

滨海沙地不同人工林凋落物现存量及其持水特性

孟庆权^{1,2}, 葛露露^{1,2}, 杨馨邈^{1,2}, 王俊^{1,2}, 林宇³, 何宗明^{1,2}

(1. 福建农林大学林学院, 福州 350002; 2. 国家林业局杉木工程技术研究中心, 福州 350002; 3. 福建省长乐大鹤国有防护林场, 福州 350212)

摘要: 为了研究滨海沙地沿海防护林凋落物水源涵养功能, 采用野外调查和室内浸泡相结合, 对滨海沙地4种典型人工林(木麻黄林、湿地松林、尾巨桉林和纹荚相思林)不同分解阶段的凋落物现存量、持水率、持水量和吸水速率进行研究。结果表明: 相同林龄的4种人工林凋落物现存量表现为木麻黄林(19.12 t/hm²) > 湿地松林(17.51 t/hm²) > 尾巨桉林(10.90 t/hm²) > 纹荚相思林(10.13 t/hm²), 半分解层凋落物储量占比高于未分解层; 4种人工林最大持水率在140.55%~206.47%, 为尾巨桉林 > 纹荚相思林 > 木麻黄林 > 湿地松林, 最大持水量在20.75~30.85 t/hm², 为木麻黄林 > 湿地松林 > 尾巨桉林 > 纹荚相思林, 4种人工林凋落物最大持水率和最大持水量均为半分解层大于未分解层, 不同分解阶段凋落物持水率和持水量与浸水时间呈对数关系; 4种人工林不同分解阶段凋落物平均吸水速率在前0.25 h内差异较大, 未分解层中尾巨桉林最大为2.05 mm/h, 半分解层中湿地松林最大为4.32 mm/h, 不同分解阶段凋落物吸水速率与浸水时间均存在幂函数关系; 凋落物有效拦蓄深为木麻黄林(2.45 mm) > 湿地松林(2.04 mm) > 尾巨桉林(1.87 mm) > 纹荚相思林(1.72 mm)。综合来看, 木麻黄林凋落物的持水能力最强, 湿地松林次之, 之后是尾巨桉林和纹荚相思林, 说明从凋落物水源涵养能力来看, 木麻黄林和湿地松林更利于滨海沙地的水源涵养。

关键词: 滨海沙地; 人工林; 凋落物; 持水特性

中图分类号: S715.7

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)03-0146-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.03.022

Water-holding Capacity and Accumulation Amount of Litters in Different Plantations in Coastal Sandy Area

MENG Qingquan^{1,2}, GE Lulu^{1,2}, YANG Xinmiao^{1,2}, WANG Jun^{1,2}, LIN Yu³, HE Zongming^{1,2}

(1. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002;

2. Engineering Research Center of Chinese Fir, State Forestry Administration, Fuzhou 350002;

3. Fujian Changle Dahe State-owned Protection Forest Farm, Fuzhou 350212)

Abstract: In order to study the water conservation capacity of the litter in coastal shelterbelt forest on coastal sandy land, the litter accumulation amount, water-holding rate, water-holding capacity and water-absorption rate of different decomposition stages were investigated in four typical plantations with same age (*Casuarina equisetifolia* forest, *Pinus elliottii* forest, *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* forest and *Acacia culacocarpa* forest) of coastal sandy area by the methods of field survey and laboratory soaking extraction. The results showed that the litter accumulation amount of the four plantations decreased in the order of *C. equisetifolia* forest (19.12 t/hm²) > *P. elliottii* forest (17.51 t/hm²) > *E. urophylla* × *E. grandis* forest (10.90 t/hm²) > *A. culacocarpa* forest (10.13 t/hm²), and the percentage of litter accumulation amount in semi-decomposed layer was higher than that in un-decomposed litter. The maximum water-holding rate of the four plantations was 140.55% ~ 206.47%, which followed the order of *E. urophylla* × *E. grandis* forest > *A. culacocarpa* forest > *C. equisetifolia* forest > *P. elliottii* forest. The maximum water-holding capacity was 20.75 ~ 30.85 t/hm², which was sorted as *C. equisetifolia* forest > *P. elliottii* forest > *E. urophylla* × *E. grandis* forest > *A. culacocarpa* forest. The maximum water-holding rate and maximum water-holding capacity of litter in the four plantations were both greater in semi-decomposed litter layer than those in un-decomposed litter layer, and the water-holding rate and water-holding capacity of litter

收稿日期: 2019-01-07

资助项目: 国家自然科学基金项目(31570604, 41371269); 福建省林业科技项目(闽林科[2014]2号); 福建农林大学林学院林学高峰学科项目

第一作者: 孟庆权(1995-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事水土保持和沿海防护林研究。E-mail: 1347225209@qq.com

通信作者: 何宗明(1965-), 男, 博士, 研究员, 主要从事森林培育与水土保持研究。E-mail: hezm2@126.com

also changed logarithmically with immersing time at different decomposition stages. The average water-absorption rate at different decomposition stages varied greatly in the first 0.25 hours among the four plantations, in the un-decomposed layer, the water-absorption rate of *E. urophylla* × *E. grandis* forest was the maximum (2.05 mm/h), and in the semi-decomposed litter layer, the maximum value (4.32 mm/h) was found in *P. elliottii* forest. The litter water-absorption rate presented a power function with immersing time at the different decomposition stages. The effective interception depth of litter was in the order of *C. equisetifolia* forest (2.45 mm) > *P. elliottii* forest (2.04 mm) > *E. urophylla* × *E. grandis* forest (1.87 mm) > *A. culacocarpa* forest (1.72 mm). On the whole, the litter of *C. equisetifolia* forest had the strongest water-holding capacity, followed by *P. elliottii* forest, *E. urophylla* × *E. grandis* forest and *A. culacocarpa* forest, indicating that *C. equisetifolia* forest and *P. elliottii* forest were more conducive to water conservation in coastal sandy area.

Keywords: coastal sandy area; plantation; litter; water-holding capacity

森林凋落物是森林生态系统的重要组成部分^[1-2],它不仅在森林生态系统碳固持^[3]、养分循环^[4]和调节土壤有机物的组成^[5]等方面扮演着重要角色,而且在森林水土保持和水源涵养方面起着积极作用^[6],森林凋落物结构疏松,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,对防止土壤侵蚀和水源涵养具有重要作用^[7]。特别是在干旱地区,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^[8]。

自上世纪90年代以来,国内学者^[9]做了许多关于凋落物持水特性的研究,但不同地区、不同森林类型、同一森林类型,以及不同分解程度的凋落物间差异也较大。目前关于滨海沙地凋落物持水特性的研究还鲜有报道,滨海沙地沿海防护林是特殊的生态系统,其生境不同于其他地区,常年受到海、陆、气的共同作用,生态环境脆弱,该区域一直以来是生态重建和恢复的重点和难点^[10-11]。在全球气候变化和水资源短缺的背景下,该研究区季节性干旱越来越受到人们的关注,有必要对该研究区凋落物的持水特性进行研究,更好地评价该研究区森林生态系统的水源涵养功能。因此,本文以滨海沙地同一采伐迹地上营造的木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)、湿地松(*Pinus elliottii*)、尾巨桉(*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*)和纹荚相思(*Acacia culacocarpa*)4种相同林龄的人工林为研究对象,分未分解层和半分解层对其凋落物现存量 and 持水能力进行研究,试图阐明不同人工林不同分解阶段凋落

物现存量、保持水土和涵养水源方面的差异,为沿海防护林的科学管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于福建省长乐大鹤国有防护林场(119°40'43" E, 25°57'59" N),属于沿海防护基干林区域,为南亚热带海洋性季风气候,无霜期长达326 d,年均气温19.2℃,年均湿度80%,年均降水量1794.1 mm,全年温和多雨,盛行东北风,雨天约160 d,台风多发生在每年的7—8月,年均4~6次。研究区平均海拔10 m,土壤为6~10 m厚的滨海风积沙土,保水性和肥力较差,天然植被稀少,林下常见零星植被有马樱丹(*Lantana camara*)、硕苞蔷薇(*Rosa bracteata*)、茅莓(*Rubus parvifolius*)等^[12-13]。

1.2 样地设置及凋落物的采集与现存量测定

2018年9月在滨海沙地4种林型内各选3个标准样地(20 m × 20 m),调查不同林型标准样地基本概况(表1),然后在每个标准样地内随机设置3个100 cm × 100 cm样方,按未分解、半分解2个层次收集全部凋落物,未分解层由新鲜凋落物组成,凋落物颜色变化不明显,质地坚硬,外表无分解的痕迹,剩余部分均为半分解层,将收集的凋落物装入塑料袋中并立刻称量,获得其鲜质量;同时,在标准样地四边随机各选10个点进行凋落物总厚度及未分解层、半分解层厚度的测定。将所收集的凋落物样品带回实验室,置于60℃烘箱内烘干至恒重,得到单位面积不同分解程度凋落物的干物质量。

表1 不同林型标准地基本概况

林分类型	林龄/ a	土壤 pH	平均 树高/m	平均 胸径/cm	郁闭度	植株密度/ (株·hm ⁻²)	年凋落物量/ (t·hm ⁻² ·a ⁻¹)
尾巨桉	15	5.45±0.14	17.45±0.22	13.38±0.26	0.74	1250	10.26
木麻黄	15	5.40±0.01	12.71±0.48	11.83±0.48	0.91	1903	16.31
纹荚相思	15	4.96±0.17	10.96±0.41	11.07±0.39	0.86	1500	7.43
湿地松	15	5.41±0.13	14.37±0.52	18.99±0.37	0.93	1356	11.22

1.3 用室内浸泡法测定各分解层凋落物的持水量及持水速率

在烘干凋落物中分别取部分凋落物称质量(约 50 g),随后装入 100 目 20 cm×30 cm 的尼龙网袋中,分别在浸入水中 0.25,0.5,1,2,4,6,8,10,12,24 h 后,捞起并静置至凋落物不滴水时称量,各 3 次重复。每次取得的凋落物湿重与袋中初始干重的差值,为不同时间凋落物持水量(t/hm^2),可换算成持水深(mm)。每次取得的凋落物持水量与袋中初始干重的比值,为不同时间凋落物持水率(%)。凋落物持水深与对应浸水时间的比值为不同时间凋落物持水速率(mm/h)。浸水 24 h 后的凋落物持水量为最大持水量(t/hm^2),可换算成最大持水深(mm)。浸水 24 h 后的凋落物持水率为最大持水率(%)^[14]。

凋落物有效拦蓄水量计算公式为:

$$W_E = (0.85R_m - R_0) \times M$$

式中: W_E 为有效拦蓄水量(t/hm^2); R_m 为凋落物最大持水率(%) ; R_0 为凋落物自然含水率(%) ; M 为凋落物现存量(t/hm^2)。

1.4 数据处理

采用 Excel 2003 软件进行数据处理和绘图,运用 SPSS 17.0 软件对不同分解程度凋落物持水率、持水量、吸水速率与浸水时间进行非线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同林型凋落物现存量及现存凋落物组成

由表 2 可知,滨海沙地 4 种林型中,凋落物量总厚度在 39~72 mm,为木麻黄林>湿地松林>尾巨桉林>纹荑相思林,且木麻黄林为纹荑相思林的 1.85 倍,未分解层厚度均小于半分解层,尤其是纹荑相思林,半分解层厚度占总厚度的 82.05%;4 种人工林凋落物现存量表现为木麻黄林($19.12 t/hm^2$)>湿地松林($17.51 t/hm^2$)>尾巨桉林($10.9 t/hm^2$)>纹荑相思林($10.13 t/hm^2$),木麻黄林是纹荑相思林的 1.89 倍,不同林型凋落物未分解层和半分解层占比各不相同,其中木麻黄林未分解层占总现存量的比例最大,为 40.43%,纹荑相思林最小,为 12.54%,4 种林型中半分解层凋落物现存量均明显高于未分解层。

表 2 不同森林类型凋落物厚度及现存量

林型	凋落物厚度/mm			凋落物现存量/($t \cdot hm^{-2}$)				
	总厚度	未分解层	半分解层	总现存量	未分解层		半分解层	
					现存量	比例/%	现存量	比例/%
木麻黄	72	31	41	19.12	7.73	40.43	11.39	59.57
尾巨桉	46	16	30	10.90	3.97	36.42	6.93	63.58
湿地松	67	22	45	17.51	5.68	32.44	11.83	67.56
纹荑相思	39	7	32	10.13	1.27	12.54	8.86	87.46

由表 3 可知,不同林型现存凋落物各组分组成比例各不相同,均为叶凋落物占比最大,达 48.40~86.82%,其中纹荑相思林最高为 86.82%,纹荑相思林和尾巨桉

林各组分所占比例大小均为叶>枝>树皮>花果,湿地松林各组分所占比例大小为叶>花果>枝>树皮,木麻黄林各组分所占比例大小为叶>枝>花果>树皮。

表 3 不同森林类型现存凋落物组成

林型	凋落物层	叶		枝		树皮		花果	
		储量/	比例/	储量/	比例/	储量/	比例/	储量/	比例/
		($kg \cdot hm^{-2}$)	%						
木麻黄	未分解层	6589.52	85.27	1053.95	13.64	22.82	0.30	61.64	0.80
	半分解层	9605.56	84.31	1399.58	12.28	31.62	0.28	355.91	3.12
	总量	16195.08	84.70	2453.53	12.83	54.44	0.28	417.55	2.18
尾巨桉	未分解层	1080.94	27.22	1943.82	48.95	943.32	23.76	2.92	0.07
	半分解层	4192.80	60.54	1652.00	23.85	1073.21	15.50	7.52	0.11
	总量	5273.74	48.40	3595.82	33.00	2016.53	18.51	10.44	0.10
湿地松	未分解层	4650.73	81.95	297.02	5.23	0.02	0.00	727.63	12.82
	半分解层	10216.95	86.31	602.29	5.09	0.05	0.00	1017.84	8.60
	总量	14867.86	84.90	899.31	5.14	0.07	0.00	1745.47	9.97
纹荑相思	未分解层	985.09	77.86	262.20	20.72	17.18	1.36	0.74	0.06
	半分解层	7811.40	88.10	1034.93	11.67	17.24	0.19	2.68	0.03
	总量	8796.50	86.82	1297.16	12.80	34.42	0.34	3.42	0.03

注:木麻黄叶指木麻黄小枝。

2.2 不同林型凋落物持水率动态变化

由图 1 可知,滨海沙地 4 种林型凋落物持水率在开始浸水的 0.25 h 内增加较快,0.25 h 后随浸水时

间的不断增加,持水率增幅逐渐减慢,最后达到某一稳定值。凋落物分解程度不同,其累积持水率变化不同,木麻黄林、湿地松林、尾巨桉林和纹荑相思林未分

解层持水率均低于半分解层。不同林型同一分解程度的累积持水率差异较大,但未分解层和半分解层均表现为尾巨桉林>纹荑相思林>木麻黄林>湿地松林,其中未分解层尾巨桉林累积持水率达 204.93%,而湿地松林仅为 109.29%,半分解层尾巨桉林累积持水率达 207.99%,湿地松林最小为 171.81%,同一林型半分解层与未分解层持水率的差值表现为木麻

黄林(63.87%)>湿地松林(62.52%)>纹荑相思林(15.15%)>尾巨桉林(3.06%)。

由表 4 可知,对 4 种不同林型凋落物未分解层及半分解层持水率与浸水时间的数据拟合发现,凋落物持水率($R, \%$)与浸水时间(t, h)之间关系均为: $R = b \ln t + a, R^2 \geq 0.962$,说明凋落物持水率与浸水时间存在较好的相关性。

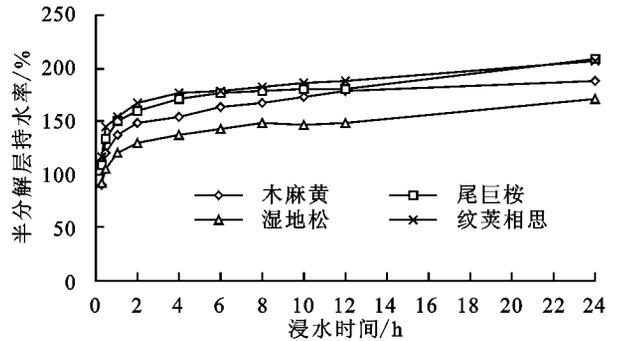
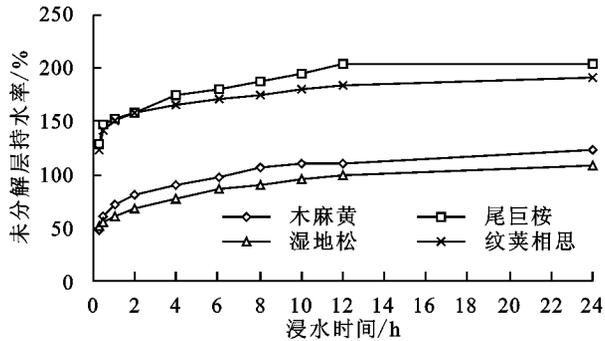


图 1 不同森林类型凋落物持水率与浸水时间的关系

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	未分解层		半分解层	
	方程	R^2	方程	R^2
木麻黄	$R = 16.452 \ln t + 70.169$	0.996**	$R = 19.432 \ln t + 128.911$	0.964**
尾巨桉	$R = 17.307 \ln t + 153.315$	0.973**	$R = 18.155 \ln t + 142.959$	0.962**
湿地松	$R = 13.280 \ln t + 63.493$	0.971**	$R = 15.403 \ln t + 116.037$	0.968**
纹荑相思	$R = 13.853 \ln t + 147.530$	0.986**	$R = 17.092 \ln t + 149.963$	0.962**

注: R 为凋落物持水率(%); t 为浸水时间(h); $n=9$;**表示 $P < 0.01$ 。下同。

2.3 不同林型凋落物持水量动态变化

由图 2 可知,滨海沙地 4 种林型凋落物持水量的变化规律基本一致,即随浸水时间的增加,凋落物累积持水量不断增加,在浸水前 1 h 内增速较快,1 h 后减慢,凋落物分解程度不同,其持水量动态各不相同,未分解层累积持水量均小于半分解层,而且湿地松林和纹荑相思林差距较大;其中未分解层,木麻黄林凋落物累积持水量最大(0.95 mm),纹荑相思林最小

(0.24 mm);半分解层为木麻黄林累积持水量最大(2.13 mm),尾巨桉林最小(1.42 mm)。

由表 5 可知,对 4 种不同林型凋落物未分解层及半分解层持水量与浸水时间的数据拟合发现,凋落物持水量(W, mm)与浸水时间(t, h)之间关系均为: $W = b \ln t + a, R^2 \geq 0.962$,说明凋落物持水量与浸水时间存在较好的相关性。

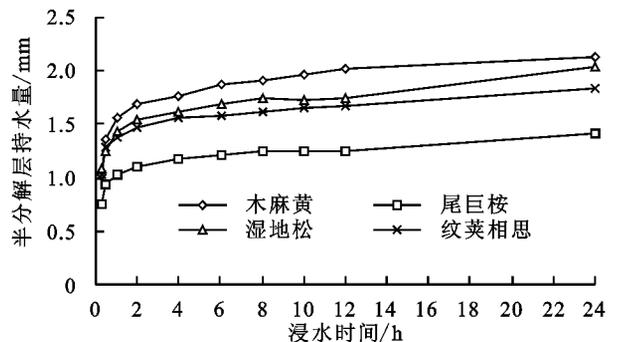
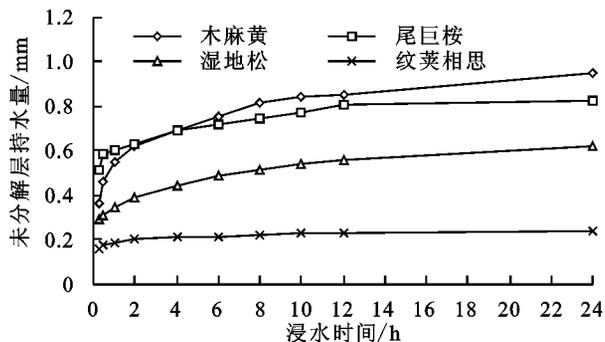


图 2 不同森林类型凋落物持水量与浸水时间的关系

2.4 不同林型凋落物吸水速率动态变化

由图 3 可知,不同分解阶段凋落物吸水速率有所差异,4 种林型半分解层吸水速率均高于未分解层。在浸水前 0.25 h 内,4 种林型凋落物吸水速率差异较大,未分解层吸水速率在 0.63~2.05 mm/h,为尾

巨桉林>木麻黄林>湿地松林>纹荑相思林,且尾巨桉林是纹荑相思林的 3.26 倍;半分解层吸水速率在 3.01~4.32 mm/h,为湿地松林>纹荑相思林>木麻黄林>尾巨桉林,且湿地松林是尾巨桉林的 1.44 倍。在浸水前 1 h 内,不同林型凋落物吸水速率均直线下

降,在浸水 1 h 后,各森林类型吸水速率逐渐减小并趋于稳定,说明凋落物在浸水的 1 h 内吸水速率较快,凋落物对降水的拦蓄能力较强,而在浸水 1 h 后随凋落物持水量的不断增大,吸水速率减小,凋落物拦蓄降水的功能也明显减弱。

表 5 不同森林类型凋落物持水量与浸水时间的回归方程

林型	未分解层		半分解层	
	方程	R^2	方程	R^2
木麻黄	$W=0.127\ln t+0.542$	0.996**	$W=0.221\ln t+1.468$	0.964**
尾巨桉	$W=0.069\ln t+0.609$	0.973**	$W=0.126\ln t+0.991$	0.962**
湿地松	$W=0.075\ln t+0.361$	0.971**	$W=0.182\ln t+1.373$	0.968**
纹荚相思	$W=0.018\ln t+0.187$	0.986**	$W=0.151\ln t+1.329$	0.962**

注:W 为凋落物持水量(mm);t 为浸水时间(h)。

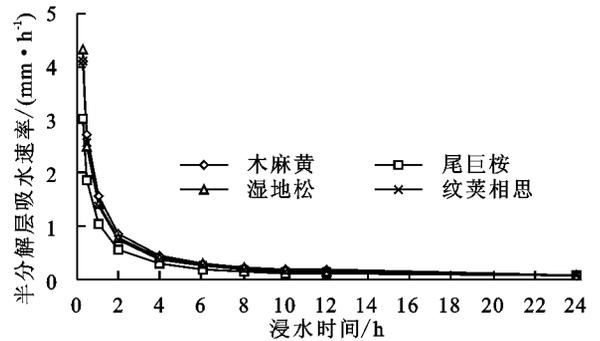
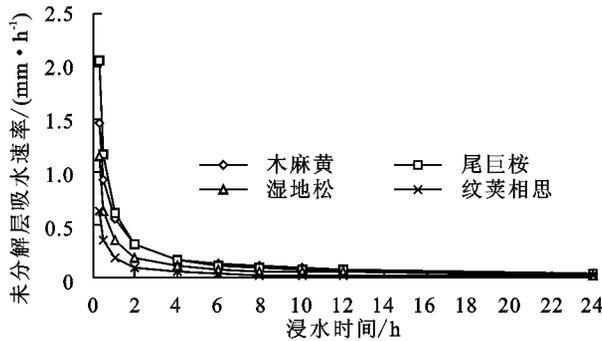


图 3 不同森林类型凋落物吸水速率与浸水时间的关系

表 6 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	未分解层		半分解层	
	方程	R^2	方程	R^2
木麻黄	$V=0.532t^{-0.736}$	0.998**	$V=1.491t^{-0.752}$	0.994**
尾巨桉	$V=0.614t^{-0.875}$	0.999**	$V=1.009t^{-0.801}$	0.998**
湿地松	$V=0.348t^{-0.862}$	0.998**	$V=1.383t^{-0.827}$	0.999**
纹荚相思	$V=0.190t^{-0.868}$	0.997**	$V=1.361t^{-0.811}$	0.997**

注:V 为凋落物吸水速率(mm/h);t 为浸水时间(h)。

2.5 不同林型凋落物持水能力

由表 7 可知,不同林型凋落物最大持水率在 140.55%~206.47%,为尾巨桉林>纹荚相思林>木麻黄林>湿地松林,其中尾巨桉林是湿地松林的 1.47 倍,凋落物最大持水量在 20.75~30.85 t/hm²,为木麻黄林>湿地松林>尾巨桉林>纹荚相思林,其中木麻黄林是纹荚相思林的 1.49 倍。

不同林型凋落物最大拦蓄率在 128.03%~202.54%,为尾巨桉林>纹荚相思林>木麻黄林>湿地松林,其中尾巨桉林是湿地松林的 1.58 倍,凋落物最大拦蓄量在 20.29~29.16 t/hm²,为木麻黄林>湿地松林>尾巨桉林>纹荚相思林,其中木麻黄林是纹荚相思林的 1.44 倍。

不同林型凋落物有效拦蓄率在 106.95%~171.57%,为尾巨桉林>纹荚相思林>木麻黄林>湿地松林,其中尾巨桉林是湿地松林的 1.6 倍,凋落物有效拦蓄量在 17.18~24.53 t/hm²,为木麻黄林>湿地松林>

由表 6 可知,对 4 种不同林型凋落物未分解层及半分解层吸水速率与浸水时间的数据拟合发现,凋落物吸水速率(V,mm/h)与浸水时间(t,h)之间关系均为: $V=at^b$, $R^2\geq 0.994$,说明凋落物吸水速率与浸水时间存在较好的相关性。

尾巨桉林>纹荚相思林,其中木麻黄林是纹荚相思林的 1.43 倍,凋落物有效拦蓄深为木麻黄林(2.45 mm)>湿地松林(2.04 mm)>尾巨桉林(1.87 mm)>纹荚相思林(1.72 mm)。

3 讨论

凋落物现存量反映了凋落物产量和分解量的动态平衡,当凋落物分解速率的增长率超过其产量的增长率时,凋落物现存量将不断减少,反之不断增加^[9]。滨海沙地 4 种人工林的凋落物现存量为 10.13~19.12 t/hm²,与贵阳市不同林龄马尾松林(10.19~35.29 t/hm²)^[15]和鼎湖山不同演替阶段(10.40~21.96 t/hm²)^[7]森林凋落物现存量接近,大小顺序依次为木麻黄林>湿地松林>尾巨桉林>纹荚相思林,4 种林型均为 2003 年在同一采伐迹地上营造,即在相同林龄的条件下,木麻黄林的凋落物现存量最大,可能是因为木麻黄林年凋落物量(16.31 t/hm²)高于其他林型,而木麻黄叶片退化,凋落物主要有木麻黄小枝组成,达到了 84.70%,木麻黄小枝质地较硬、木质素等难以分解的物质含量高,另外,本课题组前期对该研究区土壤和凋落物 C/N 以及微生物群落的研究发现木麻黄林下有机质的分解速度低于其他林型^[16-18],未分解层凋落物现存量达 40.43%,为 4 种林型最高,也印证了其分解速度较慢,导致了其凋落物现存量高于其他林型。此外,4 种林型未分解层厚度和现存量均小于半分解

层,反映了在相同气候条件下,不同林型凋落物在养分归还方面的一致性^[19]。

表7 不同森林类型凋落物持水能力指标

林型	凋落物层	现存量/	自然含水量/	自然含水量/	最大持水量/	最大持水量/	最大拦蓄量/	最大拦蓄量/	有效拦蓄量/	有效拦蓄率/	有效拦蓄深/
		(t·hm ⁻²)	(t·hm ⁻²)	%	mm						
木麻黄	未分解层	7.73	0.41	5.24	9.53	123.32	9.12	118.08	7.70	99.58	0.77
	半分解层	11.39	1.28	11.27	21.32	187.19	20.04	175.92	16.84	147.84	1.68
	总量或均值	19.12	1.69	8.83	30.85	155.26	29.16	146.43	24.53	123.14	2.45
尾巨桉	未分解层	3.97	0.09	2.23	8.26	207.99	8.17	205.76	6.93	174.56	0.69
	半分解层	6.93	0.34	4.90	14.20	204.93	13.86	200.03	11.73	169.29	1.17
	总量或均值	10.90	0.43	3.93	22.46	206.47	22.03	202.54	18.66	171.57	1.87
湿地松	未分解层	5.68	0.59	10.39	6.21	109.29	5.62	98.90	4.69	82.51	0.47
	半分解层	11.83	1.60	13.54	20.33	171.81	18.73	158.27	15.68	132.50	1.57
	总量或均值	17.51	2.19	12.52	26.54	140.55	24.35	128.03	20.37	106.95	2.04
纹荚相思	未分解层	1.27	0.03	2.23	2.43	191.66	2.40	189.43	2.04	160.68	0.20
	半分解层	8.86	0.43	4.90	18.32	206.81	17.89	201.91	15.14	170.89	1.51
	总量或均值	10.13	0.46	4.57	20.75	199.23	20.29	194.66	17.18	164.78	1.72

凋落物最大持水率是凋落物持水特性中最为主要的指标之一,其大小取决于凋落物类型和分解程度,本研究中不同林型凋落物最大持水率在 140.55%~206.47%,未分解层和半分解层均表现为尾巨桉林>纹荚相思林>木麻黄林>湿地松林,湿地松林累积持水率最小,可能是由于湿地松林较其他林型相比叶片含油脂较多,而油脂与水产生排斥,导致其持水率低于其他林型。本研究发现4种林型凋落物持水率均为半分解层>未分解层,这与张建利等^[20]的研究结果一致,原因可能是半分解层凋落物结构疏松吸水能力强,而湿地松半分解层和未分解层凋落物累积持水率差值达62.52%,可能是由于湿地松凋落物分解过程中,凋落物含油率逐渐降低,持水率逐渐增大。凋落物持水量的大小取决于凋落物持水率和现存量,未分解层累积持水量均小于半分解层,而且湿地松林和纹荚相思林差距较大,是因为半分解层凋落物现存量和持水率均高于未分解层,其中未分解层,木麻黄林凋落物累积持水量最大(0.95 mm),纹荚相思林最小(0.24 mm);半分解层为木麻黄林累积持水量最大(2.13 mm),尾巨桉林最小(1.42 mm),尾巨桉林和纹荚相思林凋落物持水率较大,但持水量却小于木麻黄林,主要是由于不同林型凋落物层现存量不同所致。

凋落物吸水速率与凋落物组成和特性有密切关系,凋落物分解程度不同,其吸水速率相差也较大。4种林型半分解层吸水速率均高于未分解层,这与王利等^[21]的研究结果一致,不同林型间,尾巨桉和纹荚相思为阔叶树种,叶凋落物油脂少,吸水速度较快,但因其凋落物现存量较小,因此吸水速率较小;而针叶树种的叶凋落物中含油脂较高,吸水速度较慢,但其凋落物现存量较大,吸水速率也较大。

该研究区4种林型未分解层和半分解层凋落物持水率、持水量随浸水时间的延长不断增大,在浸水前0.5 h内增速最快,然后逐渐减缓,在12 h后趋于稳定,研究

发现,4种林型半分解层和未分解层凋落物持水率和持水量与浸水时间呈 $R = b \ln t + a$ 和 $W = b \ln t + a$ 的对数增长, R^2 在 0.962~0.996,与卢振启等^[22]和梁晓娟等^[23]的研究结果相似,4种林型未分解层和半分解层吸水速率均在浸水前2 h内迅速下降,然后趋于稳定,4种林型未分解层和半分解层吸水速率与浸水时间存在 $V = at^b$ 的关系, R^2 在 0.994~0.999,与喻阳华等^[24]和袁秀锦等^[25]的研究结果相似。

凋落物持水能力主要取决于凋落物的现存量、最大持水率、最大持水量、自然含水率和有效拦蓄量^[26]。在该研究区内针叶林凋落物层拦蓄能力明显好于阔叶林,其中湿地松林有效拦蓄率较低,但其凋落物现存量较大,有效拦蓄深(2.04 mm)也较大,仍具有较高的降水拦蓄能力,而尾巨桉林和纹荚相思林凋落物的有效拦蓄率均高于湿地松林,但其凋落物现存量远低于湿地松林,因此其有效拦蓄深也较小,所以对短时间高强度的降水来说,阔叶林的拦蓄作用更好,而长时间、低强度的降水,针叶林的拦蓄能力更好。

通过对滨海沙地4种林型凋落物现存量及持水特性的研究发现,木麻黄林和湿地松林的凋落物水源涵养功能高于尾巨桉林和纹荚相思林,但本文仅对凋落物的水源涵养功能进行了比较,而在自然降水过程中,首先是树木的林冠层对降雨进行拦截,然后凋落物层进行吸水,最后是土壤层。因此,今后在评价不同林型的水源涵养功能时,需要考虑林冠层、凋落物层和土壤层的综合水文效应,更好地对滨海沙地不同林型的水源涵养功能进行评价。

4 结论

(1)相同林龄的4种人工林凋落物现存量表现为木麻黄林(19.12 t/hm²)>湿地松林(17.51 t/hm²)>尾巨桉林(10.90 t/hm²)>纹荚相思林(10.13 t/hm²),半分解层凋落物现存量占比高于未分解层,现存凋落物组成中叶凋落物占比最高。

(2)4 种人工林凋落物最大持水率在 140.55%~206.47%,最大拦蓄率在 128.03%~202.54%,有效拦蓄率在 106.95%~171.57%,大小顺序均为尾巨桉林>纹荚相思林>木麻黄林>湿地松林,其中半分解层均高于未分解层。

(3)4 种人工林凋落物最大持水量在 20.75~30.85 t/hm²,最大拦蓄量在 20.29~29.16 t/hm²,有效拦蓄量在 17.18~24.53 t/hm²,大小顺序均为木麻黄林>湿地松林>尾巨桉林>纹荚相思林,其中半分解层均高于未分解层,凋落物有效拦蓄深为木麻黄林(2.45 mm)>湿地松林(2.04 mm)>尾巨桉林(1.87 mm)>纹荚相思林(1.72 mm)。

(4)4 种人工林不同分解阶段凋落物持水率和持水量与浸水时间呈对数关系,关系式分别为 $R=bln t+a$ 和 $W=bln t+a$,凋落物吸水速率与浸水时间存在幂函数关系, $V=at^b$, R^2 均大于 0.9。

参考文献:

- [1] Austin A T, Ballare C L. Dual role of lignin in plant litter decomposition in terrestrial ecosystems [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2010, 107(10): 4618-4622.
- [2] 黄宗胜,符裕红,喻理飞.喀斯特森林植被自然恢复中凋落物现存量及其碳库特征演化[J].林业科学研究,2013,26(1):8-14.
- [3] Sayer E J, Heard M S, Grant H K, et al. Soil carbon release enhanced by increased tropical forest litterfall [J]. Nature Climate Change, 2011, 1(6): 304-307.
- [4] Chen L, Zhang C, Duan W. Temporal variations in phosphorus fractions and phosphatase activities in rhizosphere and bulk soil during the development of *Larix olgensis* plantations [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2016, 179(1): 67-77.
- [5] Jiang Y, Yin X, Wang F. The influence of litter mixing on decomposition and soil fauna assemblages in a *Pinus koraiensis* mixed broad-leaved forest of the Changbai Mountains, China [J]. European Journal of Soil Biology, 2013, 55(1): 28-39.
- [6] Domke G M, Perry C H, Walters B F, et al. Estimating litter carbon stocks on forest land in the United States [J]. Science of the Total Environment, 2016, 557/558: 469-478.
- [7] 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.
- [8] 何琴飞,郑威,彭玉华,等.珠江流域中游主要森林类型凋落物持水特性[J].水土保持研究,2017,24(1):128-134.
- [9] 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.
- [10] 林宇,胡欢甜,邱岭军,等.滨海沙地 3 种人工林表层土壤微生物量及其影响因素[J].东北林业大学学报,2017,45(5):85-90.
- [11] 林宝平,何宗明,郜士垒,等.去除根系和凋落物对滨海沙地 3 种防护林土壤碳氮库的短期影响[J].生态学报,2017,37(12):4061-4071.
- [12] 葛露露,孟庆权,林宇,等.滨海沙地不同树种人工林的碳储量及其分配格局[J].应用与环境生物学报,2018, 24(4):723-728.
- [13] 葛露露,孟庆权,林宇,等.滨海沙地不同树种人工林叶片和土壤表层稳定碳氮同位素及水分利用效率研究[J].西北植物学报,2018,38(3):544-552.
- [14] 武启骞,王传宽,赵娟,等.帽儿山 2 种森林类型凋落物和土壤水文效应[J].水土保持学报,2015,29(3):161-166.
- [15] 陈进,徐明,邹晓,等.贵阳市不同林龄马尾松林凋落物储量及持水特性[J].水土保持研究,2018,25(6):146-151.
- [16] 孟庆权,葛露露,林宇,等.滨海沙地不同林分类型土壤养分含量及其化学计量特征[J].亚热带农业研究,2018,14(4):217-223.
- [17] 邱岭军,何宗明,胡欢甜,等.滨海沙地不同树种碳氮磷化学计量特征[J].应用与环境生物学报,2017,23(3): 555-559.
- [18] 桑昌鹏,万晓华,余再鹏,等.凋落物和根系去除对滨海沙地土壤微生物群落组成和功能的影响[J].应用生态学报,2017,28(4):1184-1196.
- [19] 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.
- [20] 张建利,王加国,李苇洁,等.贵州百里杜鹃自然保护区杜鹃林枯落物储量及持水功能[J].水土保持学报,2018,32(3):167-173.
- [21] 王利,于立忠,张金鑫,等.浑河上游水源不同林型水源涵养功能分析[J].水土保持学报,2015,29(3):249-255.
- [22] 卢振启,黄秋嫻,杨新兵.河北雾灵山不同海拔油松人工林枯落物及土壤水文效应研究[J].水土保持学报,2014,28(1):112-116.
- [23] 梁晓娇,王树力.阿什河源头不同类型红松人工林枯落物及其土壤水文特性[J].水土保持学报,2017,31(1): 140-145,152.
- [24] 喻阳华,李光容,皮发剑,等.赤水河上游主要森林类型水源涵养功能评价[J].水土保持学报,2015,29(2): 150-156.
- [25] 袁秀锦,王晓荣,潘磊,等.三峡库区不同类型马尾松林枯落物层持水特性比较[J].水土保持学报,2018,32(3):160-166.
- [26] 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.