

浙江省天台县不同森林类型枯落物及土壤水文特性

邹奕巧¹, 孙欧文², 刘海英³, 蔡人岳¹, 林松³, 葛宏立², 吴家森²

(1. 天台县林业特产局, 浙江 天台 317200; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省公益林和国有林场管理总站, 浙江 杭州 310020)

摘要: [目的] 掌握浙江省天台县不同森林枯落物和土壤的持水能力, 为该区域今后在森林水源涵养等方面提供科学依据。[方法] 采用野外调查和室内浸泡法, 对天台县8种森林类型(毛竹林、阔叶混交林、针阔混交林、针叶混交林、马尾松林、杉木林、黑松林、木荷林)枯落物及林下土壤持水性进行了研究。[结果] 8种森林类型的枯落物蓄积量在 8.05~23.84 t/hm² 之间; 最大持水量变化范围为 14.59~35.15 t/hm², 其大小排序为: 木荷林>针阔混交林>阔叶混交林>马尾松林>杉木林>黑松林>毛竹林>针叶混交林; 8种森林类型林下枯落物持水量与浸泡时间之间变化规律基本一致, 持水量与浸泡时间呈对数函数关系, 不同森林类型林下枯落物吸水速率与浸泡时间呈幂函数关系; 各森林类型土壤容重介于 0.83~1.21 g/cm³, 土壤持水力变化范围为 200.74~575.70 t/hm², 其大小依次为: 黑松林>针阔混交林>木荷林>杉木林>毛竹林>马尾松林>阔叶混交林>针叶混交林。[结论] 阔叶林以及含有阔叶树种的森林类型枯落物以及林下土壤持水能力均较强, 其中土壤持水能力最强的为黑松林。

关键词: 浙江省天台县; 枯落物; 森林土壤; 持水特性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)03-0170-05

中图分类号: S715

文献参数: 邹奕巧, 孙欧文, 刘海英, 等. 浙江省天台县不同森林类型枯落物及土壤水文特性[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3): 170-174. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.03.024; Zou Yiqiao, Sun Ouwen, Liu Haiying, et al. Hydrological characteristics of litters and soils of different forest types in Tiantai County of Zhejiang Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(3): 170-174.

Hydrological Characteristics of Litters and Soils of Different Forest Types in Tiantai County of Zhejiang Province

Zou Yiqiao¹, Sun Ouwen², Liu Haiying³, Cai Renyue¹, Lin Song³, Ge Hongli², Wu Jiasen²

(1. Tiantai Forestry Bureau of Special Products, Tiantai, Zhejiang 317200, China; 2. School of

Environmental & Resource Sciences, Zhejiang Agricultural & Forestry University, Lin'an, Zhejiang 311300, China;

3. Zhejiang Ecological Service Forest and State Forest Farm Management Terminus, Hangzhou, Zhejiang 310020, China)

Abstract: [Objective] The water-holding capacity of litter and soil in Tiantai County, Zhejiang Province were investigate to provide a scientific basis for forest water conservation in the region. [Methods] The undergrowth litters and water-holding capacity of soil of eight forest types (*Phyllostachys edulis* forest, broad-leaved mixed forest, mixed broadleaf-conifer forest, coniferous mixed forest, *Pinus massoniana* forest, *Cunninghamia lanceolata* forest, *Pinus thunbergii* forest, and *Schima superba* forest) in Tiantai County were studied through field investigation and indoor soaking method. [Results] The litter volumes of the eight forest types were 8.05~23.84 t/hm². The maximum capacity range was 14.59~35.15 t/hm² (*S. superba* forest > mixed broadleaf-conifer forest > broad-leaved mixed forest > *P. massoniana* forest > *C. lanceolata* forest > *P. thunbergii* forest > *P. edulis* forest > coniferous mixed forest). Moreover, the litters had basically similar change laws of the water-holding capacity with soaking time. The water-holding capacity and soaking

收稿日期: 2018-04-04

修回日期: 2020-02-09

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); 浙江省水利厅科技项目“浙江省红壤区水土流失关键环境指标监测研究”(RB1916)

第一作者: 邹奕巧(1987—), 男(汉族), 浙江省温岭市人, 硕士, 工程师, 主要从事林业技术推广工作。Email: 493403212@qq.com。

通讯作者: 吴家森(1972—), 男(汉族), 浙江省庆元县人, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事森林土壤与环境研究。Email: jswu@zafu.edu.cn。

time showed a logarithmic function relation, whereas the water absorption rate and the soaking time had a power function relation. The soil bulk densities in the different types of forest were 0.83~1.21 g/cm³. The range of water-holding capacity of soil was 200.74~575.70 t/hm² (*P. thunbergii* forest > mixed broadleaf-conifer forest > *S. superba* forest > *C. lanceolata* forest > *P. edulis* forest > *P. massoniana* forest > broad-leaved mixed forest > coniferous mixed forest). [Conclusion] The broad-leaved forest and the forest-type litter with broad-leaved tree species, as well as the soil under the forest, had strong water-holding capacity, and the maximum water-holding capacity of soil was that of the *P. thunbergii* forest.

Keywords: Tiantai County of Zhejiang Province; litters; forest soil; water-holding capacity

森林生态系统的水文性能是森林重要功能之一,水文调节过程可分为 5 种水文效应:林冠截留、树干流、凋落物、土壤和林地蒸腾蒸发^[1]。其中枯落物层可以缓冲雨滴产生的动能,具有良好的吸水能力,由于其透气结构,可有效地调节地表径流和减少土壤侵蚀的作用^[2-3]。土壤层是森林主要的水存储载体,其存储水和渗透水能力反映了森林水土保持能力,森林枯落物层和土壤层的水文功能是森林水文循环过程的基础和前提^[4-5],目前,许多学者对不同森林型的枯落物和土壤的水文特征进行了研究,在土壤保持能力和枯落物渗透能力等方面取得一定研究成果^[6],而对浙江省天台县不同森林枯落物持水性能还未见报道。本文针对天台县山地丘陵区不同植被类型的枯落物蓄积量、持水性能、土壤物理性质及持水性能进行研究分析,以期为该区域今后在森林水源涵养等方面提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区天台县,位于浙江省东中部,台州市北部,

地处北纬 28°57'02"—29°20'39"之间、东经 120°41'24"—121°15'46"之间,属于亚热带季风气候,四季分明、降水丰富,年平均气温 17.0℃,年平均降水量为 1 411.7 mm,年平均日照总时数 1 756.3 h。天台的地貌以低山、丘陵为主,占全县总面积的 81%,主要土壤类型有红壤、黄壤、岩性土、潮土及水稻土 5 种。

1.2 采集方法

根据天台县森林植被、土壤的分布特性,在查阅森林资源档案的基础上,于 2017 年 10 月在浙江省天台县选取典型地段长势良好的毛竹 *Phyllostachys edulis* 林、阔叶混交林、针阔混交林、针叶混交林、马尾松 *Pinus massoniana* 林、杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林、黑松 *Pinus thunbergii* 林、木荷 *Schima superba* 林这 8 种不同森林类型作为研究对象,在不同森林类型内布设 30 m×30 m 的标准样地,对其林木的胸径、树高、郁闭度等指标进行测量,并在标准样地内布设 5 个 1 m×1 m 样方,采集枯落物装入密封袋,并采集样地内表层(0—30 cm)土壤容重样。乔木层郁闭度和植被总盖度采用“一步一抬头法”测定冠幅投影面积占总面积的比例。样地基本情况见表 1。

表 1 样地基本特征

森林类型	样地数/个	海拔高度/m	林龄/年	平均胸径/cm	平均高度/m	郁闭度	植被总盖度/%
毛竹	2	430	4	10.0	12.3	0.66	78
阔叶混交林	6	413	26	10.5	7.7	0.62	90
针阔混交林	5	493	19	9.6	7.3	0.75	94
针叶混交林	2	545	18	15.3	7.5	0.55	85
马尾松林	4	310	22	11.2	6.8	0.52	83
杉木	1	465	21	10	6.7	0.68	90
黑松	1	860	21	19.3	9.8	0.42	95
木荷	1	630	28	12.5	7.3	0.76	90

1.3 测定方法

1.3.1 枯落物蓄积量及持水能力测定 枯落物蓄积量采用烘干法测定,将带回实验室的枯落物样品,置于实验室干燥通风处自然风干然后称其干重,并以此推算出单位面积枯落物的蓄积量^[7]。

持水能力采用室内浸泡法测定,将天台县 8 种不

同类型枯落物放入水中浸没,分别测定 0.25,0.5,1,2,3,4,5,6,12,24 h 的重量变化(以无水滴下为标准),据此计算最大持水量、最大持水率、有效拦蓄量等^[8]。

1.3.2 土壤物理性状和持水量测定 将采集的土样带回实验室风干,过 2 mm 筛后待用。用环刀法测定

土壤容重、非毛管孔隙度、毛管孔隙度等^[6]。

1.4 数据分析

用 Microsoft Excel 2013 对数据进行整理,利用 SPSS 19.0 对试验数据进行方差分析、Duncan 法多重比较、回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同森林类型枯落物的水文特性

2.1.1 不同森林类型枯落物蓄积量 由表 2 可知,8

种森林类型的枯落物蓄积量在 8.05~23.84 t/hm² 之间,其大小排序为:木荷林>针阔混交林>黑松林>马尾松林>阔叶混交林>杉木林>毛竹林>针叶混交林,经 Duncan 检验,不同森林类型枯落物蓄积量存在显著差异,其中木荷林蓄积量显著大于其他 7 种类型,而毛竹林、针叶混交林蓄积量显著小于其他类型,且二者蓄积量分别比木荷林小 64.97%,66.23%。除此之外其余 5 种森林类型枯落物蓄积量均无显著差异。

表 2 浙江省天台县不同森林类型枯落物拦蓄能力

森林类型	蓄积量/ (t·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/ (t·hm ⁻²)	最大拦蓄量/ (t·hm ⁻²)	有效拦蓄量/ (t·hm ⁻²)
毛竹林	8.35±0.70 ^b	16.69±2.80 ^b	251.81±2.15 ^a	235.12±0.65 ^a	197.35±0.97 ^a	21.00±1.57 ^{ab}	19.63±1.69 ^a	16.48±1.46 ^a
阔叶混交林	15.61±2.47 ^{ab}	17.69±4.29 ^b	171.43±10.89 ^{bc}	153.74±11.64 ^{bcd}	128.02±10.14 ^{bc}	25.51±3.80 ^{ab}	22.82±3.59 ^a	18.99±3.04 ^a
针阔混交林	17.58±2.97 ^{ab}	29.57±7.22 ^{ab}	158.58±16.55 ^{bc}	129.01±12.53 ^{bcd}	105.22±10.31 ^{bcd}	25.70±3.73 ^{ab}	21.36±3.44 ^a	17.50±2.89 ^a
针叶混交林	8.05±4.70 ^b	27.07±12.07 ^{ab}	199.68±31.48 ^{ab}	172.62±19.42 ^b	142.67±14.70 ^b	14.59±6.85 ^b	12.98±6.55 ^a	10.79±5.52 ^a
马尾松	16.25±5.18 ^{ab}	23.21±3.38 ^{ab}	135.44±12.17 ^c	112.23±13.27 ^{cd}	91.92±11.51 ^{cd}	23.08±7.84 ^{ab}	19.77±7.02 ^a	16.31±5.84 ^a
杉木林	13.41±2.85 ^{ab}	18.23±4.45 ^b	182.48±5.74 ^{bc}	165.27±3.07 ^{bc}	131.02±4.24 ^{bc}	22.20±5.06 ^{ab}	20.04±5.10 ^a	17.05±4.18 ^a
黑松林	16.59±5.57 ^{ab}	27.00±17.58 ^{ab}	142.22±20.88 ^{bc}	115.22±5.64 ^{cd}	93.89±4.22 ^{cd}	22.08±6.94 ^{ab}	19.19±6.91 ^a	15.88±5.88 ^a
木荷林	23.84±4.19 ^a	49.64±4.53 ^a	153.48±21.12 ^{bc}	103.84±24.08 ^d	80.82±20.95 ^d	35.15±2.91 ^a	22.96±2.17 ^a	17.69±2.14 ^a

2.1.2 不同森林类型枯落物持水与拦蓄能力 由表 2 可知,不同森林类型的自然含水率依次表现为木荷林(49.64%)>针阔混交林(29.57%)>针叶混交林(27.07%)>黑松林(27.00%)>马尾松林(23.21%)>阔叶混交林(17.69%)>杉木林(18.23%)>毛竹林(16.69%),其中木荷林枯落物的自然含水率显著高于其余类型。8 种森林类型枯落物最大持水率、最大拦蓄率和有效拦蓄率范围分别为 135.44%~251.81%,103.84%~235.12%,80.82%~197.35%,3 项指标中不同森林类型大小排序的前 5 种类型相同,即均为:毛竹林>针叶混交林>杉木林>阔叶混交林>针阔混交林;不同森林类型枯落物最大持水量介于 14.59~35.15 t/hm² 之间,表现为木荷林最大、针叶混交林最小;不同林型枯落物最大拦蓄量和有效拦蓄量分别介于 12.98~22.96 t/hm² 和 10.79~18.99 t/hm² 之间,且 8 种森林类型枯落物最大拦蓄量和有效拦蓄量之间无显著差异。

2.2 不同森林类型枯落物的持水动态

2.2.1 枯落物持水量动态过程 由图 1 可以看出,8 种森林类型林下枯落物持水量与浸泡时间之间变化规律基本一致。浸泡初期 0.5 h 内持水量迅速增加,随着浸泡时间的增加,持水量增速变缓,当浸泡时间到达 6 h 左右时,各森林类型枯落物持水量基本达到其最大值,6 h 以后随着浸泡时间增加,持水量增加十分缓慢,基本不变。对比相同浸泡时间下不同类型枯

落物持水量发现,无论浸泡初期还是后期均表现为毛竹林最大,马尾松林和木荷林最小。将不同林型枯落物持水量与浸泡时间进行回归分析拟合,相关系数均在 $R^2=0.89$ 以上,说明林下枯落物的持水量与浸泡时间具有极好的相关性,并且呈对数函数关系(见表 3)。

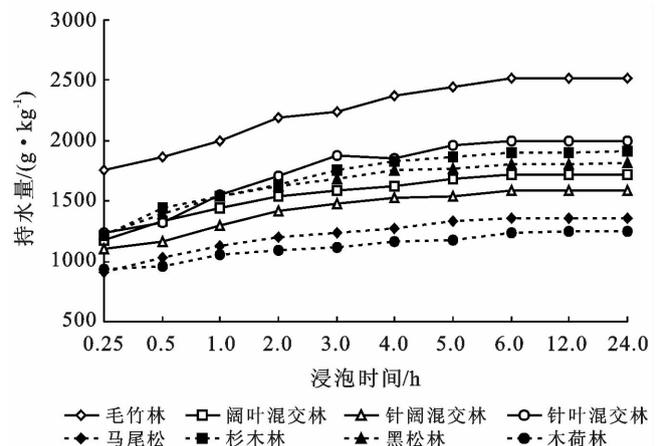


图 1 浙江省天台县不同森林类型枯落物持水量变化特征

2.2.2 枯落物吸水速率动态过程 由图 2 可以看出,8 种森林类型枯落物持水速率变化规律具有一致性。在前期 0.5 h 内,8 种类型枯落物吸水较快,且 0.25 h 的吸水速率最大;浸泡时间 2 h 内,吸水速率下降明显但仍相对较高,随着浸泡时间的延长,其吸水速率逐步变缓,在浸泡 12 h 左右吸水速率逐渐趋向

0,这是因为此时枯落物的持水量基本饱和,故吸水速率不再发生较大变化。对不同类型枯落物吸水速率与浸泡时间进行拟合,相关系数 R^2 均在 0.99 以上,

其拟合方程为: $y = a t^b$ 。式中: y 为枯落物吸水速率 $[g/(kg \cdot h)]$; t 为浸水时间(h); a 为方程系数; b 为指数。

表 3 浙江省天台县不同森林类型枯落物持水量、吸水速率与浸泡时间回归方程

森林类型	枯落物持水量与浸泡时间的关系		枯落物吸水速率与浸泡时间的关系	
	方程式	R^2	方程式	R^2
毛竹林	$y = 194.51 \ln t + 2045.4$	0.929 1	$y = 2030.7 t^{-0.91}$	0.999 2
阔叶混交林	$y = 125.16 \ln t + 1427.3$	0.908 8	$y = 1415.8 t^{-0.915}$	0.998 9
针阔混交林	$y = 122.06 \ln t + 1306.3$	0.908 6	$y = 1295.2 t^{-0.91}$	0.998 9
针叶混交林	$y = 194.79 \ln t + 1551.7$	0.899 5	$y = 1527.8 t^{-0.88}$	0.997 6
马尾松	$y = 104.35 \ln t + 1112.2$	0.915 0	$y = 1102.6 t^{-0.91}$	0.998 9
杉木林	$y = 160.95 \ln t + 1536.0$	0.904 1	$y = 1518.7 t^{-0.899}$	0.998 3
黑松林	$y = 134.2 \ln t + 1506.9$	0.895 8	$y = 1493.6 t^{-0.913}$	0.998 7
木荷林	$y = 78.013 \ln t + 1043.8$	0.936 8	$y = 1039.5 t^{-0.929}$	0.999 6

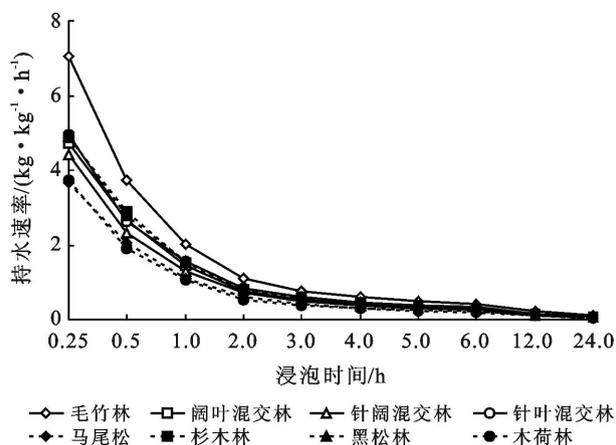


图 2 浙江省天台县不同森林类型枯落物吸水速率变化特征

2.3 不同森林类型土壤的物理性质及持水量

由表 4 可知天台县 8 种森林类型土壤容重介于 $0.83 \sim 1.21 g/cm^3$ 之间,除黑松林土壤容重显著小于其余类型土壤容重外,其他 7 种森林类型土壤容重无显著差异,各森林类型的毛管孔隙度、非毛管孔隙度差异均不显著,而土壤总孔隙度表现为黑松林最大,且显著大于其余森林类型,其余森林类型之间则无显著性差异。

不同森林类型土壤持水力变化范围为 $200.74 \sim 575.70 t/hm^2$,其中黑松林土壤持水力显著大于其余类型,针叶混交林土壤持水力最小,另 6 种森林类型具体表现为:针阔混交林 > 木荷林 > 杉木林 > 毛竹林 > 马尾松林 > 阔叶混交林。

表 4 浙江省天台县不同森林类型土壤物理性质及持水量

森林类型	土壤容重/ ($g \cdot cm^{-3}$)	毛管孔隙度/ %	非毛管孔隙度/ %	土壤总孔隙度/ %	土壤持水力/ ($t \cdot hm^{-2}$)
毛竹林	1.16 ± 0.11^a	41.59 ± 5.20^a	14.65 ± 0.99^a	56.24 ± 4.22^b	439.58 ± 29.55^{ab}
阔叶混交林	1.17 ± 0.04^a	44.35 ± 1.66^a	11.55 ± 1.79^a	55.90 ± 1.68^b	346.41 ± 36.77^{bc}
针阔混交林	1.12 ± 0.06^a	39.92 ± 5.22^a	17.77 ± 3.76^a	57.68 ± 2.09^b	532.99 ± 50.58^{ab}
针叶混交林	1.21 ± 0.03^a	47.51 ± 4.88^a	6.69 ± 3.88^a	54.20 ± 1.00^b	200.74 ± 16.44^c
马尾松	1.14 ± 0.02^a	44.42 ± 1.68^a	12.74 ± 1.61^a	57.16 ± 0.89^b	382.24 ± 48.42^{abc}
杉木林	1.15 ± 0.14^a	41.32 ± 3.83^a	15.10 ± 1.49^a	56.42 ± 5.32^b	453.00 ± 44.70^{ab}
黑松林	0.83 ± 0.02^b	49.38 ± 2.34^a	19.19 ± 3.00^a	68.57 ± 0.65^a	575.7 ± 89.85^a
木荷林	1.02 ± 0.04^{ab}	44.17 ± 0.47^a	17.16 ± 2.09^a	61.32 ± 1.62^{ab}	514.65 ± 62.70^{ab}

3 讨论

天台县地貌主要以低山、丘陵为主,两种地形总面积占全县总面积的 81%,本研究通过对天台县各乡镇林场、山地等调查,选取代表性的 8 种森林类型对其枯落物及林下土壤持水性进行分析,8 种森林类型分别为:毛竹林、阔叶混交林、针阔混交林、针叶混交林、马尾松林、杉木林、黑松林和木荷林。

3.1 不同森林类型枯落物的水文特性

枯落物的累积量受枯落物的数量、积累周期和分

解速度的影响,而林木的组成、不同的水热条件等对枯落物蓄积量也影响较大^[9]。本研究中,8 种森林类型枯落物蓄积量表现为木荷林最大、针叶混交林最小,其中木荷林蓄积量为针叶混交林的 296.15%,这主要是因为木荷叶片为厚革质,叶片质量较大,其凋落物的分解速率相对比较缓慢,所以致使木荷林具有相对较大凋落物量,这一现象与殷沙等^[10]研究结果相似。

本研究中,不同类型枯落物最大持水率和最大拦蓄率都表现为毛竹林最大,但最大持水率和最大拦蓄率一般只反映了枯落物蓄水能力大小,不能反映其对

实际降雨的截持作用,因此在实际应用中,以有效拦蓄量对枯落物拦截实际降雨量进行估计^[11]。本研究中,有效拦蓄量表现为阔叶混交林最大、针叶混交林最小,且两者相差 76.0%,这与最大持水率等变化规律有所不同,这是由于枯落物有效拦蓄量还受到枯落物单位面积的蓄积量影响,即蓄积量大的森林其持水量也相对较大,这与魏雅丽等^[12]研究结果相似。综合研究结果表明,阔叶林及含有阔叶树种林分其枯落物持水量相对于针叶树种的更强。

利用枯落物层吸水能力和吸水率可模拟森林枯落物对雨水的吸收过程,以此了解不同类型林木的蓄水变化动态^[13]。研究结果表明,8种森林类型林下枯落物持水量与浸泡时间之间变化规律基本一致,两者呈对数函数关系,而不同类型枯落物吸水速率与浸泡时间呈幂函数关系,本研究中关于枯落物持水动态变化结果与许多学者研究结果相似^[14-16]。

3.2 不同森林类型林下土壤水文特性

森林水文性能重要参数之一是土壤储存水分能力,而土壤层的水分贮存主要通过土壤的物理性质和持水力特性表现^[17]。本研究中,林下土壤容重均约为 1.1 g/cm³,总孔隙度范围为 54.20%~68.57%,其中黑松林林下土壤容重相对最小,且总空隙度最大,这表明黑松林林下土壤相对最疏松,土壤含蓄水源能力最强;各森林类型的毛管孔隙度和非毛管孔隙度之间差异不显著。综合比较发现,黑松林林下土壤持水能力最强,这与许多学者阔叶林土壤持水能力要强于针叶林的研究结果有所不同^[18-19],这可能是由于本研究中黑松林样本选自华顶林场万年林区,该区域树木林龄相对成熟,林龄越大,其枯落物累积量越大,导致浅层土壤越疏松,土壤透水、保水能力就相对更强。

4 结论

天台县 8 种森林类型枯落物中以木荷林和针阔混交林的蓄积量最大,最大拦蓄量和有效拦蓄量则为阔叶林和木荷林最大;8 种森林类型枯落物持水量与浸泡时间之间均呈正相关,变化趋势一致,且相同时间下持水量与持水速率表现为毛竹林最大;阔叶林以及含有阔叶树种的森林类型其枯落物持水力优于针叶林。黑松林土壤总孔隙度和土壤持水力均为最大,其土壤持水能力最强。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 杨振奇,秦富仓,李晓琴,等. 砒砂岩区主要造林树种枯落物及林下土壤持水特性[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3):118-122.
- [3] 赵勇. 不同间伐强度下秦岭三种类型森林枯落物持水性能研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学, 2015.
- [4] 丁绍兰,杨乔媚,赵申申,等. 黄土丘陵区不同林分类型枯落物层及其林下土壤持水能力研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5):104-108.
- [5] 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.
- [6] 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, 29(4):73-78,137.
- [7] 石亮,舒洋,张波,等. 不同龄组兴安落叶松林枯落物的水文效应[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5):91-95.
- [8] 龚固堂,陈俊华,黎燕琼,等. 四川盆地四种柏木林分类类型的水文效应[J]. 生态学报, 2011, 31(10):2716-2726.
- [9] 敖特根其木格,秦富仓,周佳宁,等. 内蒙古自治区多伦县不同林地枯落物持水性能研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4):114-118.
- [10] 殷沙,赵芳,欧阳勋志. 马尾松木荷不同比例混交林枯落物和土壤持水性能比较分析[J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(3):454-460.
- [11] 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):203-208,246.
- [12] 魏雅丽,贺玉晓,金杰,等. 元谋干热河谷典型植被枯落物持水能力研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(3):181-186.
- [13] 韩路,王海珍,吕瑞恒,等. 塔里木河上游不同森林类型枯落物的持水特性[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1):96-101.
- [14] 肖石红,何东进,朱乃新,等. 天宝岩不同类型长苞铁杉林枯落物持水特性[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2016, 45(4):398-404.
- [15] 苗胜杰,曾雯,古丽娜尔,等. 雾灵山三种典型林分枯落物及其土壤水文效应研究[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2016, 37(6):54-58.
- [16] 谈正鑫,万福绪,张涛. 盱眙人工林枯落物及土壤水文效应研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4):184-188.
- [17] 张祎,李鹏,刘晓君,等. 黄土丘陵区不同植被类型枯落物持水效能研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5):100-105.
- [18] 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.
- [19] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等. 北京松山 5 种天然纯林枯落物及土壤水文效应研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2013, 34(3):65-70.
- [1] 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,