

# 苏南丘陵森林枯落物含水量及其影响因素分析

张增信<sup>1</sup>, 闵俊杰<sup>1</sup>, 闫少锋<sup>1</sup>, 姜志林<sup>1</sup>, 张军<sup>2</sup>, 张菲<sup>1</sup>

(1. 南京林业大学 江苏省林业生态工程重点实验室, 江苏 南京 210037; 2. 南京市气象局, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 森林枯落物是保障森林充分发挥涵养水源功能的一个极其重要的水文层次, 具有明显的蓄水、保水作用。通过分析苏南丘陵地区的主要森林类型枯落物含水率、蓄水量及其与土壤含水率和气象因子之间的关系, 结果发现, 苏南丘陵地区枯落物含水率由大到小依次为: 常绿阔叶林、落叶阔叶林、火炬松林、毛竹林; 蓄水量由大到小则为: 落叶阔叶林、常绿阔叶林、火炬松林、毛竹林。降水和蒸发等气象要素对枯落物含水率有重要影响, 一次连续降水会显著增加枯落物含水率, 但存在 1 ~ 5 d 的滞后; 蒸发量与枯落物含水率呈显著负相关, 平均蒸发量与落叶阔叶林、常绿阔叶林、火炬松林和毛竹林枯落物含水率有明显负相关。落叶林(落叶阔叶林、毛竹林)枯落物蓄水量受土壤含水率的影响要比常绿林(火炬松林、常绿阔叶林)大, 而同一种林分枯落物蓄水量与该林分表层(10 cm 土层)含水率的相关系数高于次表层(20 cm 土层)与枯落物蓄水量的关系。

**关键词:** 森林枯落物; 蓄水量; 含水率; 气象因子; 土壤含水量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0006-05

中图分类号: S782

## Forest Litter Containing Moisture and Water Storage and Associated Influencing Factors in Rolling Hill Areas of Southern Jiangsu Province

ZHANG Zeng-xin<sup>1</sup>, MIN Jun-jie<sup>1</sup>, YAN Shao-feng<sup>1</sup>, JIANG Zhi-lin<sup>1</sup>, ZHANG Jun<sup>2</sup>, ZHANG Fei<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering, Nanjing Forestry

University, Nanjing, Jiangsu 210037, China; 2. Nanjing Meteorological Bureau, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

**Abstract:** Forest litter, which has a high water storage and retention capacity, is an extremely important hydrological component for sustaining water conservation function of the forests. The variations of forest litter containing moisture(FLCM) and forest litter water storage(FLWS) were analyzed in Southern Jiangsu Province, associating with influencing factors such as soil water contents and meteorological parameters. The results show that evergreen broad-leaved, deciduous broad-leaved, pine(*Pinus taeda* L.), and bamboo forests had FLCM values from high to low, respectively, and similarly, deciduous broad-leaved, evergreen broad-leaved, pine, and bamboo forests had high to low FLWS values. Precipitation had an obvious impact on FLWS, as well as evaporation. The increase of FLCM resulted from precipitation normally had a time lag of 1 to 5 days. Evaporation correlated negatively with FLCM, with correlation coefficients of  $-0.39$ ,  $-0.38$ ,  $-0.13$  and  $-0.32$  for deciduous broad-leaved, evergreen broad-leaved, pine, and bamboo forests, respectively. FLWSS of deciduous forests(deciduous broad-leaved and bamboo) are affected by soil moisture contents more significantly than those of evergreen forests(pine and evergreen broad-leaved). FLWSS correlated with soil water contents of 10 cm more closely than those of 20 cm.

**Keywords:** forest litter; water storage; containing moisture; climatic factors; soil moisture

森林是陆地生态系统的主体, 森林与水的关系是水文研究的中心议题之一, 在自然调节江河流量、增加土壤蓄水和减少地表径流、防止土壤侵蚀等方面发

挥着重要的生态水文功能<sup>[1-2]</sup>。森林枯落物处于林分植物层与土壤层之间, 成分由覆盖在林地土壤表面上的林地植物落下的枝叶、枝条、芽鳞、花、果实、树皮等

收稿日期: 2010-05-27

修回日期: 2010-07-15

资助项目: 国家自然科学基金“长江流域极端干湿气候事件时空变化及其对水资源影响”(40801015); 北京城市气象研究基金(IUM200802); 国家林业局公益性项目(200804006)

作者简介: 张增信(1977—), 男(汉族), 山东省青岛市人, 副教授, 博士, 主要从事气候变化对水文和生态影响研究。E-mail: zhangzengxin77@yahoo.com.cn.

凋落物及动植物等有机体分解而成<sup>[3]</sup>。森林枯枝落叶层是森林调节水分分配的第 2 个作用层,起着重要的中转站作用<sup>[4]</sup>。枯落物层疏松多孔是热的不良导体,使土壤增热较慢,同时土壤蒸发散失的水气受到枯落物层的阻滞,向大气逸散较慢,从而导致林地蒸发少。

枯落物层具有极显著的保水能力,对促进土壤水分的有效利用和维持水分的动态平衡十分有益。枯落物层是保障森林充分发挥涵养水源功能的一个极其重要的水文层次,具有明显的蓄水、保水作用<sup>[5]</sup>。

目前,关于枯落物蓄水的研究有很多,其中大多数文章都是关于枯落物的水文效应、蓄水功能、不同林分的蓄水能力的大小、以及枯落物的分解率的不同而引起的蓄水能力的差别的研究,而从气象因子的角度研究其对枯落物蓄水率的影响的研究却很少<sup>[6-8]</sup>。因而,需要加强这方面的研究。

本文通过对苏南 4 种不同林分(毛竹林、松林、落叶阔叶林、常绿阔叶林)的枯落物含水率、蓄水量与气象因子(主要是空气温度、空气湿度、降水等)以及土壤含水率之间的关系分析,通过对不同林分的枯落物含水率、蓄水量的对比分析,得到枯落物的蓄水量与含水率变化特征,并得出枯落物含水率与各个气象因子之间关系,从而可以为枯落物涵养水源的能力,枯落物蓄水量与气象因子之间关系的研究提供理论支持及数据积累。

## 1 试验样地及研究方法

### 1.1 试验样地概况

试验地位于江苏省南京市,属北亚热带气候带,地形上属苏南丘陵。该地区天然林破坏比较严重,为此我们选取了在该区有代表性的树种进行研究,代表性树种分别选择位于南京林业大学树木园内的落叶阔叶林、常绿阔叶林以及南京市紫金山北坡的火炬松(*Pinus taeda* L.)林和毛竹林[*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehai]。落叶阔叶林位于树木园北坡中部,是以栓皮栎(*Quercus variabilis* Bl.)为主的落叶阔叶林,林下有小乔木女贞(*Ligustrum lucidum*)、老鸦瓣[*Tulipa edulis* (Miq.) Baker.]、莢莲(*Viburnum*)、青木香(*Radix Aristolochiae*)等;常绿阔叶林以青栲(*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)、青冈栎[*C. glauca* (Thunb) Oerst.]、石栎(*Lithocarpus glaber* Rehd.)等为主;火炬松林位于紫金山北坡,是纯火炬松林,林下有刺莓(*Rubus taiwanianus* Matsum.)、狗尾草[*Setaria viridis* (Linn.) Beauv.]、猪殃子[*Galium aparine* Linn. var. *echinospermon* (Wallr.) Cufod.]等;毛竹林也为纯毛竹林,林下有少量簸箕(*Endarachne binghamiae* J. Ag.)、粉草(*Radix Glycyrrhizae*)等。4 种林分土壤类型都为砂岩坡积物上发育的黄棕壤,质地为重壤,土壤厚度均大于 50 cm,具体林分特征见表 1。

表 1 苏南丘陵 4 种主要森林类型林分调查

林分类型	坡向和坡位	平均树高/m	平均胸径/cm	平均林龄/a	郁闭度	枯落物现存量/t	枯落物厚度/cm
落叶阔叶林	北坡中部	19.2	20.5	50	0.8	26.88	5.34
长绿阔叶林		12.7	21.3	20~25	0.6	16.65	3.14
火炬松林	北坡下部	15.5	20.6	20~25	0.5	16.80	2.92
毛竹林		12.1	12.3	1~11	0.8	15.90	2.73

### 1.2 枯落物的含水率的测定方法

(1) 利用细木桩、钢尺及直尺在山坡上、中、下 3 个方位林地内按随机加局部控制的原则分别布设 8 个小样方,样方的面积为 50 cm×50 cm。通过 8 个小样方来收集枯落物,现场称鲜重并记录。将 8 个小样方内枯落物鲜重相加再乘以 5 000,从而得到每 1 hm<sup>2</sup> 枯落物的现存蓄积量。在有代表性的林地内,随机选 10 个点,在每个点上插入细木桩并在细木桩与枯落物表层接触点做记号,将细木桩周围枯落物取出后,测量每个记号与地面的垂直距离,通过每个点 2 次测量值计算出每点枯落物的真实厚度,求出平均数,即为枯落物的厚度。

(2) 分别从 4 个林地随机取样(应将枯落物上下

层拌匀后取样),取样后利用密封塑料袋将样品密封保存带回实验室,并将取回的枯落物搅拌均匀后剪碎分别盛在铝盒内,每个林分做 4 个重复,用天平称取湿重后放入铝盒内然后用烘箱以 85 ℃ 高温连续烘 36 h,烘至恒重后取出,在干燥皿中干燥冷却至室温,利用天平称取其干重量。

(3) 计算枯落物含水率和枯落物蓄水量:

枯落物含水率计算公式为:

$$\text{含水率} = (\text{湿重} - \text{干重}) / \text{干重} \times 100\%$$

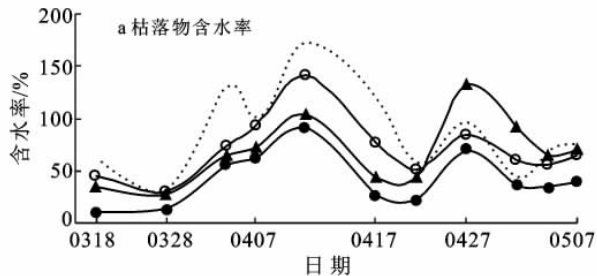
$$\text{枯落物蓄水量} = \text{枯落物自然含水率} \times \text{枯落物蓄积量}$$

此外,利用阿斯曼通风干湿表对林内温度和相对湿度进行观测,观测高度为枯落物上方 0.5 m 处,并

测定 10 cm 和 20 cm 处的土壤含水率以及降水量等。降雨量的测定是通过翻斗式雨量器观测,蒸发量是通过 20 cm 蒸发皿来观测,观测装置都位于样地周围,测定时间都是从 3 月 17 日至 5 月 9 日。

## 2 主要森林类型枯落物的蓄积量、含水率和蓄水量变化

森林枯落物层是林地内植物的凋落物及动植物等有机体积累并分解而成,森林中枯落物总是处于不断分解、周转(由上而下)之中。从表 1 可以得出森林林分类型不同,各林分林龄不同,郁闭度有差异,从而使得各林分枯落物的厚度与蓄积量产生差异。(1) 枯落物的厚度:落叶阔叶林>常绿阔叶林>火炬松林>毛竹林。(2) 枯落物蓄积量:落叶阔叶林>火炬松林>常绿阔叶林>毛竹林。



枯落物的含水率与蓄水量是枯落物水文作用的一个重要指标,而这些又取决于其在林地上的积累量(厚度与蓄积量)和它本身的持水能力(图 1)。由图 1 可以看出,各类型森林枯落物含水率、蓄水量不同时间段波动较大,二者的变化都随着外界因素的影响而发生变化,但各类型森林枯落物的含水率及蓄水量变化基本一致。枯落物平均含水率由大到小排列依次为常绿阔叶林(87.49%)、落叶阔叶林(70.36%)、火炬松林(68.08%)、毛竹林(42.17%);枯落物平均蓄水量由大到小则分别为落叶阔叶林(18.82 g/g)、常绿阔叶林(14.57 g/g)、火炬松林(11.47 g/g)、毛竹林(6.71 g/g)。可以看出,二者之间存在差异,枯落物含水率最高的是常绿阔叶林,而蓄水量最高的则是落叶阔叶林,这主要与落叶阔叶林的落叶蓄积量明显偏多有关(表 1)。

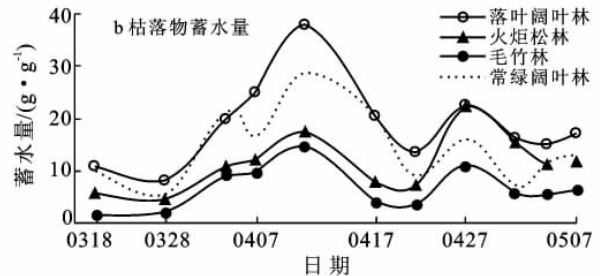


图 1 主要森林类型枯落物含水率与蓄水量变化

## 3 主要森林类型枯落物含水率、蓄水量变化的影响因子分析

枯落物含水率、蓄水量与森林的树种构成、林分发育、林分的水平及枯落物的分解状况等多种自身因素有关,也与降水、温度、相对湿度、蒸发、风速等气象因子,以及土壤含水率等因素有关。

### 3.1 降水与枯落物含水率的关系

在一般情况下,枯枝落叶层含水率受气象因子制约,随季节而变化。枯枝落叶层的最大持水量通常在连续降雨后才会出现。图 2a 所示的是南京市林地降雨与枯落物含水率的变化关系。从图 2a 中可以看出几次大的降雨之后,枯落物含水率都出现上升并达到极大值,特别是当有连续性降水发生时,枯落物含水率达到观测时段最大值,如 4 月 4 日开始,南京地区产生大量降水,当天降水量达到 45.2 mm,之后又发生几次降水,因而 4 月 10 日,各林分枯落物含水率都达到最大,4 种不同林分枯落物含水率均达到极大值,常绿阔叶林最高达到 180%,落叶阔叶林也达到 140%,枯落物含水率最小的毛竹林也在 90% 左右。可见降雨对枯落物含水率的影响很明显,而且呈正相

关。当大规模降水结束后,受蒸发等因素影响,枯落物含水率出现下降,直到下一次较大的降水到来。如 4 月 25 日又有一场较大的降水,当日降水量达到 18.8 mm,枯落物含水率再次升高,于 4 月 26 日达到极大值。同时,也可以看出,枯落物含水率达最大值相对于降雨有一定的滞后。

### 3.2 空气温度和相对湿度对枯落物含水率的影响

在一定范围内,温度的升高使得地表植物的蒸腾作用增强,枯落物自身的蒸发也加大,导致枯落物含水率下降,但温度升高同时也可能加大表层土壤的水分蒸发,使近地面空气湿度加大,因而枯落物也可能会吸收一部分水分。

图 2b 反映了枯落物含水率与温度的变化关系。可以看出,它们之间变化趋势基本一致,这主要是南京地处东亚季风区,春夏季属于典型的雨热同期,因而温度与枯落物含水率的关系比较复杂,不是简单的线性关系。相关性分析也进一步证实,各林分含水率与温度的相关性很低,均不显著,常绿阔叶林枯落物的含水率与温度甚至呈较弱的负相关。

死亡的植物保持细胞、细胞间隙和纤维等有机结构,这些结构中的水分是随天气变化而变化的。降雨

时, 枯落物可以吸收附在其表面上的液态水或空气中大于枯落物含水量的液态水分, 直到细胞间隙被充满为止<sup>[6]</sup>。

所以在一般情况下, 当枯落物的持水量还未达到饱和时, 随着空气相对湿度增大, 抑制了枯落物水分蒸发, 其含水率也随之增大。由图 2c 可以看出, 枯落物含水率的变化趋势大体上跟空气相对湿度的变化是一致的, 枯落物含水率都伴随着相对湿度升高和降低波动。

平均相对湿度在 4 月 10 日达最高, 为 74.6 g/g, 而各林分含水率也达最大; 在 4 月 21 日平均相对湿度达最低, 为 51 g/g, 同样各林分含水率也在这个时期达最小。平均相对湿度与枯落物含水率相关性较好, 与落叶阔叶林和毛竹林枯落物的含水率在 0.05 置信水平下显著相关, 相关系数分别为 0.64 和 0.65, 与火炬松及常绿阔叶林枯落物含水率的相关性稍差, 相关系数分别为 0.57 和 0.43。

### 3.3 蒸发对枯落物含水率的影响

枯落物层疏松多孔, 水分可以充满孔隙并依靠表面张力维持在枯落物层中。利用蒸发皿蒸发数据分析发现, 枯落物的含水率与平均蒸发量的变化几乎是同步的, 随着平均蒸发量增加枯落物含水率减少, 反之亦然, 并且蒸发量最大的时候(5 月 4 日, 56 mm)对应着枯落物含水率较低, 蒸发量最小的时候(4 月 10 日, 24 mm)对应着枯落物含水率最高(图 2d)。这是因为随着蒸发量的不断增加, 细胞内、细胞间隙之间的液态水分逐渐变成气态水分流失, 从而使得枯落物含水率不断降低, 因而蒸发是导致枯落物含水量下降的主要原因。

对照图 2a 中曲线也可以看出, 平均蒸发量与枯落物含水率为负相关关系, 但经分析相关性不显著, 平均蒸发量与落叶阔叶林、火炬松林、毛竹林及常绿阔叶林枯落物含水率的相关系数分别为 -0.39, -0.13, -0.32 及 -0.38。

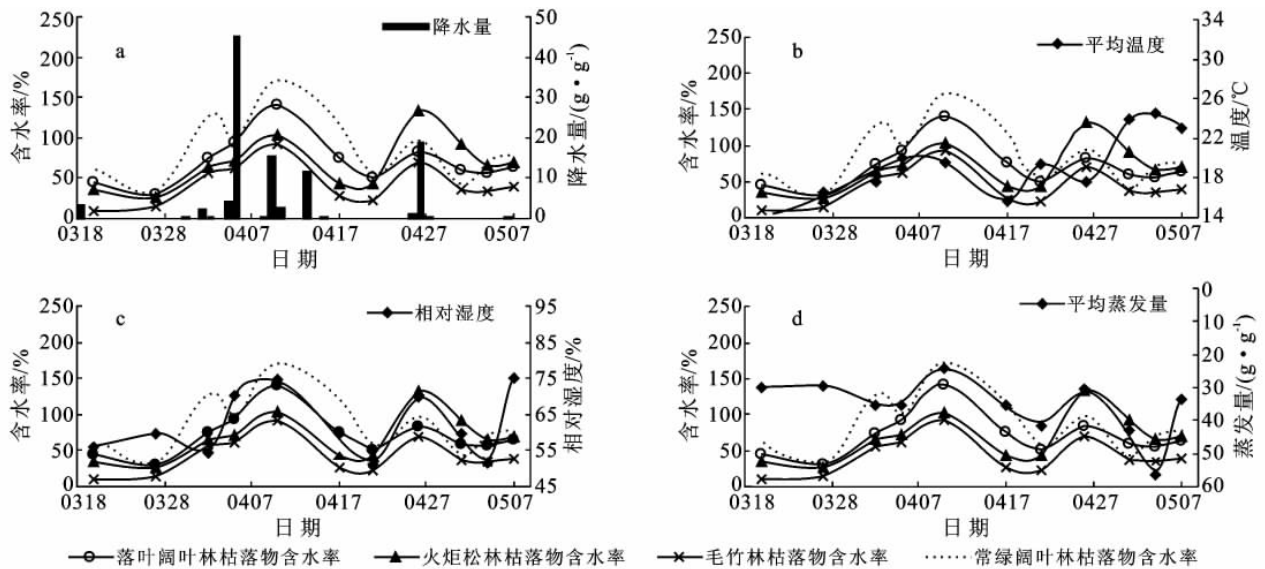


图 2 主要气象因子与森林枯落物含水率的相关曲线

### 3.4 4 种林分枯落物蓄水量与土壤含水率变化关系

土壤含水率的状况与土壤结构及地表径流等息息相关。由于试验地不同森林类型土壤含水率受土壤结构、气候、地形等因素的影响有明显差异, 但从图 3 可以看出, 4 种不同林分, 枯落物蓄水量与土壤含水率都呈正相关。这是因为枯落物层本身疏松多孔, 是热的不良导体, 因而使得土壤增热较慢, 同时土壤蒸发散失的水汽又受到枯落物层的阻滞, 向大气逸散较慢, 因而林地土壤蒸发较少。统计分析后得出, 落叶阔叶林枯落物蓄水量与 10 cm 和 20 cm 土层含水率分别在 0.01 和 0.05 的置信水平上正相关, 相关系数分别为 0.83 和 0.64; 毛竹林枯落物蓄水量与 10 cm

和 20 cm 土层含水率分别在 0.01 和 0.05 的置信水平上正相关, 相关系数分别为 0.80 和 0.61; 常绿阔叶林枯落物蓄水量与 10 cm 土层含水率在 0.05 的置信水平上呈正相关, 相关系数为 0.53, 与 20 cm 土层含水率也呈正相关, 但相关性不显著; 火炬松林枯落物蓄水量与土壤含水率呈正相关, 但相关性不显著。由此可见, 不同林分枯落物的蓄水量受土壤含水率的影响有差异, 落叶林(落叶阔叶林、毛竹林)枯落物蓄水量受土壤含水率的影响要比常绿林(火炬松林、常绿阔叶林)枯落物蓄水量受土壤含水率影响大。由此也可以看出, 枯落物层具有显著的保水能力, 对促进土壤水分的有效利用和维持水分的动态平衡十分有益<sup>[7]</sup>。

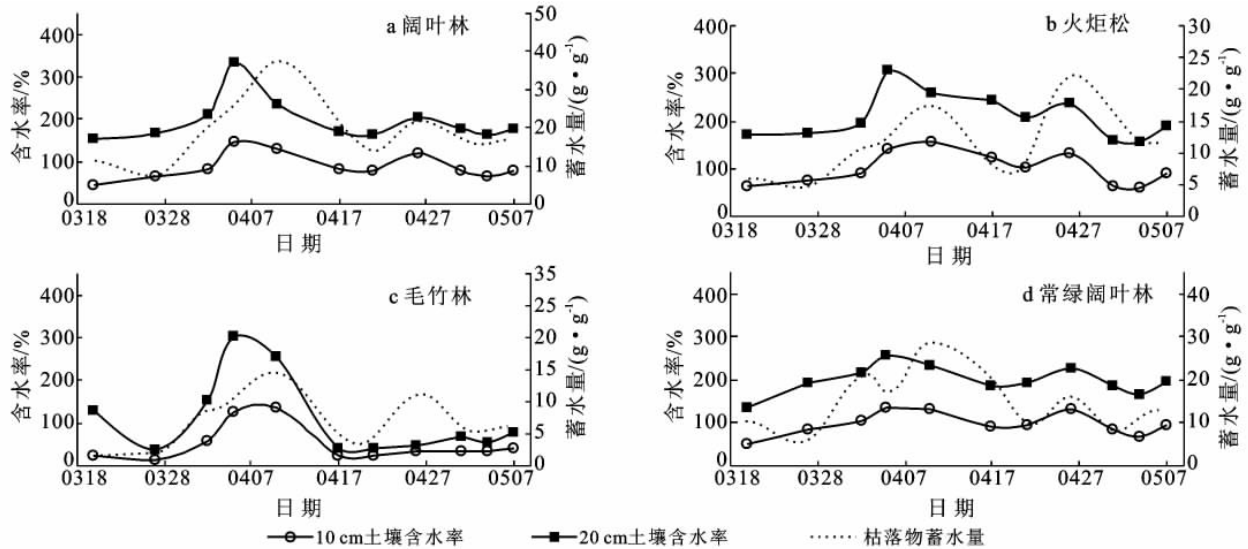


图 3 枯落物蓄水量与不同深度土壤含水率的变化曲线

## 4 结论

本文通过野外观测与室内试验相结合的方法,研究了苏南丘陵地区有代表性的森林植被类型枯落物含水率、蓄水量变化及其与气象因子的关系。

(1) 枯落物含水率、蓄水量不仅受森林类型等影响,还与外界气象因子、土壤含水率等因素有关。枯落物含水率从大到小依次为常绿阔叶林(87.49%)、落叶阔叶林(70.36%)、火炬松林(68.08%)和毛竹林(42.17%);而枯落物蓄水量最大的则是落叶阔叶林(18.82 g/g),其次是常绿阔叶林(14.57 g/g)。常绿阔叶林枯落物含水率最高,是因为常绿阔叶林枝叶凋落后分解较慢,枯落物本身含水率较高;而落叶阔叶林枯落物蓄水量最大,则是因为落叶阔叶林蓄积量最大,远大于其它 3 种林分,该研究与已有研究结果相似<sup>[9]</sup>。

(2) 枯落物含水率与降水、温度、相对湿度等气象因子及土壤含水率等关系密切。降水可明显增加枯落物含水率,但存在一定的滞后时间;枯落物含水率随蒸发量的增加而减少;不同林分枯落物的蓄水量受土壤含水率的影响有差异,落叶林(落叶阔叶林、毛竹林)枯落物蓄水量与土壤含水率的关系比常绿林(火炬松林、常绿阔叶林)的关系好,而同一种林分枯落物蓄水量与此林分不同深度土层的含水率的关系也有差异,通常枯落物蓄水量与 10 cm 土层土壤含水率的关系要比其与 20 cm 土层土壤含水率的关系好。

(3) 由于本文的研究主要是分析枯落物含水率、蓄水量与气象因子之间的关系,观测时间只选择了 3 月中旬到 5 月下旬,没有对枯落物含水率做季节变化分析,也没有考虑枯落物分解程度、郁闭度等因素的影响,而这些对枯落物含水率和蓄水量都可能产生影响,需要在今后研究中加以改进。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 杨洪学,蒙宽宏,孟祥楠,等.阿什河流域不同林分类型枯落物持水能力研究[J].防护林科技,2005(5):14-17.
- [2] 张志强,王礼先.森林植被影响径流形成机制研究进展[J].自然资源学报,2001,16(1):79.
- [3] 张维诗,金靖博,唐亚森.森林枯落物的水文功能[J].林业勘察设计,2007(3):35-36.
- [4] 刘霞,车克钧.祁连山青海云杉林枯落物层水文效应分析[J].甘肃农业大学学报,2004,39(4):434-438.
- [5] 朱丽晖,李冬,邢宝振.辽东山区天然次生林枯落物层的水文生态功能[J].辽宁林业科技,2001(1):36-37.
- [6] 罗永忠,车克钧,蒋志荣.祁连山林区森林可燃物含水率变化规律研究[J].甘肃农业大学学报,2005,40(2):239-244.
- [7] 曹成有,朱丽晖.辽宁东部山区森林枯落物层的水文作用[J].沈阳农业大学学报,1997,28(1):44-48.
- [8] 张德成,殷鸣放,陈宏伟,等.主要森林植被土壤及枯落物水分蒸发量动态研究[J].安徽农业科学,2006,34(10):2201-2212.
- [9] 杨学军,姜志林.苏南丘陵区主要森林类型地被层水源涵养功能研究[J].水土保持通报,2001,21(3):28-31.