

柳江流域中游3种人工林的水源涵养功能*

刘毅¹ 韦建财² 周海喜² 何琴飞³ 申文辉³

(1. 广西国有高峰林场, 广西南宁 530001; 2. 柳州市柳江区林业局, 广西柳州 545000;

3. 广西壮族自治区林业科学研究院, 广西南宁 530002)

摘要 以柳江流域中游柳江县3种典型人工林为研究对象, 通过野外样地调查和室内实验相结合的方法, 从林下草本层、凋落物层、土壤层3个方面研究了不同人工林的水源涵养功能。结果表明: 桉树林(巨尾桉 *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*)、杉木林(*Cunninghamia lanceolata*)和马尾松林(*Pinus massoniana*)林下草本层最大持水量差异不显著, 分别为12.12、11.33和8.56 t/hm²; 而凋落物层最大持水量的大小顺序为桉树林>马尾松林>杉木林, 3种林分间差异显著($P<0.05$), 分别为13.92、9.86和6.82 t/hm²; 3种林分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; 土壤密度随土层厚度的增加而增大, 非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度则相反, 均随着土层厚度的增加而减小, 桉树林毛管总孔隙度和总孔隙度除外; 马尾松林和杉木林60 cm土层的最大持水量差异不明显, 但均明显大于桉树林, 分别为2 968.44、2 964.03、2 585.20 t/hm²; 不同林分的林下层持水总量大小顺序依次为马尾松林(2 986.86 t/hm²)、杉木林(2 982.17 t/hm²)、桉树林(2 611.24 t/hm²), 其中土壤层的持水量占99%及以上。

关键词 人工林; 凋落物; 土壤; 持水量; 水源涵养

中图分类号: S715 文献标识码: A 文章编号: 2096-2053 (2017) 02-0001-07

Water Conservation Function of Three Plantations in Middle Reaches of
Liujiang RiverLIU Yi¹ WEI Jiancai² ZHOU Haixi² HE Qinfei³ SHEN Wenhui³

(1. Guangxi Gaofeng State-owned Forest Farm, Nanning, Guangxi 530001, China; 2. Liuzhou Liujiang District Forestry Bureau, Liuzhou, Guangxi 545000, China; 3. Guangxi Forestry Research Institute, Nanning, Guangxi 530002, China)

Abstract Three typical plantations in the middle reaches of the Liujiang river basin were used as the research object. Through field investigation and experiment, the water conservation function of different plantations was studied from three aspects: the herb layer, the litter layer, and the soil layer. The results indicated that in the herb layer, the maximum water-holding capacity of *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* forest, *Cunninghamia lanceolata* forest and *Pinus massoniana* forest was 12.12, 11.33, 8.56 t/hm² respectively, which had no significant difference. The maximum water-holding capacity of litter layer had the significant difference in the order of *Eucalyptus* forest (13.92 t/hm²) > *P. massoniana* forest (9.86 t/hm²) > *C. lanceolata* forest (6.82 t/hm²). The water-holding capacity and water-holding rate of litters changed logarithmically, while the water-absorption rate assumed a power function of soaking time. Soil bulk density increased from the increase of soil depth, whereas soil

* 基金项目: 广西林业重点科技项目“广西石漠化植被演替机理及优化恢复模式研究与示范”(桂林科学[2014]02号); 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”(桂林科学[2012]07号)。

第一作者: 刘毅(1972—), 男, 工程师, 主要从事森林培育研究, E-mail: 2511695579@qq.com。

通信作者: 何琴飞(1982—), 女, 工程师, 主要从事森林生态研究, E-mail: dragonfly.hqf@126.com。

non-capillary porosity, capillary porosity and total porosity were reduced from the increase of soil depth, except for capillary porosity and total porosity of *Eucalyptus* forest. The maximum water-holding capacity of 60 cm soil layer of *P. massoniana* ($2\,968.44\text{ t/hm}^2$) was a little higher than *C. lanceolata* forest ($2\,964.03\text{ t/hm}^2$), the lowest was *Eucalyptus* forest ($2\,585.20\text{ t/hm}^2$). The total maximum water-holding capacity for *P. massoniana* forest, *C. lanceolata* forest, *Eucalyptus* forests was $2\,986.86$, $2\,982.17$, $2\,611.24\text{ t/hm}^2$, and the order was the same as the soil. The maximum water-holding capacity of soil layer accounted for 99% and above.

Key words plantation; litter; soil; water-holding capacity; water conservation

森林水源涵养功能是森林生态系统的重要组成部分,一直是生态研究的热点问题。森林水源涵养功能主要是通过凋落物层吸水 and 土壤层持水及林冠截留降雨来实现的^[1]。凋落物层具有良好的透水性和持水能力,在森林实现涵养水源和维持水量平衡方面起着非常重要的作用^[2]。土壤是天然的大水库,降雨能沿着土壤空隙下渗,成为土壤贮水和地下径流,从而表现出林分水源涵养和水土保持的功能^[3]。林冠截留是生态系统水分再分配的起点,林冠层的持水能力是林冠截留研究的主要内容^[4],从大范围来讲,林冠层是林分的活地被层,包含林下灌草层。

柳江是珠江流域西江水系第二大支流,流域面积 $5.72 \times 10^4\text{ km}^2$,主要流经广西壮族自治区中北部的柳州市区及其下辖的6县(三江、融安、融水、柳城、柳江和鹿寨)^[5]。柳江县属于柳州市市辖区,柳江流域中游,主要用材树种在1999年以前均以杉木(*Cunninghamia lanceolata*)和松类为主,两者面积占主要用材树种的85%以上,且2个树种的面积相对持平,从1999年开始引进速生桉树,到2009年速生桉面积已占全部主要用材林树种面积的65.4%,成为该县面积上最大的用材树种^[6],这3类树种的面积均高于其他阔叶树。

杉木、马尾松(*Pinus massoniana*)和桉树也是我国南方亚热带的主要用材树种,栽种面积广,已有学者对不同林型、不同林龄、不同密度的杉木人工林的凋落物和土壤的水源涵养功能进行了研究^[7-9];薛立等^[10]、彭云等^[11]研究了马尾松林凋落物储量、持水量及持水特性;杜阿明等^[12]研

究了不同品种桉树人工林的凋落物和土壤的持水性能。但不同地区、不同森林类型由于其物种组成、树种生物学特性和林分结构等不同,其水源涵养功能存在一定的差异^[13]。关于柳江县杉木等3种人工林的水源涵养功能尚未见有研究,而柳江流域人工林等森林植被对该流域的水质水量影响意义重大,因此,本文在柳江县选择具有代表性的桉树林(巨尾桉 *Eucalyptus grandis* $\times$ *E. urophylla*)、杉木林和马尾松林3种人工林为研究对象,从林下植被层、凋落物层和土壤层对比分析不同林分类型的水源涵养能力,为柳江流域人工林的营造和可持续利用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

柳江县位于广西中部,柳江流域中游,地理坐标为 $108^\circ 54' \sim 109^\circ 44' \text{ E}$, $23^\circ 54' \sim 24^\circ 29' \text{ N}$,属亚热带季风气候,日照充足,雨量充沛,年平均气温 $20.4\text{ }^\circ\text{C}$,极端最高气温为 $39.1\text{ }^\circ\text{C}$,极端最低气温为 $-1.3\text{ }^\circ\text{C}$;年平均降雨量 $1\,424.7\text{ mm}$,多集中在5—9月,年相对湿度76%;年平均日照大于 $1\,600\text{ h}$,无霜期长;夏季盛行偏南风,高温高湿多雨;冬季盛行偏北风,低湿干燥少雨。全县属丘陵地区,土壤主要为石灰土、红壤等。柳江县目前主要用材树种以杉木、松类、桉树为主^[6]。

1.2 研究方法

1.2.1 样方设置 在柳江县选择桉树、杉木和马尾松3种人工林分布较广的区域设置样方,每种林分设置3个 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的样方,对样方内胸径

表1 柳江流域3种人工林林分基本特征

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	经度	纬度
桉树林	14.5	18.9	6	0.65	288	3	240	$109^\circ 8'20'' \text{ E}$	$24^\circ 23'48'' \text{ N}$
杉木林	19.2	16.8	42	0.70	15	8	190	$109^\circ 8'51'' \text{ E}$	$24^\circ 24'8'' \text{ N}$
马尾松林	21.7	17.9	27	0.65	339	10	190	$109^\circ 8'59'' \text{ E}$	$24^\circ 24'6'' \text{ N}$

1 cm 以上的立木进行每木检尺,测定树高、胸径等生长指标,记录林分林龄、郁闭度、坡向等环境因子,3 种林分的基本特征见表 1。

1.2.2 草本层生物量和持水量测定 在每个标准样方的上、中、下部随机设置 3 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小样方,采用收获法收集小样方内全部草本地上部分,称其鲜质量,并取样带回实验室,用烘干法以干物质的质量来测定生物量,用浸泡法测定最大持水率和最大持水量^[14]。

1.2.3 凋落物生物量和持水能力测定 在每个标准样方的上、中、下部随机设置 3 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小样方,收集小样方内全部凋落物,现场称其鲜质量,将获取的凋落物样品带回实验室于 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒质量,计算凋落物含水率,并以干质量计算凋落物生物量。

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 目的尼龙网袋中,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^[15-16]:

凋落物自然含水率 R_0 (%): $R_0 = (M_0 - M_D) / M_D \times 100\%$

凋落物最大持水率 $R_{\max}$ (%): $R_{\max} = (M_{24} - M_D) / M_D \times 100\%$

凋落物最大持水量 $W_{\max}$ (t/hm^2): $W_{\max} = M \times R_{\max}$

凋落物吸水速率 V ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$): $V = M_t / t$

凋落物有效拦蓄量 W_{sv} (t/hm^2): $W_{\text{sv}} = (0.85R_{\max} - R_0) \times M$

式中: M_0 为凋落物自然湿质量 (g); M_{24} 为凋落物浸水 24 h 后的湿质量 (g); M_D 为凋落物的干质量 (g); M 为凋落物累积量 (t/hm^2); M_t 为 t 时刻凋落物持水量 (g/kg); t 为凋落物浸泡时间 (h); 0.85 为有效拦蓄量的调整系数。

1.2.4 土壤物理性状和持水能力测定 在每个标准样方内随机挖取 1 个土壤剖面,记录土壤剖面的层次、颜色、湿度、质地和植物根系数量等。运用机械分层取土法,在每个土壤剖面的左、中、右 3 个方向用环刀按照 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 分层取样,带回实验室,用环刀法测定土壤密度、孔隙度等物理指标,用烘干法和浸水法测定持水量等指标^[17]。

1.2.5 数据分析方法 采用 SPSS19.0 软件进行单因素方差分析 (One-way AVOVA), Duncan 法进行多重比较,曲线回归分析拟合方程,Microsoft excel 2010 制图。

2 结果与分析

2.1 草本层持水能力

由表 2 可知,3 种林分类型林下草本生物量的变化范围 $2.86 \sim 3.12\text{ t}/\text{hm}^2$,最大持水量的变化范围 $8.56 \sim 12.12\text{ t}/\text{hm}^2$,草本层的最大持水量受生物量和持水率的影响。经方差分析表明不同林分的草本层生物量和持水量差异不显著,桉树林草本的持水率显著大于马尾松林 ($P < 0.05$)。

表 2 柳江流域 3 种人工林草本层的生物量和持水量

林型	生物量 / ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	最大持水率 /%	最大持水量 / ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
桉树林	3.11 ± 0.44	$79.4 \pm 1.2\text{ b}$	12.12 ± 1.67
杉木林	3.12 ± 0.46	$78.2 \pm 1.1\text{ ab}$	11.33 ± 1.81
马尾松林	2.86 ± 0.41	$75.0 \pm 1.1\text{ a}$	8.56 ± 1.06

注:表中数据为平均值 $\pm$ 标准误;同列不同小写字母表示在 $\alpha = 0.05$ 水平上差异显著,无字母表示方差分析差异不显著。

2.2 凋落物层持水能力

2.2.1 凋落物层生物量和最大持水量 方差分析表明不同林分凋落物的生物量和持水量均存在显著差异 ($P < 0.05$),其中桉树林明显大于马尾松林和杉木林,但 3 种林分类型凋落物的持水率差异不显著,结果见表 3。林下凋落物生物量的变化范围在 $5.47 \sim 9.73\text{ t}/\text{hm}^2$ 之间,最大持水量的变化范围为 $6.82 \sim 13.92\text{ t}/\text{hm}^2$,且最大持水量与其生物量的变化规律一致。

2.2.2 凋落物层的拦蓄能力 不同林分凋落物的拦蓄能力不同,结果见表 3。凋落物的自然含水率、最大持水量、最大拦蓄量和有效拦蓄量的大小顺序为桉树林 > 马尾松林 > 杉木林,与凋落物生物量排序一致,且 3 种林分类型之间差异显著 ($P < 0.05$),而不同林分凋落物的最大持水率、最大拦蓄率和有效拦蓄率差异不显著。

2.2.3 凋落物持水量动态变化过程 3 种人工林凋落物的持水量变化规律一致 (图 1),即凋落物的累积持水量随着浸水时间的增加而不断增加,前 0.25 h 内增速很快,0.25 h 后增速变缓,浸水 24 h 后达到饱和。整体上 3 种人工林凋落物的持水

表3 柳江流域3种人工林凋落物的生物量和持水能力

林型	生物量 / (t·hm ⁻²)	自然含水率 /%	最大持水率 /%	最大持水量 / (t·hm ⁻²)	最大拦蓄 率/%	最大拦蓄量 / (t·hm ⁻²)	有效拦蓄 率/%	有效拦蓄量 / (t·hm ⁻²)
桉树林	9.73±0.70 b	49.9±7.2 b	142.2±9.4	13.92±1.50 b	92.2±6.7	9.17±1.21 b	70.9±5.9	7.08±1.02 b
杉木林	5.47±0.63 a	28.1±3.9 a	128.6±11.2	6.82±0.74 a	100.5±9.1	5.24±0.45 a	81.2±7.6	4.22±0.34 a
马尾松林	7.30±0.50 a	35.0±3.0 ab	136.1±8.0	9.86±0.76 a	101.1±9.1	7.32±0.76 ab	80.6±7.9	5.84±0.66 ab

注：表中数据为平均值±标准误；同列不同小写字母表示在α=0.05水平上差异显著，无字母表示方差分析差异不显著。

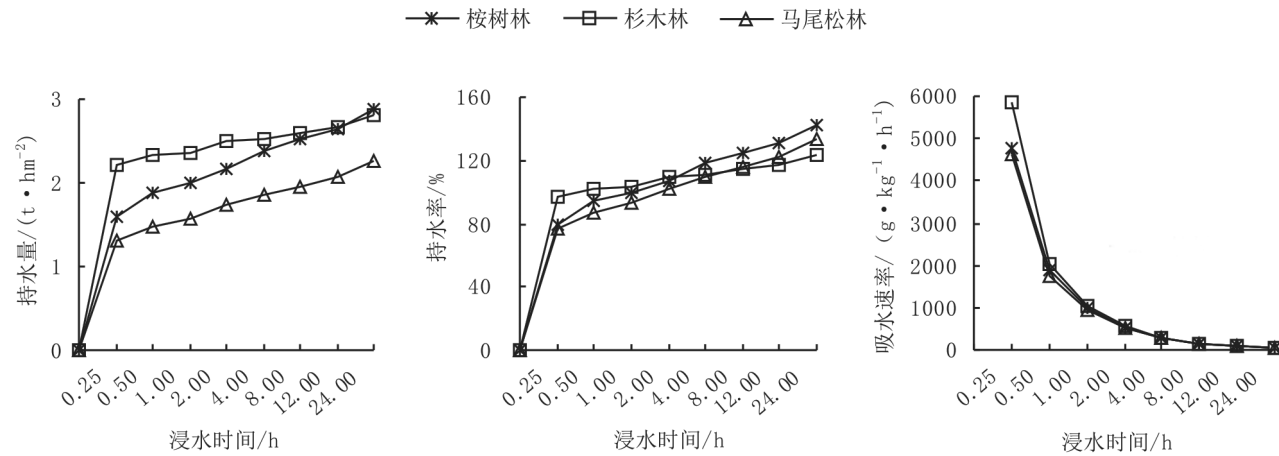


图1 柳江流域3种人工林凋落物持水量、持水率、吸水速率与浸水时间的关系

量大小顺序为杉木林>桉树林>马尾松林，浸水0.25 h时，杉木林凋落物持水量为2.22 t/hm²，明显高于桉树林、马尾松林，随着时间的增加，杉木林凋落物持水量的增速降低，低于桉树林、马尾松林。

经回归方程拟合发现，凋落物的持水量 W 与浸水时间 t 两者之间呈极显著的对数函数关系 ($P < 0.001$)，方程表达式为： $W=a+blnt$ ，结果见表4，回归方程的相关系数 $R^2 > 0.9$ ，表明凋落物的持水量与浸水时间存在很好的相关性。

2.2.4 凋落物持水率动态变化过程 从图1可看出，3种人工林凋落物的持水率大小不同，浸水前2 h，持水率大小顺序为杉木林>桉树林>马尾松林，2 h后，杉木林小于桉树林，4 h后杉木林小于马尾松。但3种人工林凋落物的持水率变化规律一致，即刚开始浸水时持水率增加很快，浸水

0.25 h后，累积持水率增幅随着浸水时间的增加而逐渐减小，最后达到一个稳定值。

3种人工林凋落物的持水率 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 ($P < 0.001$)，方程表达式为： $R=a+blnt$ ，结果见表4，且凋落物的持水量与浸水时间的相关性很好，回归方程的相关系数 $R^2 > 0.9$ 。

2.2.5 凋落物吸水速率动态变化过程 由图1可知，3种人工林凋落物吸水速率的变化规律为：刚浸水时吸水速率很高，0.5 h后显著下降，4 h后降幅变小，最后逐渐趋于饱和。不同人工林凋落物的吸水速率大小不同，浸水前2 h，大小顺序依次为杉木林、桉树林、马尾松林，2 h后，杉木林略低于桉树林，4 h后杉木林略低于马尾松，这与持水率的变化一致。

通过回归分析得出凋落物吸水速率 V 与浸

表4 柳江流域3种人工林凋落物持水量、持水率、吸水速率和浸水时间的回归方程

林型	持水量		持水率		吸水速率	
	回归方程	R^2	回归方程	R^2	回归方程	R^2
桉树林	$W=1.998+0.267lnt$	0.992**	$R=99.436+12.943lnt$	0.992**	$V=1087.936t^{-0.934}$	0.996**
杉木林	$W=2.383+0.121lnt$	0.977**	$R=104.691+5.356lnt$	0.978**	$V=1157.665t^{-1.004}$	0.995**
马尾松林	$W=1.590+0.195lnt$	0.992**	$R=93.573+11.781lnt$	0.992**	$V=1025.618t^{-0.939}$	0.995**

注：W为持水量，R为持水率，V为吸水速率，t为浸水时间。

水时间 t 之间存在极显著的幂函数关系 ($P < 0.001$), 方程表达式为: $V=kt^a$, 结果见表 4, 回归方程的相关系数 $R^2 > 0.9$, 表示凋落物的吸水速率与浸水时间相关性很好。

2.3 土壤层持水能力

土壤物理性状是指土层厚度、土壤密度和土壤孔隙度等指标, 土壤物理性状直接影响到土壤的持水性能。不同林分土壤的物理性状和持水量不同, 结果如表 5 所示, 3 种人工林 0~60 cm 厚的土壤密度平均值大小顺序依次为桉树林 1.39 g/cm³、杉木林 1.26 g/cm³、马尾松林 1.11 g/cm³, 非毛管孔隙度的平均值大小顺序为杉木林 > 马尾松林 > 桉树林, 毛管孔隙度、总孔隙度的平均值大小顺序为马尾松林 > 杉木 > 桉树林, 土壤持水量的变化规律与相应的孔隙度一致, 其中马尾松林和杉木林 60 cm 土层的最大持水量相差不大, 但均明显大于桉树林, 分别为 2 968.44、2 964.03、2 585.20 t/hm²。3 种林分的土壤密度均随土层厚度的增加而增大, 非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度则相反, 均随着土层厚度的增加而减小, 除了桉树林的毛管孔隙度和总孔隙度外, 因此表

层土壤的持水量均较大。方差分析亦表明, 不同林分之间各层土壤的物理性状指标和持水量均存在显著差异 ($P < 0.05$)。

2.4 林下不同层次持水能力

不同林分林下层的总持水量见表 6, 马尾松林、杉木林和桉树林的林下层总持水量分别为 2 986.86、2 982.17、2 611.24 t/hm², 马尾松林和杉木林的林下总持水量相差不大, 但均明显大于桉树林。3 种林分的土壤层持水量占绝大部分, 均达到了 99% 及以上, 而草本层和凋落物层持水量占比很小。

3 结论与讨论

3.1 桉树林、杉木林和马尾松林 3 种人工林林下草本层的生物量和最大持水量差异不显著, 其值范围分别为 2.86~3.12 和 8.56~12.12 t/hm²。原因可能与 3 种林分郁闭度相近、林下光照条件相似有关, 曾有研究表明林下光照是影响林下草本生物量和多样性的主要原因之一^[18], 最大持水量又主要受生物量影响。

3.2 不同林分的凋落物层生物量和最大持水量

表 5 柳江流域 3 种人工林土壤物理性状和持水量

林型	土层厚度 /cm	土壤密度 / (g · cm ⁻³)	非毛管孔隙度 /%	毛管孔隙度 /%	总孔隙度 /%	非毛管持水量 / (t · hm ⁻²)	毛管持水量 / (t · hm ⁻²)	最大持水量 / (t · hm ⁻²)
桉树林	0~20	1.24 ± 0.04 c	0.86 ± 0.06 a	44.30 ± 1.67 a	45.16 ± 1.67 a	17.24 ± 1.15 a	885.98 ± 17.46 a	903.22 ± 17.44 a
	20~40	1.49 ± 0.05 c	0.84 ± 0.10 a	40.73 ± 0.70 a	41.57 ± 0.78 a	16.80 ± 1.98 a	814.55 ± 13.94 a	831.35 ± 15.60 a
	40~60	1.44 ± 0.01 a	0.72 ± 0.02 a	41.81 ± 0.68 a	42.53 ± 0.68 a	14.44 ± 0.42 a	836.18 ± 13.64 a	850.62 ± 13.67 a
	均值或总值	1.39	0.81	42.28	43.09	48.48	2536.71	2585.20
杉木林	0~20	1.05 ± 0.04 b	2.40 ± 0.38 b	52.99 ± 1.70 b	55.38 ± 1.37 c	47.96 ± 7.55 b	1059.73 ± 23.98 b	1107.68 ± 21.38 c
	20~40	1.34 ± 0.03 b	1.73 ± 0.22 b	45.38 ± 1.73 b	47.11 ± 1.57 b	34.62 ± 6.50 b	907.65 ± 24.56 b	942.27 ± 21.43 b
	40~60	1.38 ± 0.03 b	0.88 ± 0.06 a	44.82 ± 1.12 b	45.70 ± 1.10 b	17.62 ± 1.18 a	896.45 ± 22.48 b	914.07 ± 21.94 b
	均值或总值	1.26	1.67	47.73	49.40	100.2	2863.83	2964.03
马尾松林	0~20	0.89 ± 0.02 a	2.01 ± 0.34 b	48.20 ± 0.94 a	50.21 ± 1.03 b	40.29 ± 6.82 b	963.98 ± 18.84 a	1004.26 ± 20.65 b
	20~40	1.19 ± 0.03 a	1.38 ± 0.16 ab	48.43 ± 0.56 b	49.81 ± 0.68 b	27.58 ± 3.23 ab	968.58 ± 11.16 b	996.15 ± 13.68 b
	40~60	1.24 ± 0.02 b	1.25 ± 0.18 b	47.15 ± 0.55 b	48.40 ± 0.49 c	25.00 ± 3.53 b	943.03 ± 11.03 b	968.03 ± 9.74 c
	均值或总值	1.11	1.55	47.93	49.47	92.87	2875.59	2968.44

注：表中数据为平均值 ± 标准误；同列不同小写字母表示同一土层不同林分在 $\alpha=0.05$ 水平上差异显著，3 种林分土壤分层比较；土壤密度、非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度为均值；非毛管持水量、毛管持水量、最大持水量为总值。

表 6 柳江流域 3 种人工林林下总持水量及各层次所占比例

林型	林下总持水量 / (t · hm ⁻²)	草本层占比 /%	凋落物层占比 /%	土壤层占比 /%
桉树林	2611.24	0.46	0.53	99.00
杉木林	2982.17	0.38	0.23	99.39
马尾松林	2986.86	0.29	0.33	99.38
均值	2860.09	0.38	0.36	99.26

均存在显著差异 ($P < 0.05$), 其中桉树林凋落物的生物量和最大持水量显著大于马尾松林和杉木林, 马尾松林和杉木林之间差异不显著, 桉树林、马尾松林和杉木林凋落物的最大持水量分别为 13.92、9.86 和 6.82 t/hm², 大小顺序与生物量一致, 最大拦蓄量和有效拦蓄也与生物量大小顺序一样, 均表现为桉树林 > 马尾松林 > 杉木林, 3 种林分的凋落物持水量、持水率与浸水时间均呈对数关系, 吸水速率与浸水时间呈幂函数关系。一般凋落物的现存量越多, 持水能力越强, 其水源涵养功能越好^[2]。凋落物生物量取决于其产量、现存量、分解速度、积累年限等因子, 而这些因子又与林型、林分组成、林分发育、林分生产力、气候状况和人为活动等相关^[9], 在实地调查中发现桉树林树皮脱落现象严重, 是导致桉树林凋落物生物量增加的原因; 而马尾松林和杉木林均属于针叶树种, 其凋落物叶质一样、分解速率接近, 因此两种林分的凋落物生物量差别不明显。杉木林凋落物有效拦蓄率最大, 因此在短时间的浸水过程中, 其凋落物的持水量、持水率和吸水速率较高, 与薛立等人^[10]的研究结果一致。凋落物的持水动态变化过程, 即持水量、持水率、吸水速率与浸水时间的关系, 与龙门断裂带常绿针叶林、落叶阔叶林、针阔混交林和常绿阔叶林^[15]、南亚热带的桉树林^[20]、以及江西、福建的杉木林^[9, 21]等林型的凋落物表现出同样的变化规律。

3.3 不同林分 60 cm 厚的土壤平均密度大小顺序为桉树林 > 杉木林 > 马尾松林, 总孔隙度大小顺序为马尾松林 > 杉木林 > 桉树林, 与土壤密度大小顺序相反, 土壤密度随土层厚度的增加而增大, 非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度则随土层厚度的增加而减小。马尾松林的土壤持水量略大于杉木林, 分别为 2 968.44 和 2 964.03 t/hm², 且两者明显大于桉树林 (2 585.20 t/hm²), 土壤最大持水量的变化规律与总孔隙度一致。土壤密度越小, 土壤孔隙状况越好, 土壤蓄渗能力越强^[22]。

3.4 不同林分类型的林下层持水总量大小顺序依次为马尾松林 (2 986.86 t/hm²)、杉木林 (2 982.17 t/hm²)、桉树林 (2 611.24 t/hm²), 其中土壤层的持水量占 99% 及以上。土壤是水源涵养的主体, 对整个林分的水源涵养功能起关键作用, 土壤层的调节能力占森林调蓄能力的 90% 以上^[18]。林下草层和凋落物层的持水量占比不大, 其主要的水

文生态意义在于截持降水、降低雨水对地面的冲刷、吸收降落到地表的水分、增加土壤水分下渗等功能^[23], 同时植被通过根系对土壤穿插以及凋落物分解为土壤动物和微生物提供能量等方式改变土壤物理性状, 影响土壤的水源含蓄能力, 进而影响整个森林的水源涵养功能。

3.5 综上所述, 马尾松、杉木人工林的水源涵养功能优于桉树人工林, 可在柳江流域优先考虑种植。但森林的持水特性受地形因子 (海拔、坡位、坡向)、群落发育阶段、林分结构、人为干扰和其他自然环境因素的影响, 本研究并未定量阐述各因素的影响效应, 同时缺少林冠层截留分配降水和树干径流方面的研究, 这在今后的研究中有待进一步加强。

参考文献

- [1] 蒋运生, 宁世江, 唐润琴. 九万山自然保护区森林植被涵养水源效益的初步研究[J]. 广西植物, 2004, 24(5): 396-401.
- [2] 常雅军, 陈琦, 曹靖, 等. 甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2392-2400.
- [3] 吴迪, 辛学兵, 裴顺祥, 等. 北京九龙山 8 种林分的枯落物及土壤水源涵养功能[J]. 中国水土保持科学, 2014, 12(3): 78-86.
- [4] 喻阳华, 李光容, 皮发剑, 等. 赤水河上游主要树种冠层持水能力[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(2): 8-14.
- [5] 邓利, 喻泽斌, 吴锐, 等. 近 20 年柳江河流域生态系统服务价值变化研究[J]. 广东农业科学, 2013(19): 218-221.
- [6] 应启围, 秦凤梅. 1973~2009 年柳江县森林资源变化分析[J]. 低碳世界, 2015(4): 335-336.
- [7] 杨俊玲, 王新杰. 四种杉木人工林枯落物持水性研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(7): 306-310.
- [8] 李际平, 李沛霖, 曹小玉, 等. 福寿林场杉木人工林水源涵养功能比较研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(7): 80-83.
- [9] 赵磊, 王兵, 蔡体久, 等. 江西大岗山不同密度杉木林枯落物持水与土壤贮水能力研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1): 203-208.
- [10] 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.
- [11] 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.

- [12] 杜阿朋, 赵知渊, 王志超, 等.不同品种桉树人工林生长特征及持水性能研究[J].热带作物学报, 2014, 35(7): 1306-1310.
- [13] 贺淑霞, 李叙勇, 莫菲, 等.中国东部森林样带典型森林水源涵养功能[J].生态学报, 2011, 31(12): 3285-3295.
- [14] 陈德叶.福建柏等4个珍贵树种人工纯林涵养水源研究[J].四川林勘设计, 2008(2): 23-25.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 姜海燕, 赵雨森, 陈祥伟, 等.大兴安岭岭南几种主要森林类型土壤水文功能研究[J].水土保持学报, 2007, 21(3): 149-153.
- [18] 谭长强, 彭玉华, 申文辉, 等.珠江中上游都安地区不同森林类型林下水源涵养能力比较[J].广西林业科学, 2015, 44(4): 346-351.
- [19] 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.
- [20] 陈伟光, 张卫强, 张卫华, 等.亚热带桉树林和针阔混交林土壤及凋落物持水能力比较[J].广东林业科技, 2014, 30(5): 35-42.
- [21] 周丽丽, 蔡丽平, 马祥庆, 等.不同发育阶段杉木人工林凋落物的生态水文功能[J].水土保持学报, 2012, 26(5): 249-252.
- [22] 孟庆旭, 张胜利, 李侃, 等.秦岭华山松林间伐强度对其水源涵养功能的影响[J].西北林学院学报, 2016, 31(2): 1-7.
- [23] 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.