

# 珠江流域中游主要森林类型凋落物持水特性

何琴飞<sup>1,2,3</sup>, 郑威<sup>1,2,3</sup>, 彭玉华<sup>1,2,3</sup>, 侯远瑞<sup>1,2,3</sup>, 何峰<sup>1,2,3</sup>, 申文辉<sup>1,2,3</sup>

(1. 广西林业科学研究院, 南宁 530002; 2. 广西优良用材林资源培育重点实验室, 南宁 530002; 3. 国家林业局 中南速生材繁育实验室, 南宁 530002)

**摘要:**采用野外实地调查与室内分析相结合的方法,对珠江流域中游苍梧县的5种森林类型的凋落物累积量和持水量、持水率、吸水速率等持水特性进行了研究。结果表明:不同森林类型凋落物总储量为湿地松(*Pinus elliottii*) + 荷木(*Schima superba*)混交林(40.18 t/hm<sup>2</sup>) > 桉树(*Eucalyptus*)林(11.77 t/hm<sup>2</sup>) > 马尾松(*Pinus massoniana*)林(10.97 t/hm<sup>2</sup>) > 红锥(*Castanopsis hystrix*)林(8.75 t/hm<sup>2</sup>) > 大叶栎(*Quercus griffithii*)林(7.71 t/hm<sup>2</sup>),且半分解层累积量所占比例均大于未分解层,马尾松林则相反;5种森林类型不同分解程度的凋落物持水量和持水率与浸泡时间均呈对数关系,吸水速率与浸泡时间呈幂函数关系;凋落物最大持水量为13.12~77.09 t/hm<sup>2</sup>,湿地松+荷木混交林最大,红锥林最小;最大持水率为150.8~187.9%,大叶栎林最大,红锥林最小;有效拦蓄量为8.26~49.31 t/hm<sup>2</sup>,大小顺序为湿地松+荷木混交林 > 大叶栎林 > 红锥林 > 桉树林 > 马尾松林。综合考虑,研究区5种森林类型中湿地松+荷木针阔混交林持水能力最强,且优势明显,因此,水源涵养林宜优先选择针阔混交林模式。

**关键词:**凋落物;持水量;持水率;吸水速率;珠江

中图分类号:S715.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)01-0128-07

## Water-holding Characteristics of Litter Under Main Forest Types in the Middle Reaches of Pearl River Basin

HE Qinfei<sup>1,2,3</sup>, ZHENG Wei<sup>1,2,3</sup>, PENG Yuhua<sup>1,2,3</sup>, HOU Yuanrui<sup>1,2,3</sup>, HE Feng<sup>1,2,3</sup>, SHEN Wenhui<sup>1,2,3</sup>

(1. Guangxi Forestry Research Institute, Nanning 530002, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Superior Timber Trees Cultivation, Nanning 530002, China; 3. Central South Key Laboratory, Fast-growing Tree Cultivation of Forestry Ministry, Nanning 530002, China)

**Abstract:** Litter layer plays a significant hydro-ecological role in forest ecosystem. By the field investigation and laboratory analysis, a study was conducted on the accumulation amount, water-holding capacity, water-holding rate and water-absorption rate of the litter under five main forests (*Pinus massoniana* forest, *Eucalyptus* forest, *Castanopsis hystrix* forest, *Quercus griffithii* forest, *Pinus elliottii* + *Schima superba* forest) in the middle reaches of Pearl River. The litter accumulation under the forest decreased in the order of *P. elliottii* + *S. superba* forest (40.18 t/hm<sup>2</sup>) > *Eucalyptus* forest (11.77 t/hm<sup>2</sup>) > *P. massoniana* forest (10.97 t/hm<sup>2</sup>) > *C. hystrix* forest (8.75 t/hm<sup>2</sup>) > *Q. griffithii* forest (7.71 t/hm<sup>2</sup>), and the percentage of semi-decomposed litter storage was higher than that of un-decomposed litter, whereas for *P. massoniana* forest, it was in adverse. The water-holding capacity and water-holding rate of litter at different decomposition degrees changed logarithmically, while the water-absorption rate assumed a power function of soaking time. The maximum water-holding capacity of the litter varied from 13.12 t/hm<sup>2</sup> to 77.09 t/hm<sup>2</sup>, being the highest for *P. elliottii* + *Schima superba* forest and the lowest for *C. hystrix* forest. The maximum water-holding rate of the litter was 150.8~187.9%, being the highest for *Q. griffithii* forest and the lowest for *C. hystrix* forest. The effective retaining capacity of the litter ranged from 8.26 t/hm<sup>2</sup> to 49.31 t/hm<sup>2</sup>, and

收稿日期:2016-01-18

修回日期:2016-01-27

资助项目:“十二五”广西林业科技项目“珠江流域中上游水源涵养林结构及功能研究”(桂林科字[2012]第7号);国家林业公益性行业科研专项“南方几种森林类型公益林经营技术研究”(201204512)

第一作者:何琴飞(1982—),女,湖南新化人,工程师,硕士,主要从事森林生态研究。E-mail:dragonfly\_hqf@126.com

通信作者:申文辉(1972—),男,湖南安乡人,教授级高工,在读博士,主要从事森林生态、森林培育研究。E-mail:shenwenhui2003@163.com

decreased in the order of *P. elliotii* + *S. superba* forest > *Q. griffithii* forest > *C. hystrix* forest > *Eucalyptus* forest > *P. massoniana* forest. Water conservation capacity of *P. elliotii* + *S. superba* forest was the strongest among these forests. So, this study can provide the important basic theory that can select conifer-broadleaf forest needle modes and broadleaved deciduous in improving hydro-ecological effects of water conservation forests.

**Keywords:** litter; water-holding capacity; water-holding rate; water-absorption rate; Pearl River

森林凋落物是森林生态系统的重要组成部分,其结构疏松、透水性和持水能力良好,一方面能够阻滞和分散降水、减缓林内降水对地面的冲击;另一方面能吸收降落到地表的水分、减少地表径流、增加土壤水分下渗,防止土壤侵蚀,在森林水源涵养、水量平衡等方面起着非常重要的作用<sup>[1-2]</sup>。在全球水资源紧缺和水环境日益恶化的背景下,森林水源涵养功能越来越受到人们的重视,而凋落物的持水性能是反映森林水源涵养作用的重要指标。已有许多学者对森林凋落物作了大量研究,主要集中在凋落物储量、分解速率、动态特征、持水能力、截持降水、影响地表径流和增强土壤入渗等方面<sup>[3-8]</sup>,并取得了一定的研究成果。

珠江流域面积  $4.4 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,河长 2 000 km,年径流量  $3.0 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,占全国河川径流量的 12.3%,仅次于长江,是黄河年径流量的 5.7 倍<sup>[9]</sup>,是我国非常重要的一条河流。广西地处珠江流域中上游,流域面积占珠江流域面积的 77.8%<sup>[10]</sup>,因此,广西在珠江流域的生态环境建设中起着至关重要的作用。广西苍梧县位于广西东部、珠江流域中游,其森林植被覆盖情况直接影响到珠江下游地区乃至港澳地区的生态安全。长期以来,由于过度的、不合理的开发利用,苍梧县森林资源遭受严重破坏,林分、树种单一,森林群落退化,导致生态环境持续恶化,水土流失严重,目前该区域的森林水源涵养功能研究缺乏,因此,本试验在苍梧县境内选取马尾松(*Pinus massoniana*)纯林(常绿针叶林)、桉树(*Eucalyptus*)纯林(常绿阔叶林)、红锥(*Castanopsis hystrix*)纯林(常绿阔叶林)、大叶栎(*Quercus griffithii*)萌芽纯林(落叶阔叶林)、湿地松(*Pinus elliotii*)与荷木(*Schima superba*)混交林(针

阔混交林)5种有代表性的森林类型为研究对象,研究不同森林类型的凋落物累积量、持水动态和持水能力,分析对比不同森林类型凋落物的水源涵养和水土保持功能,旨在为珠江流域水源涵养林的森林结构改善和森林生态系统恢复提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区广西苍梧县位于珠江流域中游,  $110^{\circ}51' - 111^{\circ}40'E$ ,  $22^{\circ}58' - 24^{\circ}10'N$ ,北回归线从县境中部贯穿,属亚热带季风气候区、海洋性气候与大陆性气候的过渡地带。年均气温为  $21.2^{\circ}C$ ,极端最高温  $39.9^{\circ}C$ ,最低温  $-2.4^{\circ}C$ ,年均降雨量为 1 506.9 mm,最多 1 925.9 mm,最少 1 002.9 mm,年平均相对湿度为 80%。土壤以薄层花岗岩土壤、薄层砂页岩黄红壤和中厚砂页岩红壤为主。主要森林群落类型为亚热带常绿阔叶林,有树种 66 科 300 多种,主要树种为马尾松、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、湿地松、荷木、大叶栎、稠木(*Lithocarpus glaber*)等<sup>[11]</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 2013 年 7—10 月,在苍梧县境内选择 5 种森林类型(均为近熟林或成熟林)的主要分布区域,设置  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$  的样地,每种类型设置 3 个重复。记录样地的林龄、郁闭度、海拔、坡度、坡向等生长环境因子,对样地内胸径  $\geq 1 \text{ cm}$  的乔木进行每木检尺,记录树高、胸径、冠幅等生长指标,在样地的 4 个角落及对角线的中心点设置  $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$  调查灌木、草本层的物种组成、数量等。研究区 5 种森林类型的基本特征见表 1。

表 1 主要森林类型基本特征

林型	平均胸径/cm	平均树高/m	林龄/ a	郁闭度	坡向/ (°)	坡度/ (°)	海拔/ m	主要灌木	主要草本
MWS	14.3	12.8	15	0.70	125	30	181	三叉苦、裂叶榕、假鹰爪	乌毛蕨、蔓生莠竹
AS	14.5	14.7	6	0.80	340	40	167	粗叶榕、华南毛柃、盐肤木	五节芒
HZ	9.2	11.5	12	0.85	32	20	35	红背山麻杆、粗叶榕、杨梅	乌毛蕨、金毛狗
DYL	4.8	7.3	5	0.85	191	35	141	罗伞树、光叶石楠、九节	狗脊、黑沙草
HJL	16.2	12.4	30	0.70	335	35	57	杜英、山苍子、岗柃	铁芒萁

注: MWS 为马尾松林; AS 为桉树林(6 a 达到成熟砍伐林龄); HZ 为红锥林; DYL 为大叶栎多代萌芽林(5 a 为单代萌芽林龄); HJL 为湿地松+荷木混交林。

1.2.2 凋落物累积量测定 在每个样地的上、中、下部随机布设 3 个 50 cm×50 cm 的样方,按未分解(颜色变化不明显,原有形态完整,外表无分解的痕迹)和半分解(颜色变黑,外观轮廓不完整,多数已粉碎)收集全部凋落物,分层装袋,并立即称量其鲜重,同时记录凋落物总厚度及分层厚度,然后带回实验室在 75℃下烘干至恒重,由此计算凋落物含水率,并以凋落物干质量计算各层储量和总储量。

1.2.3 凋落物持水动态分析 将烘干的凋落物全部或称取部分(凋落物干重超过 400 g)分别装入 100 目 20 cm×30 cm 的尼龙网袋中,每个处理 9 个重复,把装有凋落物的网袋完全浸入清水中,分别在浸水 0.25,0.5,1,2,4,8,12,24 h 后,将网袋从水中取出并悬挂在空中静置约 5 min,当无水滴滴下时立刻称量,计算不同浸泡时段凋落物的持水量、持水率及吸水速率,计算公式如下<sup>[12-13]</sup>:

凋落物最大持水率:

$$R_{\max} = (M_{24} - M_D) / M_D \times 100\%$$

式中: $R_{\max}$ 为凋落物最大持水率(%); $M_{24}$ 为凋落物浸水 24 h 吸水饱和后的质量(g); $M_D$ 为凋落物干质量(g)。

凋落物最大持水量:

$$W_{\max} = M \cdot R_{\max}$$

式中: $W_{\max}$ 为凋落物最大持水量(t/hm<sup>2</sup>); $M$ 为凋落物累积量(t/hm<sup>2</sup>); $R_{\max}$ 为凋落物最大持水率(%)。

凋落物吸水速率:

$$V = M_t / t$$

式中: $V$ 为凋落物某时间段的吸水速率[g/(kg·h)]; $M_t$ 为  $t$  时刻凋落物持水量(g/kg); $t$  为凋落物浸泡时间(h)。

1.2.4 凋落物持水能力测定 凋落物持水能力主要取决于凋落物累积量、最大持水率和有效拦蓄量。凋落物浸水 24 h 的持水量和持水率为最大持水量和最大持水率,但在实际降水过程中,凋落物的实际拦蓄

降水量要小于最大持水量,因此,通常采用有效拦蓄量来估算凋落物层对降雨的实际拦蓄量,有效拦蓄量的调整系数为 0.85,计算公式如下<sup>[14-15]</sup>:

凋落物自然含水率:

$$R_0 = (M_0 - M_D) / M_D \times 100\%$$

式中: $R_0$ 为凋落物自然含水率(%); $M_0$ 为凋落物自然湿质量(g); $M_D$ 为凋落物干质量(g)。

凋落物有效拦蓄量:

$$W_{sv} = (0.85R_{\max} - R_0)M$$

式中: $W_{sv}$ 为凋落物有效拦蓄量(t/hm<sup>2</sup>); $R_{\max}$ 为凋落物最大持水率(%); $R_0$ 为凋落物自然含水率(%); $M$ 为凋落物累积量(t/hm<sup>2</sup>)。

1.2.5 数据分析方法 采用 Excel 2010 绘图、SPSS 19.0 软件进行数据分析,通过单因素方差分析(One-way ANOVA)、Duncan 多重比较法比较不同森林类型凋落物厚度和累积量的差异性,差异显著性检验  $\alpha=0.05$ ,通过曲线回归分析拟合方程探讨凋落物持水量、持水率、吸水速率与浸水时间的相关关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 凋落物累积量

由表 2 可知,5 种森林类型凋落物的总厚度为 3.8~9.4 cm,大小顺序为湿地松+荷木混交林>大叶栎林>红锥林=马尾松林>桉树林;总累积量为 7.71~40.18 t/hm<sup>2</sup>,大小顺序为湿地松+荷木混交林>桉树林>马尾松林>红锥林>大叶栎林;半分解层累积量所占比例均大于未分解层,马尾松林除外。经方差分析可知,不同森林类型的凋落物的厚度、未分解层、半分解层和总累积量均存在显著差异,其中凋落物的厚度、半分解层和总累积量均是湿地松+荷木混交林显著大于其他 4 个类型,未分解层累积量是红锥林和大叶栎林显著小于其他 3 个类型。

表 2 不同森林类型凋落物厚度与累积量

林型	总厚度/ cm	总累积量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	未分解层(U)		半分解层(S)	
			累积量/(t·hm <sup>-2</sup> )	比例/%	累积量/(t·hm <sup>-2</sup> )	比例/%
MWS	4.2±0.2a	10.97±0.74a	6.18±0.46b	56.5	4.79±0.38a	43.5
AS	3.8±0.2a	11.77±1.22a	5.41±0.64b	45.7	6.37±0.78a	54.3
HZ	4.2±0.3a	8.75±0.50a	3.80±0.34a	43.4	4.95±0.40a	56.6
DYL	4.3±0.3a	7.71±1.06a	2.98±0.22a	42.1	4.73±1.04a	57.9
HJL	9.4±0.7b	40.18±3.86b	6.30±0.44b	16.2	33.88±3.65b	83.8

注:不同字母表示差异显著性( $\alpha=0.05$ )。

### 2.2 凋落物持水动态

2.2.1 凋落物持水量 由图 1 可知,5 种森林类型的凋落物持水量变化规律基本一致,即随着浸水时间的增加,凋落物的累积持水量不断增加,前 0.25 h 内

增速较快,0.25 h 后增速减慢,浸水 12 h 后持水量达到稳定值。凋落物的持水量动态变化随着分解程度的不同而不同,半分解层累积持水量均大于未分解层,只有马尾松林相反,而湿地松+荷木混交林之间

的差值最大。就整个凋落物累积持水量而言,不同森林类型间为湿地松+荷木混交林>桉树林>马尾松林>大叶栎林>红锥林。

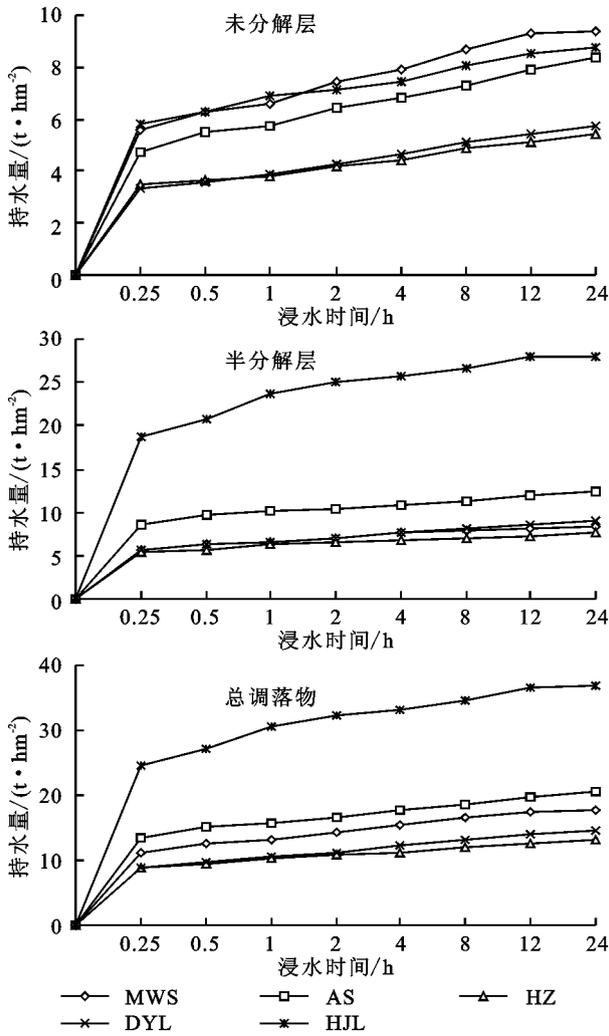


图 1 不同森林类型凋落物持水量与浸水时间的关系

5 种森林类型各层凋落物的持水量  $W$  与浸水时间  $t$  经方程拟合发现两者之间呈极显著的对数函数关系 ( $p < 0.001$ ), 方程式为:  $W = a + blnt$ , 结果见表 3, 回归方程的相关系数  $R^2 > 0.9$ , 表明各层凋落物的持水量与浸水时间存在较好的相关性。

表 3 不同森林类型凋落物持水量与浸水时间的回归方程

林型	凋落物层	关系式	$R^2$
MWS	未分解层	$W = 6.783 + 0.884lnt$	0.988**
	半分解层	$W = 6.552 + 0.607lnt$	0.974**
AS	未分解层	$W = 5.851 + 0.770lnt$	0.988**
	半分解层	$W = 9.899 + 0.761lnt$	0.981**
HZ	未分解层	$W = 3.948 + 0.443lnt$	0.972**
	半分解层	$W = 6.128 + 0.480lnt$	0.973**
DYL	未分解层	$W = 3.962 + 0.546lnt$	0.992**
	半分解层	$W = 6.604 + 0.733lnt$	0.992**
HJL	未分解层	$W = 6.732 + 0.651lnt$	0.988**
	半分解层	$W = 22.620 + 2.018lnt$	0.934**

2.2.2 凋落物持水率 由图 2 可知, 5 种森林类型的凋落物持水率在开始浸水时增加较快, 0.25 h 后随着浸水时间的增加, 累积持水率增幅逐渐减小, 最后达到某一稳定值。凋落物的分解程度不同, 其持水率动态变化不同; 同一种森林类型, 持水率半分解层大于未分解层, 大叶栎林除外, 大叶栎林凋落物浸水 2 h 后半分解层持水率小于未分解层; 不同森林类型同一分解程度的累积持水率有差异, 未分解层为大叶栎林>桉树林>马尾松林>红锥林>湿地松+荷木混交林, 半分解层为湿地松+荷木混交林>桉树林>大叶栎林>马尾松林>红锥林, 而平均持水率为大叶栎林>桉树林>湿地松+荷木混交林>马尾松林>红锥林。

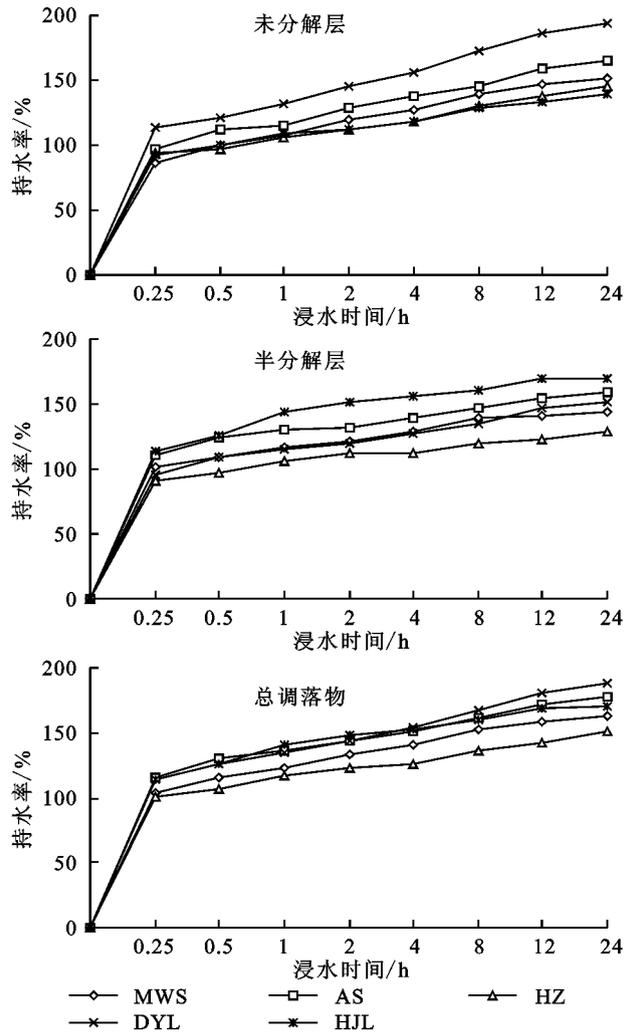
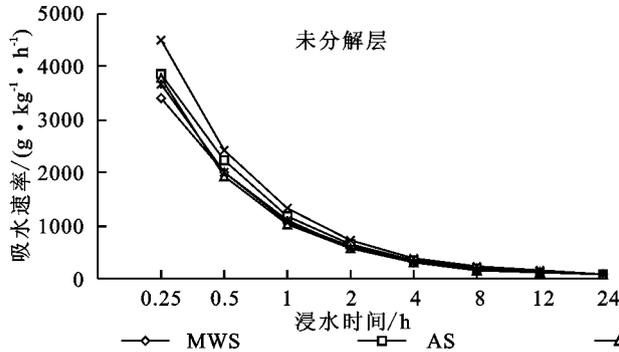


图 2 不同森林类型凋落物持水率与浸水时间的关系

5 种森林类型各层凋落物的持水率  $R$  与浸水时间  $t$  经方程拟合发现两者之间呈极显著的对数函数关系 ( $p < 0.001$ ), 方程式为:  $R = a + blnt$ , 结果见表 4, 回归方程的相关系数  $R^2 > 0.9$ , 表明各层凋落物的持水量与浸水时间的相关性较好。

表4 不同森林类型凋落物持水率与浸水时间的回归方程

林型	凋落物层	关系式	$R^2$
MWS	未分解层	$R=107.9+14.715\ln t$	0.993**
	半分解层	$R=139.3+11.712\ln t$	0.989**
AS	未分解层	$R=118.1+14.896\ln t$	0.989**
	半分解层	$R=152.9+11.801\ln t$	0.979**
HZ	未分解层	$R=106.2+11.731\ln t$	0.976**
	半分解层	$R=124.3+9.686\ln t$	0.979**
DYL	未分解层	$R=134.4+18.648\ln t$	0.987**
	半分解层	$R=136.5+13.578\ln t$	0.983**
HJL	未分解层	$R=106.8+10.122\ln t$	0.990**
	半分解层	$R=164.6+14.572\ln t$	0.931**



2.2.3 凋落物吸水速率 由图3可知,5种森林类型凋落物刚浸水时吸水速率高,0.5 h后显著下降,4 h后降幅逐渐变小,8 h后基本不变,逐渐趋于饱和。凋落物吸水速率半分解层大于未分解层,大叶栎林除外,大叶栎林凋落物浸水2 h后半分解层吸水速率开始小于未分解层,这与其持水率的规律一致;在浸水0.25 h时,未分解层吸水速率为大叶栎林>桉树林>红锥林>湿地松+荷木混交林>马尾松林,半分解层吸水速率为湿地松+荷木混交林>桉树林>马尾松林>大叶栎林>红锥林。

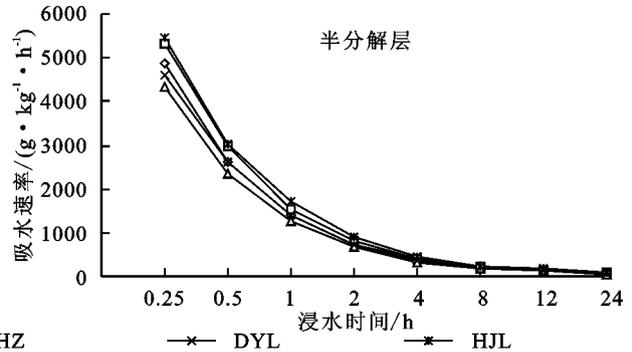


图3 不同森林类型凋落物吸水速率与浸水时间的关系

对5种森林类型各层凋落物吸水速率 $V$ 与浸水时间 $t$ 经方程拟合发现两者之间呈极显著的幂函数关系( $p<0.001$ ),方程式为: $V=kt^{-a}$ ,结果见表5,回归方程的相关系数 $R^2>0.9$ ,表明各层凋落物的吸水速率与浸水时间相关性较好。

表5 不同森林类型凋落物吸水速率与浸水时间的回归方程

林型	凋落物层	关系式	$R^2$
MWS	未分解层	$V=1063.8t^{-0.875}$	0.9997**
	半分解层	$V=1390.3t^{-0.920}$	0.9998**
AS	未分解层	$V=1167.1t^{-0.887}$	0.9998**
	半分解层	$V=1521.8t^{-0.927}$	0.9997**
HZ	未分解层	$V=1047.9t^{-0.887}$	0.9996**
	半分解层	$V=1236.4t^{-0.926}$	0.9997**
DYL	未分解层	$V=1327.7t^{-0.877}$	0.9995**
	半分解层	$V=1355.6t^{-0.887}$	0.9993**
HJL	未分解层	$V=1059.9t^{-0.915}$	0.9995**
	半分解层	$V=1631.8t^{-0.915}$	0.9995**

### 2.3 凋落物持水能力

由表6可知,不同森林类型的最大持水率在150.81~187.92%,大小顺序为大叶栎林>桉树林>湿地松+荷木混交林>马尾松林>红锥林,其中未分解层最大持水率为大叶栎林最大,湿地松+荷木混交林最小,半分解层最大持水率为湿地松+荷木混交林最大,红锥林最小。最大持水量为13.12~77.09 t/hm<sup>2</sup>,大小顺序为湿地松+荷木混交林>桉树林>马尾松林>大叶栎林>红锥林,其中未分解层最大持

水量马尾松林最大,红锥林最小,半分解层最大持水量湿地松+荷木混交林最大,红锥林最小。

不同森林类型凋落物最大拦蓄量为10.92~60.95 t/hm<sup>2</sup>,大小顺序为湿地松+荷木混交林>大叶栎林>桉树林>红锥林>马尾松林;有效拦蓄量为8.26~49.31 t/hm<sup>2</sup>,大小顺序为湿地松+荷木混交林>大叶栎林>红锥林>桉树林>马尾松林,湿地松+荷木混交林的有效拦蓄量为马尾松林的5.97倍。

在5种森林类型中,湿地松+荷木混交林凋落物的厚度、累积量、最大持水量、最大拦蓄量、有效拦蓄量均最大,凋落物的持水能力较强。大叶栎林凋落物的最大持水率、最大拦蓄率和有效拦蓄率均最大,最大拦蓄量和有效拦蓄量仅次于湿地松+荷木混交林。

## 3 讨论

不同森林类型由于其树种生物学特性和林分结构等不同,其水源涵养功能也存在一定的差异<sup>[16]</sup>。凋落物的现存量越多,持水能力越强,其水源涵养功能越好<sup>[17]</sup>。同一地区不同森林类型间的凋落物累积量差异很大,珠江流域广西苍梧县的5种森林类型凋落物累积量为7.71~40.18 t/hm<sup>2</sup>,排序为湿地松+荷木混交林>桉树林>马尾松林>红锥林>大叶栎林。凋落物蓄积量受凋落物产量、现存量、分解速度、积累年限等因子的影响,而这些因子又与林型、林分发育、林分组成、生长季节、气候状况、人为活动和林

分生产力等有关<sup>[18-19]</sup>。在实地调查中发现桉树成熟林树皮脱落现象严重,有可能导致其凋落物储量增加;而大叶栎是良好的薪炭材,经人为砍伐后成为萌发林,萌发林生长量小,凋落物层受到破坏,会导致储量减少。凋落物累积量半分解层所占比例均大于未

分解层,与常雅军等<sup>[12]</sup>的研究结果一致,但马尾松林除外,这与马尾松树种本身的特性有关,常绿针叶林凋落叶因质地较硬,木质素类难分解物质含量高<sup>[15]</sup>,其凋落物具较低的分解率,因此储量多且未分解层所占比例略高于半分解层。

表 6 不同森林类型凋落物持水能力指标

林型	凋落物层	累积量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	自然 含水率/%	最大 持水率/%	最大持水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	最大 拦蓄率/%	最大拦蓄量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	有效 拦蓄率/%	有效拦蓄量/ (t·hm <sup>-2</sup> )
MWS	未分解层	6.18	58.86	152.18	9.42	93.32	5.77	70.49	4.36
	半分解层	4.79	65.58	173.05	8.25	107.47	5.15	81.51	3.91
	总量或均值	10.97	62.22	162.62	17.67	100.40	10.92	76.00	8.26
AS	未分解层	5.40	47.94	165.73	8.36	117.79	6.37	92.93	5.02
	半分解层	6.37	105.31	190.40	12.35	85.09	5.42	56.53	3.60
	总量或均值	11.77	76.63	178.06	20.71	101.44	11.78	74.73	8.62
HZ	未分解层	3.80	13.17	146.17	5.46	133.00	5.06	111.07	4.22
	半分解层	4.95	21.56	155.45	7.66	133.89	6.63	110.57	5.47
	总量或均值	8.75	17.36	150.81	13.12	133.44	11.68	110.82	9.69
DYL	未分解层	2.98	7.33	193.68	5.72	186.35	5.55	157.30	4.68
	半分解层	4.73	20.83	182.17	8.91	161.33	7.63	134.01	6.34
	总量或均值	7.71	14.08	187.92	14.63	173.84	13.18	145.65	11.02
HJL	未分解层	6.30	6.73	138.71	8.79	131.98	8.31	111.17	7.00
	半分解层	33.88	47.97	203.33	68.30	155.36	52.64	124.86	42.31
	总量或均值	40.18	27.35	171.02	77.09	143.67	60.95	118.02	49.31

注:累积量、最大持水量、最大拦蓄量、有效拦蓄量为总量,自然含水率、最大持水率、有效拦蓄率为平均值。

不同森林类型凋落物持水量和持水率均有差异,但其随浸水时间的变化规律相似,这与已有的研究结果一致<sup>[20]</sup>。5种森林类型的凋落物持水量和持水率随着浸水时间的增加而不断增加,前0.25h内增速较快,0.25h后增速减慢,逐渐趋于稳定,达到理论最大值。就整个凋落物累积持水量而言,不同森林类型间为湿地松+荷木混交林>桉树林>马尾松林>大叶栎林>红锥林,与凋落物累积量顺序基本一致;平均持水率为大叶栎林>桉树林>湿地松+荷木混交林>马尾松林>红锥林,王勤等<sup>[16]</sup>研究表明针叶林凋落物的持水率明显低于阔叶林和针阔混交林,本文研究结果只有红锥林凋落物持水率偏小。5种森林类型凋落物在刚浸水时吸水速率高,0.5h后明显下降,4h后降幅逐渐变小,8h后基本不变,逐渐趋于饱和,其变化规律与杨玉莲等<sup>[14]</sup>研究结果类似。凋落物的吸水速率与其类型、分解程度等有关,在刚浸水0.25h时,凋落物未分解层的吸水速率为大叶栎林>桉树林>红锥林>湿地松+荷木混交林>马尾松林,而半分解层为湿地松+荷木混交林>桉树林>马尾松林>大叶栎林>红锥林。

同一森林类型凋落物的分解程度不同,其持水量、持水率和吸水速率不同,累积持水量、持水率和吸水速率均为半分解层大于未分解层,与王佑民<sup>[21]</sup>的

研究结果一致,但马尾松林凋落物累积持水量表现相反,这可能与其分解层的储量有关;大叶栎林凋落物在浸水2h后持水率和吸水速率半分解层小于未分解层,其原因有待进一步研究。不同森林类型不同分解程度凋落物的持水量和持水率与浸泡时间均呈对数关系,吸水速率与浸泡时间呈幂函数关系,这与顾宇书等<sup>[22]</sup>、彭云等<sup>[23]</sup>、罗新萍<sup>[24]</sup>的研究结果一致。

凋落物持水能力主要取决于凋落物的累积量、最大持水率、最大持水量、自然含水率和有效拦蓄量<sup>[25]</sup>。湿地松+荷木混交林凋落物累积量、最大持水量、最大拦蓄量、有效拦蓄量均有最大值,持水能力较强;马尾松林凋落物累积量排第3,其持水量也排第3,但最大拦蓄量和有效拦蓄量均最小;桉树林凋落物累积量、最大持水率和最大持水量均排第2位,但其有效拦蓄量仅大于马尾松林;红锥林凋落物由于累积量较少,最大持水率和最大持水量最小,有效拦蓄量排第3;大叶栎萌发林凋落物累积量最少,但其最大持水率和最大拦蓄率均最大,最大拦蓄量和有效拦蓄量仅次于湿地松+荷木混交林。基于凋落物持水能力的理论值,湿地松+荷木混交林、桉树林和马尾松林持水能力较好,而在实际降水过程中,山地坡面上的浸水时间一般不会太长,降落到坡面的雨水一部分被凋落物层拦蓄吸收,绝大部分很快透过凋落物

层渗入到土中<sup>[20]</sup>。用最大持水率来计算凋落物层对降雨的拦蓄能力偏高,有效拦蓄率才是反映凋落物对降水拦蓄效果的真实指标<sup>[26]</sup>。

## 4 结论

(1) 不同森林类型间的凋落物厚度和累积量差异显著,大部分森林类型的凋落物累积量半分解层所占比例大于未分解层,马尾松林除外。

(2) 不同森林类型凋落物的持水量、持水率和吸水速率均有差异,但其随浸水时间的变化规律一致。5种森林类型凋落物的持水量和持水率随着浸水时间的增加而不断增加,随后增幅减慢,逐渐趋于稳定,最后达到最大值;吸水速率在刚浸水时高,随后明显下降,慢慢地达到饱和。

(3) 同一森林类型凋落物的分解程度不同,其持水量、持水率和吸水速率不同,基本表现为半分解层大于未分解层。5种森林类型不同分解程度的凋落物持水量和持水率与浸泡时间均呈对数关系,吸水速率与浸泡时间呈幂函数关系。

(4) 在研究的5种森林类型中,湿地松+荷木混交林凋落物累积量、最大持水量、最大拦蓄量、有效拦蓄量均有最大值,分别为40.18,77.09,60.95,49.31 t/hm<sup>2</sup>,持水能力最强;大叶栎萌发林凋落物累积量最少,但其最大持水率和最大拦蓄率均最大,最大拦蓄量和有效拦蓄量仅次于湿地松+荷木混交林。因此,从有效拦蓄率和有效拦蓄量上考虑,湿地松+荷木混交林和大叶栎林持水能力较好。

### 参考文献:

- [1] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等.森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J].水土保持学报,1998,4(2):23-28.
- [2] 刘效东,乔玉娜,周国逸,等.鼎湖山3种不同演替阶段森林凋落物的持水特性[J].林业科学,2013,49(9):8-15.
- [3] 闫文德,张学龙.祁连山森林枯落物水文作用的研究[J].西北林学院学报,1997,12(2):7-14.
- [4] 耿玉清,王保平.森林地表枯枝落叶层涵养水源作用的研究[J].北京林业大学学报,2000,22(5):49-52.
- [5] 朱金兆,吴钦孝.森林凋落物层水文生态功能研究[J].北京林业大学学报,2002,24(5):30-34.
- [6] 刘颖,韩士杰,林鹿.长白山四种森林类型凋落物动态特征[J].生态学杂志,2009,28(1):7-11.
- [7] 王云琦,王玉杰.三峡库区典型森林植被生态水文功能[J].生态学杂志,2010,29(10):1892-1900.
- [8] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等.北京山地7种人工纯林枯落物及土壤水文效应[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2013,34(5):53-59.
- [9] 苏彩燕,周勤.珠江流域城市河道的综合整治建议与可持续发展[J].水利规划与设计,2006(3):19-21.
- [10] 杨小兰,张天明,童德文.广西珠江流域防护林体系建设现状与对策[J].林业调查规划,2011,36(5):60-62.
- [11] 唐玉贵,蒋焱,梁杰森.苍梧县珠江低效防护林形成原因与改造的技术对策研究[J].广西林业科学,2010,39(2):85-87.
- [12] 常雅军,曹靖,马建伟,等.秦岭西部山地针叶林凋落物持水特性[J].应用生态学报,2008,19(11):2346-2351.
- [13] 薛立,何跃君,屈明,等.华南典型人工林凋落物的持水特性[J].植物生态学报,2005,29(3):415-421.
- [14] 杨玉莲,马兴艳,吴庆贵,等.龙门山断裂带主要森林类型凋落物累积量及其持水特性[J].水土保持通报,2014,34(3):69-74.
- [15] 魏强,凌雷,张广忠,等.甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及持水特性[J].应用生态学报,2011,22(10):2589-2598.
- [16] 王勤,张宗应,徐小牛.安徽大别山库区不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能[J].水土保持学报,2003,17(3):59-62.
- [17] 刘世荣,温远道,王兵,等.中国森林生态系统水文生态功能规律[M].北京:中国林业出版社,1996.
- [18] 田超,杨新兵,李军,等.冀北山地不同海拔蒙古栎林枯落物和土壤水文效应[J].水土保持学报,2011,25(4):221-226.
- [19] 韩春华,赵雨森,辛颖,等.阿什河上游小流域主要林分枯落物层的持水特性[J].林业科学研究,2012,25(2):212-217.
- [20] 王金建,崔培学,刘霞,等.小流域水土保持生态修复区森林枯落物的持水性能[J].中国水土保持科学,2005,3(1):48-52.
- [21] 王佑民.中国林地枯落物持水保土作用研究概况[J].水土保持学报,2000,14(4):108-113.
- [22] 顾宇书,邢兆凯,韩友志,等.浑河上游4种典型林分类型枯落物持水特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2013,37(1):31-36.
- [23] 彭云,丁贵杰.不同林龄马尾松林枯落物储量及其持水性能[J].南京林业大学学报:自然科学版,2008,32(4):43-46.
- [24] 罗新萍.云南泸水5种生态公益林凋落物持水性研究[J].西南林业大学学报,2012,32(4):51-55.
- [25] 周祥,赵一鹤,张洪江,等.云南高原典型林分林下枯落物持水特征研究[J].生态环境学报,2011,20(2):248-252.
- [26] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等.北京山地不同海拔人工油松林枯落物及其土壤水文效应[J].水土保持研究,2013,20(6):54-58.