,但凋落物组分、数量在各个月的分布是不均匀的,可能是单峰的、双峰的或者不规则的。为了便于讨论凋落量在一年中的变化,将当月凋落量高于一年平均值 30% 的称为峰值^[20]。

根据 2a 定位观察的各月凋落量平均值作出了不同林龄杨-农复合系统凋落物总量的月变化图,由图 1 和表 3 可知,在 2a 中杨-农间作复合系统的凋落物归还过程是从 2 月底开始的,3~4 月份主要是花序的凋落。从 4 月份开始有落叶,但是其凋落量很少,主要是由于风引起的机械摩擦和光照养分不足造成的。8 月份后,由于自然脱落和叶斑病,凋落物的量开始剧烈增加,出现了一个短暂的峰值。到 10 月份落叶量急剧增加,凋落物总量也随之增加。11 月份达到了全年的高峰,是全年凋落物总量的最高峰值。12 月份落叶基本落完,枯枝的凋落主要集中在 11、12、1 月份和 2 月份。在全年中,4a、9a 和 12a 3 个不同林龄的杨-农复合系统中峰值出现在 8 月份和 11 月份,而 11 月份则是全年凋落物总量的一个峰值。

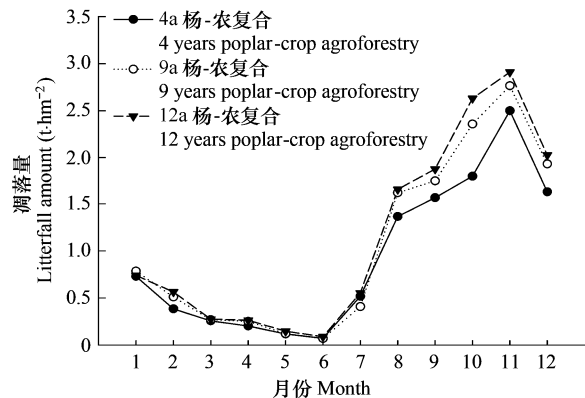


图 1 不同林龄杨-农复合系统凋落物总量的月变化

Fig. 1 Monthly changes of total litterfall production in different poplar-crop agroforestry systems

表 3 不同林龄杨-农复合系统各组分凋落量月份峰值

Table 3 The occurrence of peak litterfall production in different components of populus-crop agroforestry ecosystem

类型 Type	月份 Month	4 年杨-农间作 4 years Populus- Crop Agroforestry	9 年杨-农间作 9 years Populus- Crop Agroforestry	12 年杨-农间作 12 years Populus- Crop Agroforestry
年平均凋落量 Annual average litterfall amount	8	1.37	1.62	1.66
	11	2.50	2.76	2.91
枯叶凋落量 Leaf litter amount	11	2.30	2.60	2.70
枯枝凋落量 Branch litter amount	1	0.53	0.57	0.51
	12	0.27	0.36	0.45
花序凋落量 Inflorescence litter amount	3	0.12	0.13	0.12
	7	0.06	0.02	0.02

3.3 不同林龄杨-农复合系统凋落物组分的月变化

3.3.1 落叶量的月变化

落叶一般在凋落物中占大多数。从图 2 和表 3 可知,在一年中,4a、9a 和 12a 3 个不同林龄的杨-农复合系统中落叶量的峰值出现在 8 月份和 11 月份,8 月份落叶量是由 6 月份和 7 月份落叶量的一个激增,是一个由峰谷向峰值转变的短暂峰值,这和一年中的季节、气候因素有关,8 月是夏季向秋季转变的一个月份,受到气温和风的影响较大。3 个不同林龄杨-农复合类型叶凋落物总量全年的主峰值均出现在 11 月份,由于这 3 种类型树种、立地条件和造林方式上都基本相同,其不同主要是在林分的年龄和 3 种类型的不同造林密度,因此,3 个不同林龄的杨-农复合系统中落叶量的月变化趋势是基本一致的。由图 1 和图 2 可知,叶凋落量的月变化趋势和凋落物总量的月变化趋势是大体一致的,因为落叶在凋落物总量中占绝对优势。

3.3.2 落枝量的月变化

落枝的月变化与落叶的月变化不尽相同(图 2),4a、9a 和 12a 3 个不同林龄的杨-农复合系统中的落枝量分别在 1 月份和 12 月份出现了两个峰值,最高峰值出现在 1 月份(表 3)。枯枝的凋落主要集中在 11、12、1 月和 2 月份,它是随着落叶量的变化而变化的,与季节变化有很大关系。

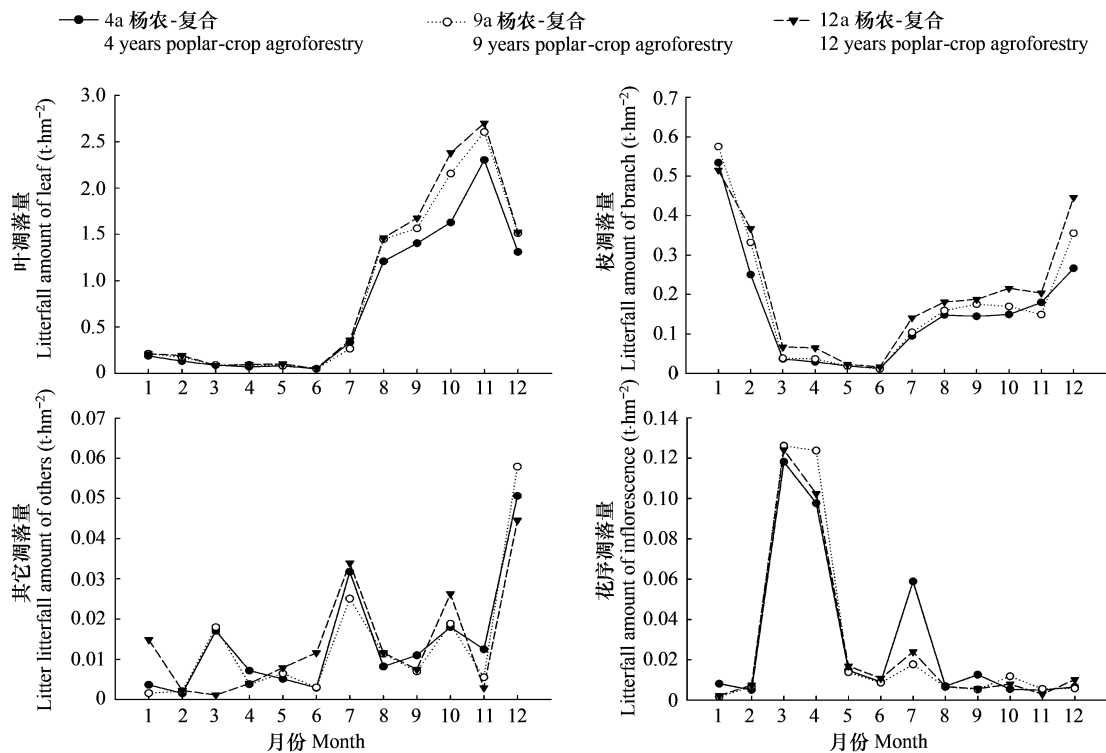


图2 不同林龄林农复合类型各组分凋落量的月变化

Fig.2 Monthly changes of litterfall production by tissue types in different agroforestry systems

3.3.3 花序凋落量的月变化

花序的凋落和落叶量、落枝量的变化都不相同,最主要受季节和树种的影响。4a、9a 和 12a 3 个不同林龄的杨-农复合系统中的花序凋落量的峰值出现在 3 月份和 7 月份,最大值出现在 3 月份(图 2、表 3)。但是 4 年农林复合类型除了在 3 月出现峰值外,在 7 月也出现了一个峰值,与其它两种类型的花序凋落略有不同,可能是由于杨-农复合系统种林分年龄较小,受到这一段时期病虫害的影响使花序的凋落量增加。

3.4 不同林龄林分凋落物的季节变化

4a、9a 和 12a 3 个不同林龄的杨-农复合系统的凋落物总量的季节变化均为秋季 > 冬季 > 夏季 > 春季。3 种类型的凋落物总量变化也都是秋、冬高而夏、春季低(图 1)。夏季凋落物量高于春季是受到杨树 8 月凋落物激增的影响。8 月杨树受到气温和风的影响凋落物就开始大量增加。4a、9a 和 12a 3 个不同林龄的杨-农复合系统各自在秋季的凋落物量分别占 3 个林龄全年凋落物总量是 52.55%、53.43% 和 53.93%;在冬季的比例分别是 24.65%、25.15% 和 24.26%;在夏季的比例分别是 17.59%、16.38% 和 16.78%;在春季的比例是 5.23%、5.05% 和 5.03%。从 3 个不同林龄的杨-农复合系统在各个季节凋落物量占各自全年凋落物总量的百分比上也可以进一步说明其季节变化。

4 讨论

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^[21],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。通过 2a 的定位研究,4a 杨-农复合、9a 杨-农复合和 12a 杨-农复合年平均凋落物总量分别为 11.43、12.76 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 13.90 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,3 个不同林龄杨-农复合系统年凋落物量随着林龄的增大而增大。樊巍等^[16]在河南省博爱县研究的 18 年生杨-农复合农田林网的年凋落量为 0.55 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$;唐罗忠等^[22]江苏省里下河地区 10 年生杨树人工林凋落物年归还量为 5.80 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$;这些研究结果的差异和相似性说明,林木凋落物量受多种因素的制约。林波等^[23]提出纬度、海拔等其它地形因子都是通过对光、温、水等生态因子的再分配来影响林分的

凋落量。

对森林凋落量与气温、降水量及生长季节长度等气候因子间的关系研究表明,影响森林凋落量的主导气候因子是年平均温度。土壤因子是影响森林凋落量的又一类环境因子,土壤土质能通过土壤的透气性、水分状况、养分状况及微生物活动等间接地影响森林凋落量。大量研究表明,土壤透气性、养分状况良好,森林凋落量较高。研究区土壤特征值见表 4,4a、9a 和 12a 杨-农复合的土壤有机碳从 $3.9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增长到 $6.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,增长了 $2.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。而 3 个林龄的杨-农复合系统年平均凋落物总量从 $11.43\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增长到 $13.90\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,增长了 21.58%。由此可见,土壤有机碳与林分凋落物量的关系成正比,因此,在相同或者相似的气候和立地条件下,随着林分密度和林分年龄的增加,凋落物量逐渐增加。表明林分间自然整枝和竞争的强烈程度与林分密度成正相关,林木凋落量取决于本身的生物学特性和受外界环境的影响。

表 4 各样地土壤特征值

Table 4 The soil properties under different poplar-crop systems

林型 Site type	有机碳 Organic carbon ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮 Total N ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全磷 Total P ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全钾 Total K ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
4a 杨-农复合 4 years Poplar-Crop Agroforestry	3.9	0.09	0.50	15.30
9a 杨-农复合 9 years Poplar-Crop Agroforestry	4.3	0.13	0.47	18.80
12a 杨-农复合 12 years Poplar-Crop Agroforestry	6.4	0.17	0.37	18.80

5 结论

4a、9a 和 13a 杨-农复合系统年平均凋落物总量分别为 11.43 、 $12.76\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $13.90\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。3 个不同林龄的杨-农复合系统凋落物总量月变化模式较为相似,均在 8 月和 11 月份出现峰值,而以 11 月凋落物数量最大。其凋落物总量的季节变化均为秋季 > 冬季 > 夏季 > 春季,3 个不同林龄的杨-农复合系统在秋季的凋落物量分别占各自全年凋落物总量的比例是 52.55%、53.43% 和 53.93%,在冬季分别所占比例是 24.65%、25.15% 和 24.26%,秋、冬两季的凋落物量在全年凋落物总量中起到了决定性作用。

References:

- [1] Maguire D A. Branch mortality and potential litter fall from Douglas-fir in stands of varying density. *Forest Ecology and Management*, 1963, 70: 41—53.
- [2] Martin W. Microbial populations of leaf litter in relation to environmental conditions and decomposition. *Ecology*, 1994, 44: 370—377.
- [3] Liu C J, Ilvesniemi H, Berg B, *et al.* Above ground litterfall in Eurasian forests. *Journal of Forestry Research*, 2003, 14(1): 27—34.
- [4] Witkamp, M. Decomposition of leaf litter in relation to environment, microflora, and microbial respiration. *Ecology*, 1966, 47: 194—201.
- [5] Witkamp, M. Cycles of temperature and carbon dioxide evolution from litter and soil. *Ecology*, 1969, 50: 922—924.
- [6] Ren H, Peng S L, Liu H X, *et al.* Litterfall and its ecological effects at Xiaoliang artificial mixed plantation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 5(9): 458—462.
- [7] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 1992, 44B: 81—99.
- [8] Zheng Z, Liu L H, He A J, *et al.* litterfall and leaf consumption by animals in humid seasonal rainforest in Xishuangbanna, China. *Acta Botanica Sinica*, 1990, 32(7): 551—557.
- [9] Deng C Z, Hou J P, Li S C, *et al.* Research on litterfall distributed in seven forests at varied altitudes, on Ailao Mountain, Yunnan. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1993, 17(4): 364—370.
- [10] 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.
- [11] Li X Y, Sun J K, Chang Z H, *et al.* A study on litter and forest floor in Tianshan Mountains. *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(4): 406—416.
- [12] Williams-linera G-Tolome J. Litterfall1. temperate and tropical dominant trees. and climate in a Mexican lower montane forest. *Biotropica*, 1996, 28(4b): 649—656.
- [13] Wieder R K, Wright S J. Tropical forest litter dynamics and dry season irrigation on Barro Colorado Island. Panama. *Ecology*, 1995, 76(6): 1971

— 1979.

- [14] Oelbermann M, Voroney R P, Gordon A M. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004, 104: 359—377.
- [15] Thevathasan N V, Gordon A M. Poplar leaf biomass distribution and nitrogen dynamics in a poplar-barley intercropped system in southern Ontario, Canada. *Agrofor. Syst.*, 1997, 37: 79—90.
- [16] Fan W, Wang G Q, Zhao T S. Research of material cycle of agroforestry ecosystem II. Litterfall of farmland shelterbelt network ecosystem. *Rural Ecological Environment*, 1992, 2: 37—39.
- [17] Kong W J, Zheng Z. Litterfall of four man-made forests in Maoxian, Sichuan. *Journal of Central South Forestry University*, 2004, 24(4): 27—31.
- [18] Yang Y S. Research on sustainable management of Chinese Fir plantation. Beijing: Chinese Forestry Publishing Company, 1998, 56—59.
- [19] Yang Y S, Xie J S, Chen Y X, *et al.* Amount, composition and seasonal dynamics of litterfall in mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongiodendron odorum*. *Scientia Sinica*, 2001, 37(sp1): 30—34.
- [20] Lin R Y, He Z M, Chen G S, *et al.* Seasonal dynamics of litterfall in *Ormosia xylocarpa* plantation. *Journal of Fujian College Forestry*, 2002, 22(1): 65—69.
- [21] Peng S L, Liu Q. The dynamics of forest litter and its responses to global warming. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1534—1544.
- [22] Tang L Z, Haibara K K, Huang B L, *et al.* Storage and dynamics of carbon in a poplar plantation in Lixiahe Region, Jiangsu Province. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2004, 28(2): 1—6.
- [23] Lin B, Liu Q, Liu Y, *et al.* Advances in the studies of forest litter. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(1): 60—64.

参考文献:

- [6] 任海, 彭少麟, 刘鸿先, 等. 小良热带人工林的凋落物及其生态效益研究. *应用生态学报*, 1998, 5(9): 458—462.
- [8] 郑征, 刘伦辉, 和爱军, 等. 西双版纳湿性季节雨林凋落物和叶虫食量研究. *植物学报*, 1990, 32(7): 551—557.
- [9] 邓纯章, 侯建萍, 李寿昌, 等. 哀牢山北段主要森林类型凋落物的研究. *植物生态学与地植物学报*, 1993, 17(4): 364—370.
- [10] 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.
- [11] 李叙勇, 孙继坤, 常直海, 等. 天山森林凋落物和枯枝落叶层的研究. *土壤学报*, 1997, 34(4): 406—416.
- [16] 樊巍, 王广钦, 赵体顺. 林农复合生态系统物质循环的研究 II. 农田林网生态系统凋落物的研究. *农村生态环境*, 1992, 2: 37—39.
- [17] 孔维静, 郑征. 四川省茂县四种人工林凋落物研究. *中南林学院学报*, 2004, 24(4): 27—31.
- [18] 杨玉盛. 杉木林可持续经营的研究. 北京: 中国林业出版社, 1998. 56—59.
- [19] 杨玉盛, 谢锦升, 陈银秀, 等. 杉木观光林混交林凋落物数量、组成及动态. *林业科学*, 2001, 37(sp1): 30—34.
- [20] 林瑞余, 何宗明, 陈光水, 等. 木荚红豆人工林凋落物季节动态. *福建林学院学报*, 2002, 22(1): 65—69.
- [21] 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.
- [22] 唐罗忠, 生原喜久雄, 黄宝龙, 等. 江苏省里下河地区杨树人工林的碳储量及其动态. *南京林业大学学报*, 2004, 28(2): 1—6.
- [23] 林波, 刘庆, 刘彦, 等. 森林凋落物研究进展. *生态学杂志*, 2004, 23(1): 60—64.