

浙江省典型森林类型枯落物及林下土壤水文特性

孙欧文¹, 蔡建国¹, 吴家森², 葛宏立²

(1. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300;

2. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300)

摘要:选择浙江省5种典型林型(杉木林、毛竹林、阔叶林、针阔混交林、马尾松林)枯落物及林下土壤作为研究对象,布设30 m×30 m标准样地,枯落物水文效应测定采用浸泡法,土壤层水文效应测定采用环刀法。结果表明:不同林分类型枯落物蓄积量大小介于10.14~25.07 t/hm²,排列顺序分别为针阔混交林>阔叶林>马尾松林>杉木林>毛竹林;最大持水量大小介于21.82~33.64 t/hm²,排列顺序为针阔混交林>阔叶林>杉木林>马尾松林>毛竹林;有效拦蓄量大小介于16.8~24.84 t/hm²,其排序为针阔混交林>杉木林>阔叶林>马尾松林>毛竹林;5种森林类型枯落物的持水量均随浸水时间而增大并逐步趋于稳定,其关系符合对数函数;前0.5 h内枯落物吸水速率最大,1 h之后吸水速率急剧降低,而后随着时间的推移,枯落物的吸水速率趋于统一,其关系呈幂函数关系;5种森林类型林下土壤容重、非毛管孔隙度、孔隙度、持水能力等指标差异并不显著,土壤持水力均值介于201.86~296.63 t/hm²。综合来看,阔叶林及含有阔叶树种的林分持水能力相对高于针叶林。

关键词:蓄积量;枯落物;水文特性;浙江省

中图分类号:S715.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)01-0118-06

Hydrological Characteristics of Litter and Forest Soil of Typical Forest Types in Zhejiang Province

SUN Ouwen¹, CAI Jianguo¹, WU Jiasen², GE Hongli²

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang Agricultural & Forestry University, Lin'an,

Zhejiang 311300, China; 2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang Agricultural & Forestry University, Lin'an, Zhejiang 311300, China)

Abstract: Selecting litter and soil of five typical forest types (Chinese fir forest, moso bamboo forest, broad-leaved forest, mixed broadleaf-conifer forest, and masson pine forest) in Zhejiang Province as the research object, we set up sample plots with 30 m×30 m in which hydrological effects of litter of plots was examined by soaking method, and hydrological effects of soil layer was investigated by cutting ring method. The results are as follows. The litter amounts of different forest types greatly varied from 10.14 t/hm² to 25.07 t/hm², and the litter amount decreased in the order: mixed broadleaf-conifer forest>broad-leaved forest>masson pine forest>Chinese fir forest>moso bamboo forest; the maximum water-holding capacity of litter ranged from 21.82 t/hm² to 33.64 t/hm², the maximum water-holding capacity decreased in the order: mixed broadleaf-conifer forest>broad-leaved forest>Chinese fir forest>masson pine forest>moso bamboo forest; the effective impoundment amount was between 16.8 t/hm² and 24.84 t/hm², and the effective impoundment amount decreased in the order: mixed broadleaf-conifer forest>Chinese fir forest>broad-leaved forest>masson pine forest>moso bamboo forest. The water-holding capacities of litter of the five types of forest increased and stabilized gradually with the increase of immersion time, which could be described by logarithmic function. Forest litter had the largest water absorption rate within the initial half hour, and water

收稿日期:2018-03-30

修回日期:2018-04-01

资助项目:国家科技支撑计划团队任务“低效公益林更新改造和健康维持技术与示范”(2012BAD22B0503);天台县生态公益林效益评价及空间布局与生态需求耦合水平研究(ZC2017ZFCG-031);江山市公益林建设成效评估(ZC2017ZFCG-024)

第一作者:孙欧文(1993—),女,浙江省杭州市人,硕士研究生,研究方向为园林植物应用与效益评估。E-mail:307317657@qq.com

通信作者:吴家森(1972—),男,浙江省丽水市人,博士,教授级高级工程师,硕士生导师,从事森林土壤与环境研究。E-mail:jswu@zafu.edu.cn

absorption rate declined sharply after 1 hour; with the increase of immersion time, the water absorption rate of litter tended to be consistent, and they presented the power function relationship; there were no significant differences in the soils of the 5 forest types in terms of soil bulk density, noncapillary porosity, porosity, and water-holding capacity, and the average soil water-holding capacity varied from 201.86 t/hm² to 296.63 t/hm². In short, water-holding capacities of the broad-leaved forest and forest containing broad-leaved tree species were higher than those of the coniferous forest.

Keywords: storage; litter; hydrological characteristics; Zhejiang Province

森林生态系统,一般分为林冠、枯落物和土壤 3 个层次,其水文过程主要表现这 3 个层次对降雨的截留、吸持及入渗等方面。在整个森林生态系统中,枯落物层及土壤层的水文功能占有极其重要的地位^[1]。枯落物层主要是由树木掉落的叶、花、枝等堆叠而成,以枯枝落叶为主,具备很多重要功能,如拦蓄降水、维持土壤结构、减小表层土壤的水分蒸发等^[2],此外枯落物因其持蓬松、吸水透水力强等特点,还有增强林地持水的性能的作用^[3]。土壤层作为森林植被生存的基础,是水分转化和转移的重要介质,其持水能力与土壤物理性质、孔隙等相关^[4]。研究森林生态系统中枯落物层和土壤层水文效应对于探究其水文循环和水量平衡等有着重要意义^[3]。

目前,国内外很多学者在枯落物及土壤的水文效应方面做了研究,表明植被类型会影响森林水文调节,进而导致森林在保持、净化水土等方面存在差异^[5-6],但是对浙江省森林枯落物及土壤水文效应的报道较少,基于此,本文选取浙江省典型的 5 种森林类型作为研究对象,经过野外考察取样以及室内浸泡试验,研究其枯落物以及土壤持水性,以期为浙江省森林生态水源涵养性能提供科学根据,并为今后系统性展开有关浙江省森林生态建设、水文生态效应和森林资源管理研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

浙江省地处中国东南沿海长江三角洲南翼,位于 118°01′—123°08′E, 27°01′—31°10′N, 面积 1.055 × 10⁵ km², 年平均气温 16~19℃, 年均降水量 1 200 mm。2015 年全省森林面积 6.056 8 × 10⁶ hm², 森林蓄积 2.97 亿 m³, 森林覆盖率为 60.96%, 位居全国前列。主要森林类型包括针阔混交林、常绿阔叶林、毛竹林、马尾松林和杉木林^[7]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择 依据 2015 年浙江省林业厅森林资源与生态状况年度监测,基于浙江省典型乔木林的面积和蓄积量,选取具有代表性森林类型作为试验

对象,以杉木林、毛竹林、阔叶林、针阔混交林、马尾松林 5 种森林类型进行研究。依据植被类型、水文、地形等因素,以位于浙江西南部江山县和东中部天台县 2 县的典型样地为调查样点,并记录坡度、海拔、林龄、郁闭度等,其中郁闭度采用“一步一抬头法”测定林冠投影面积占林地面积的比例。各样地基本情况如表 1 所示。

1.2.2 采样方法 经实地调查,选取植被长势良好、林龄相似等合适地段,减少样地间的差异,分别在 5 种森林类型设 30 m × 30 m 标准样地。在标准样地内按 S 形方法布设 5 个 1 m × 1 m 样方,采集枯落物装入密封袋。并在相应样地中间位置挖掘土壤剖面,分别取 0—10, 10—30, 30—60 cm 环刀样品。

1.3 测定方法

1.3.1 枯落物蓄积量及持水性测定 将采集的枯落物带回实验室,称其自然状态重量及烘干重量,以干重推算不同林分枯落物的蓄积量,并计算自然含水率。

采用室内浸泡法,称取 50 g 风干后的枯落物样品分别装入已称重的尼龙网袋,再将装有枯落物的尼龙网袋放入盛有清水的容器中,并使其完全浸没;分别在浸泡 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 24 h 后,捞起网袋并静置至不滴水时称重,每次称量所得枯落物湿重与干重的差值,即为枯落物样品在不同浸泡时长的持水量;并由此计算各时间段的吸水速率、枯落物最大持水量、最大持水率、最大拦蓄率、有效拦蓄率、最大拦蓄量、有效拦蓄量^[8]。

1.3.2 土壤物理性质和持水性能测定 用环刀法测定土壤容重、非毛管孔隙度、毛管孔隙度等^[9]。非毛管土壤持水力计算公式为:

$$W=10000P \times h$$

式中: W 为非毛管土壤持水力(t/hm²); P 为土壤非毛管孔隙度(%); h 为土壤层厚度(m)。

1.3.3 数据分析 用 Excel 2013 软件对测定数据进行处理,利用 SPSS 19.0 对试验数据进行处理,采用单因素方差分析(one-way ANOVA),并利用 Duncan 法进行多重比较和差异显著性分析($p < 0.05$)。

表 1 不同林分类型样地基本特征

林分类型	县名	乡镇林场	坡度	海拔/m	林龄/年	平均胸径/cm	平均高/m	郁闭度
杉木林	江山	张村	45	580	40	11.6	10.2	0.8
	江山	碗窑镇	28	650	28	12.7	10.6	0.9
	江山	双溪口	36	900	30	11.4	7.2	0.76
	江山	长台	28	260	28	9.6	10.8	0.9
	天台	平桥镇	28	465	21	10.0	6.7	0.68
毛竹林	江山	张村	38	650	3	9.3	12.2	0.9
	江山	峡口	45	570	4	8.6	11.2	0.7
	江山	廿八都	36	470	3	7.0	9.2	0.6
	天台	石梁镇	20	430	3	8.9	11.3	0.5
	天台	平桥镇	26	430	4	11.0	13.2	0.82
阔叶林	江山	张村	42	1020	55	28.8	8.5	0.6
	江山	双溪口	45	800	48	12.2	10.2	0.82
	江山	廿八都	48	1050	48	10.2	6.5	0.8
	天台	白鹤镇	35	540	29	11.8	8.5	0.54
	天台	龙溪乡	28	440	27	10.7	6.8	0.66
针阔混交林	江山	坛石	30	190	37	13.2	10.7	0.78
	江山	上余	42	560	32	10.9	8.1	0.62
	江山	保安镇	42	720	28	9.1	7.7	0.8
	天台	石梁镇	30	395	21	9.8	9.1	0.84
	天台	平桥镇	26	450	25	11.5	8.7	0.82
马尾松林	江山	张村	35	500	33	12.1	6.5	0.4
	江山	峡口	38	340	40	25.6	12.4	0.5
	江山	凤林	15	175	33	15.2	10.9	0.6
	天台	泳溪乡	15	590	25	10.3	7.7	0.62
	天台	福溪街道	30	130	11	7.8	3.9	0.4

2 结果与分析

2.1 不同林分类型枯落物蓄积量

由表 2 可知,浙江省典型 5 种森林林分类型枯落物蓄积量存在显著差异,蓄积量介于 10.14~25.07 t/hm²,其大小依次为:针阔混交林>阔叶林>马尾松林>杉木林>毛竹林,针阔混交林、阔叶林和马尾松林的蓄积量显著高于杉木林和毛竹林。

2.2 不同林分枯落物持水量和拦蓄能力

由表 2 可知,浙江省典型 5 种森林类型枯落物的自然含水率范围为 14.28%~24.37%,各类型间无显著性差异;最大持水率介于 126.49%~219.64%,排列顺序为毛竹林>杉木林>阔叶林>针阔混交林>马尾松林;5 种森林类型最大持水量范围为 21.82~33.64 t/hm²,表现为针阔混交林的最大,毛竹林的最小,经 Duncan 检验,毛竹林最大持水量与其余 4 种森林类

型间存在显著性差异;从研究结果可以看出,不同森林类型有效拦蓄率和最大拦蓄率排列一致,其大小排序都为毛竹林>杉木林>针阔混交林>阔叶林>马尾松林,经 Duncan 检验,杉木林、阔叶林、针阔混交林和马尾松林 4 种林型的有效拦蓄率和最大拦蓄率间均无显著性差异,毛竹林的则显著高于上述 4 种林型;而有效拦蓄量和最大拦蓄量均为针阔混交林最大,其值分别为 24.84 t/hm²,29.89 t/hm²,且 5 种森林类型有效拦蓄量和最大拦蓄量排列顺序相同,为针阔混交林>杉木林>阔叶林>马尾松林>毛竹林。

2.3 不同林分枯落物持水过程

2.3.1 不同林分枯落物持水量随时间的变化 浙江 5 种典型林分类型间的枯落物持水量与浸泡时间的变化有一定共性(图 1),持水量均随浸水时间变换而增大,并逐步趋于稳定,浸水前期持水量上升较快,6 h 后其持水量基本趋于饱和,随着时间增加,各林

分枯落物持水量未产生较大变化;不同林型持水量大小顺序为:毛竹林>杉木林>阔叶林>针阔混>马尾松林,经回归分析,枯落物持水量与浸水时间的关系与对数函数相契合,相关系数 R^2 均大于 0.828(表

3),得出其出水量与浸水时间存在如下关系:

$$y=a\ln(t)+b$$

式中: y 为枯落物持水量(g/kg); t 为浸水时间(h); a 为方程系数; b 为方程常数。

表 2 不同林分枯落物拦蓄能力

林分类型	蓄积量/ ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	自然 含水率/%	最大 持水率/%	最大 拦蓄率/%	有效 拦蓄率/%	最大持水量/ ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	最大拦蓄量/ ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	有效拦蓄量/ ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)
杉木林	18.73±2.31b	19.53±4.42a	152.21±5.61b	132.68±6.46b	109.85±5.87b	28.1±2.62a	24.27±1.83a	20.05±1.46a
毛竹林	10.14±1.13c	19.60±7.96a	219.64±13.26a	200.03±15.67a	167.09±13.99a	21.82±1.62b	20.07±2.17b	16.8±1.93b
阔叶林	20.44±0.80a	24.37±6.39a	140.59±2.27b	116.22±7.72b	95.13±7.49b	28.67±0.75a	23.54±0.90a	19.24±0.96a
针阔混交林	25.07±0.99a	14.65±3.95a	134.62±12.31b	119.98±13.07b	99.78±11.33b	33.64±3.11a	29.89±3.15a	24.84±2.72a
马尾松林	20.31±2.72a	14.28±4.54a	126.49±14.79b	112.21±10.89b	93.24±8.71b	25.49±4.72a	22.76±4.03a	18.94±3.33a

注:同列数据后不同小写字母表示林分间的差异显著($p<0.05$)。

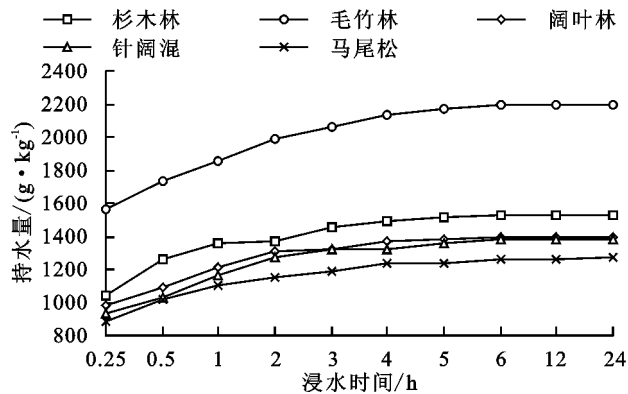


图 1 不同林分枯落物持水量的变化

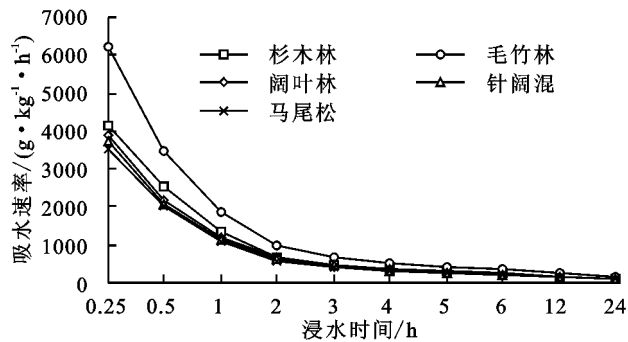


图 2 不同林分枯落物吸水速率变化

表 3 不同林分枯落物持水量、吸水速率与浸水时间回归方程

林分 类型	枯落物持水量与 浸水时间的关系		枯落物吸水速率与 浸水时间的关系	
	方程式	R^2	方程式	R^2
杉木林	$y=101.18\ln(t)+1303.8$	0.8283	$y=1281t^{-0.829}$	0.9918
毛竹林	$y=152.11\ln(t)+1853.4$	0.9024	$y=1823.7t^{-0.827}$	0.992
阔叶林	$y=95.58\ln(t)+1186.2$	0.8554	$y=1165.8t^{-0.827}$	0.9926
针阔混	$y=107.32\ln(t)+1145.3$	0.878	$y=1123.4t^{-0.815}$	0.9929
马尾松	$y=85.075\ln(t)+1075$	0.8819	$y=1057.3t^{-0.829}$	0.9918

2.3.2 不同林分枯落物吸水速率 由图 2 可知,浙江 5 种典型林分类型林下枯落物吸水速率随浸水时

间的变动趋向具有相似性,前 0.5 h 内吸水速率最快,1 h 之后吸水速率急剧下降,浸水时间继续增加,其枯落物持水量增加,但吸水速率下降速度显著减缓。在起始的 0.5 h 内不同林分枯落物吸水速率有较大不同,随时间推移,枯落物的吸水速率趋于一致,在浸水 4 h 后不同林分枯落物吸水速率曲线基本重叠。此外,5 种林分枯落物在浸入水中的初始吸水速率相差较大,毛竹林的最初吸水速率最大,其次是杉木林,但随着浸水时间的加大,5 中林分枯落物吸水速率之间差距逐渐减小。通过回归分析可知,枯落物吸水速率与浸水时间呈指数关系(表 3)。

2.4 不同林分类型土壤水文效应

从表 4 中可看出,不同森林类型土壤容重均值差异不大,介于 1.16~1.24 g/cm^3 ,表现为针阔混交林>马尾松林>杉木林>毛竹林>阔叶林;毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度范围分别为 37.59%~43.17%,10.61%~15.55%,53.14%~56.05%,各林型土壤容重均随土层厚度增加而增加,总孔隙度随土层厚度增加而减小,毛管孔隙度、非毛管孔隙度总体上随土层厚度而减小,少数林型有所波动;从土壤持水力均值来看,杉木林($296.63\text{ t}/\text{hm}^2$)>阔叶林($268.17\text{ t}/\text{hm}^2$)>针阔混交林($267.77\text{ t}/\text{hm}^2$)>毛竹林($240.43\text{ t}/\text{hm}^2$)>马尾松林($201.86\text{ t}/\text{hm}^2$)。

3 讨论

浙江省山脉多是西南—东北走向,西南部地区平均海拔 800 m 以上,东北部地区多为太湖流域及钱塘江下游地域的冲积平原,因此本文选取浙江西南部的江山市和东中部的天台县作为研究样地,通过野外调查,分别在两地选取浙江省 5 种典型林型(杉木林、毛竹林、阔叶林、针阔混交林、马尾松林)枯落物及林

下土壤作为研究对象,以此估算浙江省典型森林类型枯落物层和土壤的水文特性。

3.1 不同林分类型枯落物蓄积量

枯落物的输入量、分解速度受林分类型、植被成长、气候条件等要素影响,因此不同森林类型的枯落物蓄积量有所差异^[3]。本研究中浙江省不同森林类型间的蓄积量差异较大,表现为针阔混交林最大,毛竹林最小,且针阔混交林和毛竹林相差 147.24%,其中针阔混交林及阔叶林的蓄积量显著高于其余类

型,分别为 25.07 t/hm²,20.44 t/hm²,这与其他地区研究结果差异较大,比刘艳等^[5]所得辽宁省针阔混交林及阔叶林蓄积量分别高出约 79%,53%,经分析认为,由于浙江省降水较多,气候较适宜常绿阔叶林生长,所以该类型林木长势优良,郁闭度高,故其枯落物蓄积量也相对较大,且一般阔叶树种的冠幅大于针叶树种的冠幅,所以阔叶林凋落量相对高于针叶林,而毛竹林枯落物分解速率优于其余树种,从而导致蓄积量最小。

表 4 不同林分土壤物理性质及持水量

林分 类型	土层 厚度/cm	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	非毛管 孔隙度/%	毛管 孔隙度/%	总孔 隙度/%	土壤持水力/ (t·hm ⁻²)
杉木林	0—10	1.01	16.59	45.15	61.74	165.90
	10—30	1.30	13.61	37.49	51.10	272.20
	30—60	1.34	15.06	34.35	49.41	451.80
	均值	1.22	15.09	39.00	54.08	296.63
毛竹林	0—10	1.09	16.36	42.45	58.81	163.60
	10—30	1.23	12.95	40.73	53.68	258.90
	30—60	1.28	9.96	41.89	51.85	298.80
	均值	1.20	13.09	41.69	54.78	240.43
阔叶林	0—10	0.89	12.70	53.67	66.37	127.00
	10—30	1.20	11.89	42.90	54.80	237.87
	30—60	1.41	14.66	32.32	46.97	439.65
	均值	1.16	13.08	42.96	56.05	268.17
针阔混交林	0—10	1.06	22.61	37.30	59.92	226.12
	10—30	1.27	14.43	37.55	51.97	288.50
	30—60	1.39	9.62	37.91	47.53	288.70
	均值	1.24	15.55	37.59	53.14	267.77
马尾松林	0—10	1.08	11.24	48.14	59.39	112.42
	10—30	1.23	12.45	41.20	53.64	248.90
	30—60	1.37	8.14	40.17	48.31	244.25
	均值	1.23	10.61	43.17	53.78	201.86

3.2 不同林分枯落物水文效应

枯落物的持水量是枯落物层水文性能反馈的一个重要指标,它与枯落物组成、蓄积量、类型、及分解状况等密切相关^[9]。在枯落物持水能力的试验中,不同林分类型枯落物的持水量和持水速率变换过程均与前人研究结果一致^[8,10],所以该结果能较好的反映 5 种森林类型枯落物的持水过程,即不同林分持水量均随浸水时间而增加逐布趋于稳定,吸水速率在初期最大并随浸水时间增加趋于一致,直到饱和。

本研究中,不同森林类型最大持水率、最大拦蓄率及有效拦蓄率均表现为毛竹林最大,马尾松林最小,由结果可知,马尾松林最大持水率、最大拦蓄率及

有效拦蓄率都只有毛竹林的 2/5 左右;林地持水性能的强弱通常用最大持水量来表示,5 种林型最大持水量范围为 21.82~33.64 t/hm²,但采用浸泡法只能反映理想状态的持水量,与自然降雨过程仍有差异,所以最大持水量并不能反映枯落物对真实降雨的拦蓄能力,研究者往往用有效拦蓄量来表示^[11],不同林型有效拦蓄量介于 16.8~24.84 t/hm² 之间,针阔混交林的有效拦蓄量最大,毛竹林最小。比较结果发现,毛竹林的最大持水率和有效拦蓄率都表现为最大,但其最大持水量和有效蓄拦量则显著低于其余林分,这主要是因为枯落物的蓄积量会影响最大持水量和有效拦蓄量,这与王谦等^[12]研究结果相似,而本研

究中,毛竹林林下枯落物的蓄积量最小,从而致使两组指标结果并不完全相同。综合来看,阔叶林及含阔叶树种的林分持水能力相对高于针叶林,这与胡静霞等^[13]研究结果相似,这是由于枯落物持水能力与本身结构有关,且分解程度越高,枯落物持水能力也越大,而阔叶与针叶树种枯落物分解能力有差异,阔叶枯落物分解程度较高于针叶枯落物,因此阔叶树种枯落物持水能力相对较强。

3.3 不同林分类型土壤水文效应

土壤的通气性和透水性由土壤容重表示,而土壤毛管孔隙度为植物吸收水分并供其正常生理活动做出贡献,土壤容重和孔隙度是决定森林土壤水源涵养功能的重要指标^[14]。研究结果表明,不同森林类型土壤容重均值都约为 1.20 g/cm^3 ,总孔隙度范围均约为55%,其中阔叶林林下土壤容重相对最小,总孔隙度最大,这表明阔叶林林下土壤更为疏松,保持水土能力更强;非毛管孔隙越大,表明土壤对降雨吸收快,下渗能力更强^[6],本研究中针阔混交林的非毛管孔隙度最大,表明其林下土壤对拦蓄雨水能力较强;综合比较发现,阔叶林以及针阔混交林林下土壤的持水能力相对较强,这与钟梁等^[15]以及胡静霞等^[13]结果相似。

4 结论

(1) 浙江省5种森林枯落物蓄积量介于 $10.14\sim 25.07\text{ t/hm}^2$,其中针阔混交林最大,毛竹林最小。各林型最大持水量范围为 $21.82\sim 33.64\text{ t/hm}^2$,有效拦蓄量范围为 $16.8\sim 24.84\text{ t/hm}^2$,总体上均为阔叶林以及针阔混交林大于针叶林。

(2) 枯落物持水过程中,5种林型枯落物持水量与浸水时间呈正相关,其拟合方程为对数函数,阔叶林持水量整体上大于针叶林;各林型枯落物在前0.5 h内吸水速率最快,吸水速率最大的为毛竹林,总体上阔叶林大于针叶林。

(3) 各林分土壤容重均随土层厚度增加而增加,总孔隙度随土层厚度增加而减小,土壤总孔隙度总体表现为阔叶林大于针叶林;非毛管孔隙度均值最大的是针阔混交林(15.55%),毛管孔隙度均值最大的为马尾松(43.17%)。综合比较,阔叶林及针阔混交林

林下土壤的持水能力强于针叶林。

参考文献:

- [1] 曹恒. 青海高寒区不同人工林地土壤和枯落物的水文功能研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.
- [2] 景贵阳. 陇东黄土高原人工刺槐林枯落物层和土壤层生态水文功能研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2017.
- [3] 刘斌,鲁绍伟,李少宁,等. 北京西山6种天然纯林枯落物及土壤水文效应[J]. 水土保持学报,2015,49(4):73-78.
- [4] 吴四平. 三峡山地不同类型林地的生态水文功能研究[D]. 武汉:华中师范大学,2017.
- [5] 刘艳,孙向阳,范俊岗,等. 辽宁省森林枯落物现存量及其持水性能[J]. 应用基础与工程科学学报,2017,25(4):689-699.
- [6] 张甜,董希斌,唐国华,等. 大兴安岭不同类型低质林土壤和枯落物的水文性能[J]. 东北林业大学学报,2017,45(10):1-5.
- [7] 夏玲瑶,刘美华,叶晨,等. 浙江省典型森林群落对大气环境的改善效应[J]. 江西农业大学学报,2017,39(2):357-365.
- [8] 齐瑞,杨永红,陈宁,等. 白龙江上游5种典型灌木林枯落物蓄积量及持水特性[J]. 水土保持学报,2016,30(6):123-127.
- [9] 叶晶,吴家森,张金池,等. 不同经营年限山核桃林地枯落物和土壤的水文效应[J]. 水土保持通报,2014,34(3):87-91.
- [10] 于晓文,宋小帅,康峰峰,等. 辽河源典型森林群落下枯落物的水文特性[J]. 水土保持通报,2014,34(4):65-69.
- [11] 胡晓聪,黄乾亮,金亮. 西双版纳热带山地雨林枯落物及其土壤水文功能[J]. 应用生态学报,2017,28(1):55-63.
- [12] 王谦,孙保平,丁国栋,等. 陕西榆林樟子松人工林土壤及枯落物水文效应[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2015,43(8):123-132.
- [13] 胡静霞,杨新兵,朱辰光,等. 冀西北地区4种纯林枯落物及土壤水文效应[J]. 水土保持研究,2017,24(4):304-310.
- [14] 许景伟,李传荣,夏江宝,等. 黄河三角洲滩地不同林分类型的土壤水文特性[J]. 水土保持学报,2009,23(1):173-176.
- [15] 钟梁,高友英,孙浩,等. 抚河上游生态公益林4种森林类型枯落物层和土壤层水文效应[J]. 南方林业科学,2017,45(6):5-8.