

西双版纳橡胶林枯落物的持水性能与截留特征

卢洪健^{1,2}, 李金涛^{1,2}, 刘文杰^{1*}

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 通过野外调查、浸泡试验和模拟降雨实验, 测定了西双版纳地区橡胶林枯落物储量、持水能力和截留降雨特征。结果表明: 20 和 40 年生的橡胶林枯落物储量分别为 8.896 和 6.181 t/hm², 其叶、枝、种子果壳和其他部分生物量所占比例分别为 57.1 %、10.2 %、32.2 %、0.4 % 和 70.4 %、13.7 %、15.4 %、0.5 %; 20 年生的橡胶林枯落物最大持水率为 180.36 %, 高于 40 年生的值(174.59 %); 枯落物吸水速率与浸泡时间之间关系式为 $S = kt^n$, 前 2 h 是枯落物主要持水阶段。模拟降雨条件下, 橡胶林枯落物截留量随雨强和枯落物厚度增大而增加; 截留率与降雨量呈极显著幂函数关系, 但受雨强的影响不显著, 在 8.0 ~ 48.0 mm 的降雨范围, 截留率变化幅度为 2.02 % ~ 12.50 %, 截留能力较弱。

关键词: 人工橡胶林; 枯落物; 持水能力; 截留降雨; 西双版纳

中图分类号: S715

文献标志码: A

文章编号: 1000-2006(2011)04-0067-07

Study on water-holding capability and interception characteristics of litter layers under rubber plantations in Xishuangbanna, southwestern China

LU Hongjian^{1,2}, LI Jintao^{1,2}, LIU Wenjie^{1*}

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS, Mengla 666303, China; 2. Graduate School of CAS, Beijing 100039, China)

Abstract: Field survey, immersion test and simulated rainfall experiments were engaged in a preliminary study to clarify the hydrological effects of litter layers under rubber plantations in Xishuangbanna, southwestern China. Results showed that the litter reserves of the 20 and 40 years' rubber plantations were 8.896 t/hm² and 6.181 t/hm², the proportions of the litter amount of their components (foliage, twig, seed and nutshell, others) were 57.1 %, 10.2 %, 32.2 %, 0.4 % and 70.4 %, 13.7 %, 15.4 %, 0.5 %, respectively. The maximum water capacity of litter of the 20 years' rubber plantation was 180.36 % of its dry weight, which of the 40 years' was 174.59 %. The equation between the water absorption rate of the litter and the immersed time could be $S = kt^n$, and the first two hours was critical for litter to hold water. Under the condition of simulated rainfall, the interception rainfall increases with rainfall intensity and litter thickness. The interception rate existed a significant power function relation to rainfall, but it was hardly influenced by rainfall intensity. Interception rate of litter at the rainfall of 8.0—48.0 mm varied from 2.02 %—12.50 %. Based on these results, the hydrological effects of litter layers under rubber plantations were discussed so that it can provide some useful recommendations for operating them reasonably.

Key words: rubber plantation; litter; water-holding capacity; rainfall interception; Xishuangbanna

森林枯落物是森林生态系统的重要组成部分^[1-4]。作为森林水文效应的第 2 个功能层, 枯落物具有截留降雨^[5]、增加地表糙率系数^[6]、阻滞地表径流^[7]、影响土壤水热状况^[8]、削弱雨滴溅

蚀^[9]、拦截泥沙^[10]和改善土壤结构^[11]等生态水文功效。枯落物储量和持水性能是评价其水文功效的基础, 受林分类型、林龄、枯落物分解程度和人为活动等因素的影响。近年来, 有学者对黄土高原、

收稿日期: 2010-06-22

修回日期: 2011-03-16

基金项目: 中国科学院“西部之光”计划项目; 国家自然科学基金项目(30770368)

作者简介: 卢洪健(1985—), 硕士生。* 刘文杰(通信作者), 研究员。E-mail: lwj@xtbg.org.cn。

引文格式: 卢洪健, 李金涛, 刘文杰. 西双版纳橡胶林枯落物的持水性能与截留特征 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(4): 67-73.

三峡库区、青藏高原贡嘎山、小兴安岭和宁夏六盘山等主要森林类型枯落物的储量和持水性能进行了研究^[12-14],取得不少富有成效的结果。枯落物对穿透降雨有重要的截留作用,其截留能力受气候条件和枯落物类型、储量、湿润程度和组成成分的影响^[4-5,12]。研究表明,枯落物截留量与林内降雨量多呈幂函数关系,且不同林型的截留动态过程各异^[17-19]。此外,Sato 等^[4]得出枯落物截留能力受雨强和枯落物形态结构影响的结论;莫菲等^[20]通过对模拟降雨实验结果的分析,在国内首次构建了基于枯落物含水量、降雨强度和降雨历时的枯落物截留过程模型。

三叶橡胶树(*Hevea brasiliensis*)原产亚马逊河流域的热带雨林,其生长环境要求全年具有充足的热量(气温 24~28℃)和水分(降水 1 600~2 000 mm)条件,大致分布于赤道南、北纬 10°范围内,分布区的海拔一般不超过 600 m。但是,由于受经济利益的驱使,橡胶树已被引种和扩种到了东南亚、南美、非洲的很多高纬度和高海拔地区,在这些边缘的次适宜种植区,橡胶树的生长状况、产胶期和产量都受到了极大的影响^[21]。

西双版纳地处水热条件相对不足的热带北缘,近几十年最显著的土地利用/覆被变化(LUCC)就是大面积热带雨林向单层橡胶林的转化。尤其 20 世纪末以来,该地区橡胶种植已扩张到了海拔 1 100 m 以上的山地(之前多为当地老百姓的水源林),其中受破坏最严重的是海拔 800 m 以下的热带雨林,自 20 世纪 70 年代到 2007 年共丧失了约 14 万 hm²^[22]。大面积的热带雨林被单一的橡胶林所取代,导致水土流失等一系列问题突显。但有关西双版纳地区橡胶林枯落物水文效应的研究尚未见报道。笔者以该地区大面积种植的人工橡胶林

为研究对象,测定、分析橡胶林枯落物的储量、持水性能和截留降雨特征,以期评价橡胶林枯落物水文特征提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样地概况

西双版纳地处北回归线以南(99°58′~101°50′E,21°09′~22°33′N),属热带北部北缘。受西南季风的影响,1 年有 3 个明显的季节划分:雾凉季(11 月至次年 2 月)、干热季(3—4 月)和雨季(5—10 月)。年均降雨量 1 400 mm 左右,雨季降雨量占全年降雨量的 80% 以上,干季降雨量不足 13%;年均气温 21.4℃,相对湿度 85%。该地区面积 19 223 km²,其中山地(坡度>8°)面积占 95%,山间盆地(坡度≤8°)面积占 5%,主要分布热带森林;地形多为丘陵宽谷型小盆地,多溪流。地带性土壤为砖红壤和赤红壤。

该研究所选 2 种林龄橡胶林均位于中国科学院西双版纳热带植物园(101°15′E,21°56′N)。林分 A 为单优人工橡胶林,为 20 年生近熟林,定植于环坡 1.5 m 宽稍上倾的台地上,平均株距 1.5 m,林下草本稀少,仅见少量橡胶幼苗等;林分 B 为三叶橡胶-云南大叶茶(*Camellia sinensis*)-小粒咖啡(*Coffea arabica* Linn.)人工试验群落,为 40 年生过熟林,定植于坡度小于 6°的西南坡上,采用宽窄行密株的种植方式(株距 3.1 m,窄行距 2.5 m,宽行距 19.0 m),在宽行间间种咖啡和茶叶,林下草本欠发达,盖度不足 30%。40 年生橡胶林虽为混交林,但云南大叶茶和小粒咖啡均为常绿植物,其对整个林分枯落物的贡献很小,故两块样地具较好的可比性,样地概况见表 1。

表 1 橡胶林观测样地基本特征

Table 1 General characteristics of rubber plantation plots

样地 plot	林龄/a age	坡向 aspect	坡度/(°) slope	树高/m height	胸径/cm DBH	郁闭度 canopy density	海拔/m altitude	枯落物厚度/cm litter thickness
A	20	东南	15	14.7	16.7	0.85	580	5.7
B	40	西南	6	26.3	26.6	0.90	560	4.2

1.2 枯落物储量调查与测定

根据西双版纳的气候特点,将橡胶林干季枯落物(历经 1—2 月的集中落叶)定义为未-半分解层。通过实地调查,于 2010 年 3 月在两种林分内分别选择代表性部位设置 20 m×20 m 标准样地,然后采用对角线方法均匀布设 5 个 50 cm×50 cm

的样方^[23],记录枯落物的厚度,将采集的枯落物样品称量,并将其分为叶(含叶柄)、枝、种子果壳和其他 4 部分,然后带回实验室烘干(85℃,12 h)称量,计算枯落物的储量和各组分的比例。

1.3 枯落物持水性能测定

(1) 最大持水率测定:将干枯落物按储量比例

称量后放入土壤筛,再将土壤筛置于盛有清水的容器中,水面略高于土壤筛的上沿,在水中浸泡 24 h 后将土壤筛一并取出,静置至不滴水为止,立即称量,所得枯落物的最大持水率 = (枯落物湿质量 - 干质量 - 土壤筛本身持水量) / 枯落物干质量 × 100 % (土壤筛本身持水量实验前用平均法^[4]求得) 。叶、枝和种子果壳 3 种主要组分最大持水率按同样方法测定。每个样品重复 3 次。

(2) 吸水速率测定: 按同样的浸泡方法,对枯落物叶、枝和种子果壳 3 种组分进行浸水试验。开始浸泡时 2 次处理间隔依次为 15、30 min 及 1 h,之后每次处理间隔 2 h,直至浸泡时间总计达到 11.75 h。将枯落物连同土壤筛一并取出,静置约 5 min,至枯落物不滴水为止,迅速称量,每次所得枯落物湿、干质量的差值(同时减去土壤筛本身持水量)即为浸泡不同时间的持水量,该差值与浸水时间的比值即为枯落物吸水速率^[24]。每个样品重复 3 次。

1.4 模拟降雨试验

将 20 年生橡胶林干枯落物按 0.5 和 1.0 kg/m² 的数量(各组分按储量比例称取) 仿照野外堆积状态装入矩形铝制实验筛(实验筛高 7.0 cm,底面积为 0.2 m²,底部垫一层等面积的铁丝网,底部一角有一适当开口);再将实验筛置于有一定倾斜角度的自制铁架上,然后用模拟降雨器进行模拟降雨处理^[4]。根据对西双版纳地区近年降雨资料和橡胶林林冠截留的分析^[23],设定该实验穿透降雨强度为 24、16 和 8 mm/h,降雨历时 2 h。用储水

器收集实验筛底部开口处排出的水量。

降雨过程中,每降雨 20 min,待枯落物排水完毕后(3 ~ 5 min),对实验筛称量 1 次,同时量测实验筛底部排出的水量。称得不同时刻实验筛的质量后减掉实验筛自身质量(同时考虑实验筛自身吸附水的影响,从测定值中减去)和枯落物干质量,即为不同时刻枯落物对降雨截留的累加雨量^[24]。每个样品做 2 次重复,待实验完毕,将枯落物烘干后各重复 1 次实验。

1.5 数据处理

实验数据的统计与分析利用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 完成,数据图均采用 SigmaPlot 10.0 软件绘制。

2 结果与分析

2.1 橡胶林枯落物的储量

枯落物对森林水量平衡和土壤发育具有重要影响,枯落物储量是评价其水文效应的基础,取决于林木的生物学特性和生长环境^[24]。调查结果显示,随着 20 年生中龄(成熟)林向 40 年生老龄(过熟)林的转变,橡胶林枯落物储量显著减少,各组分所占比例也发生一定变化,40 年生橡胶林种子果壳部分所占比例减幅最大。除了受林分立地条件的影响外,这很可能与 40 年生橡胶林树木老化结实率低等有关;叶和枝的比例虽然都呈增加趋势,但其绝对储量都是减少的(表 2),其中 20 年生橡胶林枯落物叶的储量要明显高于 40 年的储量($p < 0.01$)。

表 2 两种林龄橡胶林枯落物储量($n = 5$)
Table 2 Litter reserves of two types of rubber plantations ($n = 5$)

林分类型 forest type	样品干质量/g dry weight					枯落物储量/(t·hm ⁻²) litter reserve				
	总量	叶	枝	种子果壳	其他	总量	叶	枝	种子果壳	其他
A	1 112. 1	635. 0	113. 5	358. 1	4. 5	8. 896	5. 080	0. 907	2. 865	0. 044
B	772. 6	543. 9	105. 9	119. 0	3. 8	6. 181	4. 351	0. 847	0. 952	0. 031

周卫卫等^[27]研究得出海南琼中 15 年生橡胶林枯落物储量为 3.25 t/hm²,笔者认为取样时间的差异(后者选择在雨季的 7 月取样,枯落物基本处于分解和半分解状态)是两地枯落物储量差异的主要影响因素;此外,林龄、林分密度和立地条件等也可能产生一定的影响。与一些原生林^[14-15]和次生林^[24,28]相比,人工橡胶林枯落物储量明显偏低,这是林分过于单一造成的;和其他人工林相比^[29-31],橡胶林枯落物储量与其水平相当或偏高,这是因为该研究所选橡胶林刚刚经历第 1 个凋落高峰期,枯落物获得较大输入量,且在当年所受人

为管理活动还较少。鉴于枯落物在森林生态系统中的重要性,以及橡胶林枯落物具有叶的分解较枝要快的特点^[32],在营林过程中,要注意对枯落物尤其是落叶的保护,尽量减少人为活动(野外调查发现,受人为管理活动频繁的台地其枯落物状况明显较坡地差),从而使枯落物处于正常分解的稳定状态。

2.2 橡胶林枯落物的持水性能

2.2.1 枯落物最大持水率和最大持水量的变化

与成(近)熟林(20 年生)相比,橡胶过熟林(40 年生)枯落物最大持水率有所减小,但减小幅

度不显著($p > 0.05$, $n = 3$); 通过与不同林龄的秃杉林^[1]、马尾松林^[3]、冷杉纯林^[4]和白桦次生林^[5]相比,可初步得出橡胶林枯落物最大持水率随林龄变化的大小顺序为:成熟林(近熟林)、过熟林、中龄林、幼龄林。15年生橡胶林枯落物未分解层和半分解层的最大持水率分别为183.50%和160.80%^[2],可见与林龄相比,分解程度是其最大持水率的主要影响因素。此外,和其他落叶阔叶林相比^[13,15,29],橡胶林枯落物最大持水率偏低,这可能是受橡胶革质叶和表面被蜡质特性的影响所致。

枯落物最大持水量(最大持水率与其储量的乘积)是反映枯落物持水性能的重要指标。计算结果显示,20和40年生橡胶林枯落物最大持水量为16.04和10.79 t/hm²,相当于1.60和1.08 mm的降水,可见橡胶林枯落物有着一定的储水能力;两种林龄橡胶林叶枯落物的储水比例均明显优于

其他组分,均达到总量的80%。最大持水量是在枯落物充分浸水条件下所得,因而只有在长时间连续降水过程中才能实现^[12],因此,对于西双版纳地区雨季一些长时间的连续性降雨,最大持水量对评价橡胶林枯落物储水能力有实际意义。

2.2.2 枯落物持水量与浸泡时间的关系

浸水前0.25 h 枯落物持水量增长最快,均达到最大持水量的40%左右,前2 h 是各类枯落物的重要持水阶段,达到最大持水量的70%;在任一时刻,叶的持水量都是最大,是枝与种子果壳持水量的3~5倍(表3)。随着浸泡时间不断增加,枯落物持水量增加逐渐趋于缓慢,当浸泡时间达到12 h 左右,离其最大持水量已较为接近,但各类枯落物均还有少量持水能力,这与枯落物在浸泡8~10 h 后达到饱和持水状态的结论^[13,30,35]有所不同,分析认为,这是由于枝与种子果壳吸水缓慢以及所选样品为未-半分解状态所致。

表3 橡胶林枯落物持水量($n = 3$)
Table 3 Water-holding capacity of litter of rubber plantations($n = 3$)

林龄/a age	枯落物类型 litter type	持水量/(g·kg ⁻¹) water-holding capacity							
		0.25 h	0.75 h	1.75 h	3.75 h	5.75 h	7.75 h	9.75 h	11.75 h
20	叶	958	1 344	1 616	1 942	2 132	2 288	2 356	2 378
	枝	285	419	535	647	715	761	799	814
	种子果壳	211	296	374	458	502	541	565	577
40	叶	935	1 312	1 579	1851	1 997	2 109	2 163	2 181
	枝	277	400	492	574	644	686	724	737
	种子果壳	207	286	353	431	473	499	517	529

相关研究也表明,林地枯落物的持水性能主要表现在浸泡前2 h,特别是前0.5 h^[13,24,36]。由此可见,各类森林枯落物持水作用主要在浸水前2 h 内发挥,而前0.5 h 是最重要持水阶段,这对一些短时间降雨和雷暴雨多发地区,有减轻溅蚀、减少地表径流和增加土壤入渗等重要意义^[5]。

2.2.3 枯落物吸水速率与浸泡时间的关系

枯落物吸水速率与其浸泡时间存在明显的相关关系,两种橡胶林枯落物吸水速率均为叶最大,枝次之,种子果壳最小(图1)。在开始浸水的0.25 h 内,枯落物吸水速率差异尤为明显,在浸水0.25~2 h 内,枯落物的吸水速率虽然还相对较大,但相比于前0.25 h 都已大幅下降,此时段枝和种子果壳的吸水速率已基本处于同一水平,而叶的吸水速率还要明显高于枝和种子果壳;随着浸泡时间延长,各类枯落物吸水速率逐渐趋于一致,特别是

浸泡10 h 后,各类枯落物的吸水速率已基本相同。这主要是因为随着浸泡时间增加,枯落物已接近其最大持水量并处于平衡稳定的吸水状态,因而其吸水速率基本趋于一致。

浸泡条件下枯落物的吸水速率反映了其在实际降雨过程中的潜在吸水能力,实际降雨过程中,枯落物不仅对穿透雨有着截留作用,还吸收一部分地表径流^[12]。浸泡前2 h 是枯落物的主要吸水阶段,吸水速率变化非常大^[14,24,38],这对于西双版纳地区的橡胶林来说,具有重要意义:即对干季一些降雨量级小的降雨,枯落物能很好地将其截留,基本不产生地表径流;而对雨季短时间的雷暴雨和长时间的连续性降雨,枯落物均能发挥较好的持水能力,并阻滞地表径流,增加土壤水分入渗,从而对林地土壤生物活动以及橡胶树自身的水分补给起到重要作用。

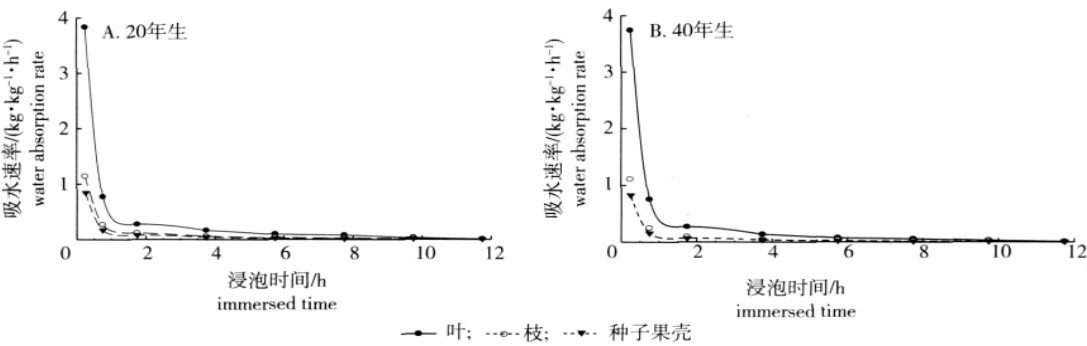


图 1 不同林龄橡胶林枯落物吸水速率与浸泡时间的关系($n=3$)

Fig.1 Relationship between litter's water absorption rates of rubber plantation and immersed time ($n=3$)

通过对橡胶林枯落物吸水速率与浸泡时间之间的关系数据分析并进行拟合,发现二者的关系式为 $S=kt^n$ 。式中: S 为吸水速率, $\text{kg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$; t 为浸泡时间, h ; k 为方程系数; n 为指数。很多森林枯落物吸水速率与浸泡时间的关系也符合该式 [13-14,33,39],说明浸泡条件下,森林枯落物吸水速率与浸泡时间的关系基本不受森林类型、林龄和枯落物组分的影响。

2.3 模拟降雨下橡胶林枯落物的截留特征

2.3.1 模拟降雨下枯落物的截留过程

降雨并不能均匀落于枯落物上,且一般不会产生浸泡试验那样长时间的充分供水条件,所以浸泡试验下的持水性能通常无法等同降雨条件下枯落物的截留特征 [6]。20 年生橡胶林不同厚度枯落物(干质量 0.5 和 1.0 kg/m^2) 在不同模拟降雨强度下截留降水的时间变化过程见图 2。

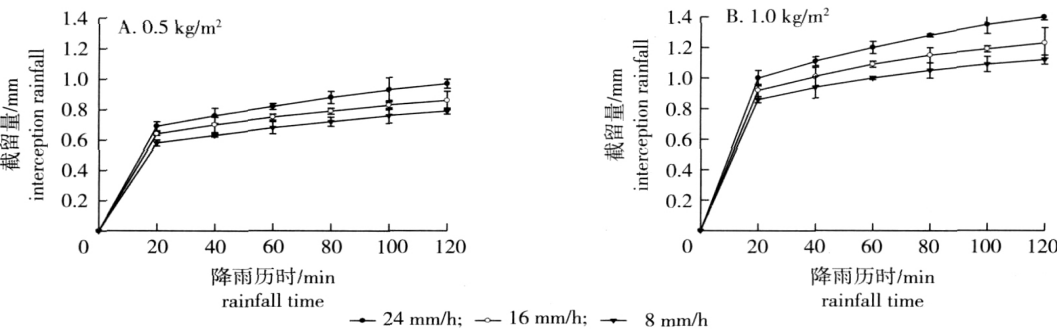


图 2 20 年生橡胶林枯落物在模拟降雨下的截留过程($n=4$)

Fig.2 The interception process of litter of a 20 years' rubber plantation under three simulated rainfall intensities($n=4$)

明确枯落物截留降水量与枯落物厚度、降雨强度和降雨历时的关系是合理评价其水文效应的重要基础。枯落物截留量通常与枯落物总量呈线性关系 [4-5],但截留量随雨强的变化还存在颇多争议:Putuhena 等 [6] 研究得出枯落物截留降雨量在雨强很大条件下($34\sim75\text{ mm/h}$) 不受其影响的结论;而另外一些研究表明,在地区自然降雨强度和次降雨量范围内,枯落物截留量随雨强增大而升高 [4,20,40]。由图 2 可以看出,橡胶林枯落物截留量不但随枯落物的厚度增加而升高,而且随雨强(降雨历时相同情况下) 增大而增加。这是因为,降雨历时相同的情况下,雨强越大,降雨量也越大,从而使得单位时间里提供给枯落物吸持的水量越多;特

别是在枯落物自身含水量还较小的情况下,枯落物会利用其潜在的持水能力,在雨强大(供水更充足) 的条件下更大程度地吸持水分。

测定发现,20 年生时橡胶林枯落物(0.5 和 1.0 kg/m^2) 在 3 种雨强(8 、 16 和 24 mm/h) 下,降雨前 20 min 是枯落物截留降雨的重要阶段。此后,随着降雨历时增加,由于枯落物自身含水率增大,使得其吸水速率显著下降,从而导致枯落物截留能力大幅下降,表现为累加截留量增加缓慢,这说明枯落物截留能力随自身湿润程度增大而减弱 [5,17,19-20,41]。

对于次降雨来说, 2 h 的模拟降雨过程一般都足以反映枯落物的截留过程。研究表明,在 3 种雨

强(8、16和24 mm/h)下,当降雨历时达到2 h时,不同橡胶林枯落物(0.5和1.0 kg/m²)层的截留量分别为0.79、0.86、0.97 mm和1.12、1.23、1.40 mm。通过对数据分析拟合,发现橡胶林枯落物在3种降雨强度下的截留量与降雨历时符合幂函数关系($R^2=0.9, p<0.001$)。因为把此次模拟降雨定义为橡胶林林内穿透降雨,故而该结论与刘向东等^[7]和季冬等^[9]得出枯落物截留量与林内降雨量呈幂函数关系的结论相同。

2.3.2 枯落物截留率

截留率是表征枯落物截留能力的重要参量,通常由林内降雨量、枯落物湿润程度和森林立地条件等决定。模拟降雨实验结果表明,橡胶林枯落物截留率随降雨量的增加而减小,随枯落物的厚度增加而升高;0.5 kg/m²橡胶林枯落物在8、24 mm/h雨强下,降雨分别历时60、20 min(即降雨总量均为8 mm)时,其截留率分别为(8.50±0.47)%和(8.30±0.23)%,而在16、24 mm/h的雨强下,降雨分别历时120、80 min(即降雨总量为32 mm)时,其截留率分别为(2.69±0.42)%和(2.75±0.17)%,其差异均不显著($n=4, p>0.05$)。进一步分析发现,3种雨强下,只要降雨总量相同,截留率受雨强的影响不显著;1.0 kg/m²枯落物也能得出相同结论。可见,模拟降雨条件下,尤其是在雨强相对不大时,枯落物截留率受雨强的影响并不显著。通过对数据的分析拟合,发现截留率与降雨量呈现极显著幂函数关系,而且枯落物在3种降雨强度下载留率函数的参数几乎相等,差异不显著($p>0.05$),所以在模拟计算中,可将不同雨强下载留率与降雨量的关系均化为同一函数关系式。

枯落物截留率在不同降水量级下差异明显,黄土高原油松和山杨林枯落物在5.0~60.0 mm降水量范围的截留率变化幅度分别为4.9%~28.7%和5.7%~27.0%^[2],而该研究得出0.5、1.0 kg/m²橡胶林枯落物在8.0~48.0 mm降雨范围的截留率变化幅度分别为2.02%~8.40%和2.92%~12.50%。可见橡胶林枯落物截留能力相对较弱,说明橡胶林枯落物自身持水能力和储量对其截留能力有着决定性的影响。

综上所述,橡胶树自身的生物学特性决定了其枯落物最大持水率较小,且有着随分解程度增强而减小的特点;而且橡胶林林分过于单一,加上受到频繁的人为管理活动干扰加快了枯落物分解的速度,导致枯落物储量偏低和时空异质性较大,特别

是到了雨季中、后期,橡胶林枯落物处于分解程度高(最大持水率小)和储量低的状态,其储水能力和截留能力都被削弱,显然不利于其发挥相应的生态水文功效。因此,在橡胶林的经营管理中,不仅要考虑改善林分过于单一的种植模式,还应特别重视枯落物的管理与保护,使枯落物在橡胶林生态系统过程与功能中发挥最大的水文功效。

3 结 论

(1) 20和40年生橡胶林枯落物储量分别为8.896和6.181 t/hm²,随着林龄增大,储量有所减少,叶、枝和种子果壳3种主要组分的比例也发生明显变化。

(2) 橡胶林枯落物持水量和吸水速率与浸泡时间之间均表现出较好相关性,持水量随时间变化过程在前2 h内增加较快,12 h接近饱和;吸水速率与浸泡时间之间的关系式为 $S=kt^n$,叶的吸水速率最大,枝次之,种子果壳最小。

(3) 模拟降雨下,橡胶林枯落物的截留能力较弱;截留量随雨强和枯落物厚度增大而增加,截留率随枯落物厚度增大而升高,随降雨量增加而降低,而雨强对截留率的影响不显著。

(4) 橡胶林枯落物储量较低以及持水性能和截留能力相对较弱,故应加强对林地枯落物的管理与保护,使其在橡胶林生态系统关键过程与功能中发挥最大的生态水文功效。

致谢: 研究中参考了中国生态系统研究网西双版纳热带森林生态系统定位研究站的降雨资料。

参考文献:

- [1] 陈奇伯, 张洪江, 解明曙. 森林枯落物及其苔藓层阻延径流速度研究[J]. 北京林业大学学报, 1996, 18(1): 1-5.
- [2] 高志义. 水土保持林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
- [3] Park H T, Hattori S, Tanaka T. Development of a numerical model for evaluating the effect of litter layer on evaporation[J]. Journal of Forest Research, 1998, 3: 25-33.
- [4] Sato Y, Kumagata T, Atsushi K, et al. Experimental analysis of moisture dynamics of litter layers - the effects of rainfall conditions and leaf shapes[J]. Hydrological Processes, 2004, 18: 3007-3018.
- [5] Putuhen W M, Cordery I. Estimation of interception capacity of the forest floor[J]. Journal of Hydrology, 1996, 180: 283-299.
- [6] 杨海龙, 朱金兆, 齐实, 等. 三峡库区森林流域林地的地表糙率系数[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 38-41.
- [7] 何常清, 于澎涛, 管伟, 等. 华北落叶松枯落物覆盖对地表径流的拦阻效应[J]. 林业科学研究, 2006, 19(5): 595-599.

- [8] Ogée J, Brunet Y. A forest floor model for heat and moisture including a litter layer [J]. Journal of Hydrology, 2002, 255: 212–233.
- [9] Miura S, Hirai K, Yamada T. Transport rates of surface materials on steep forested slopes induced by raindrop splash erosion [J]. Journal of Forest Research, 2002, 7: 201–211.
- [10] Zhang J C, Zhuang J Y, Su J S, et al. Development of GIS-based FUSLE model in a Chinese fir forest sub-catchment with a focus on the litter in the Dabie Mountains, China [J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255: 2782–2789.
- [11] Sayer E J. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems [J]. Biology Review, 2006, 81: 1–31.
- [12] 吴钦孝. 森林保持水土机理及功能调控技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [13] 张洪江, 程金花, 史玉虎, 等. 三峡库区3种林下枯落物储量及其持水特性 [J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 55–58.
- [14] 张洪江, 程金花, 余新晓, 等. 贡嘎山冷杉纯林凋落物储量及其持水特性 [J]. 林业科学, 2003, 39(5): 147–151.
- [15] 汪永英, 陶继哲. 小兴安岭南坡4种林分类型凋落物水文特性研究 [J]. 森林工程, 2008, 24(3): 21–25.
- [16] 张永利, 魏文俊, 冷冷. 宁夏六盘山不同森林类型林地的贮水量 [J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(5): 32–36.
- [17] 刘向东, 吴钦孝, 汪有科, 等. 油松林枯枝落叶层截留与蒸发的研究 [J]. 水土保持研究, 1994, 1(3): 19–23.
- [18] 赵鸿雁, 吴钦孝, 从怀军. 黄土高原人工油松林枯枝落叶截留动态研究 [J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 381–385.
- [19] 季冬, 关文彬, 谢春华. 贡嘎山暗针叶林枯落物截留特征研究 [J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(2): 86–90.
- [20] 莫菲, 于澎涛, 王彦辉, 等. 六盘山华北落叶松林和红桦林枯落物持水特征及其截持降雨过程 [J]. 生态学报, 2009, 29(6): 2868–2876.
- [21] 李国华, 田耀华, 倪书邦, 等. 橡胶树生理生态学研究进展 [J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 1146–1154.
- [22] Li H M, Ma Y X, Mitchell A T, et al. Past, present and future land-use in Xishuangbanna, China and the implications for carbon dynamics [J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255: 16–24.
- [23] 王鹏程, 肖文发, 张守攻, 等. 三峡库区森林植被林地枯落物现存量及其持水能力 [J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(4): 41–47.
- [24] 刘培娟, 杨吉华, 李申安. 三里庄水库上游水源涵养林不同林分枯落物水容量研究 [J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 239–242.
- [25] 张一平, 王馨, 王玉杰, 等. 西双版纳地区热带季节雨林与橡胶林林冠水文效应比较研究 [J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2653–2665.
- [26] 王佑民. 中国林地枯落物持水土作用研究概况 [J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 108–113.
- [27] 周卫卫, 余雪标, 王旭, 等. 海南琼中3种森林枯落物的现存量及持水特性研究 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(13): 6236–6239.
- [28] 王波, 张洪江, 杜士才, 等. 三峡库区天然次生林凋落物森林水文效应研究 [J]. 水土保持通报, 2009, 29(3): 83–87.
- [29] 曹鹤, 薛立, 梁丽丽, 等. 3种生态公益林凋落物的持水特性 [J]. 土壤通报, 2009, 40(1): 34–37.
- [30] 叶海英, 赵廷宁, 赵陟峰. 半干旱黄土丘陵沟壑区几种不同人工水土保持林枯落物储量及持水特性研究 [J]. 水土保持研究, 2009, 16(1): 121–125.
- [31] 何斌, 黄承标, 韦家国, 等. 不同林龄秃杉人工林凋落物储量及其持水特性 [J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(3): 44–46.
- [32] 任泳红, 曹敏, 唐建维, 等. 西双版纳季节雨林与橡胶多层林凋落物动态的比较研究 [J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 418–425.
- [33] 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.
- [34] 李文影, 满秀玲, 张阳武. 不同林龄白桦次生林土壤特性及其水源涵养功能 [J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(5): 63–69.
- [35] 程金花, 张洪江, 史玉虎, 等. 三峡库区三种林下地被物储水特性 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1825–1828.
- [36] 龚伟, 胡庭兴, 王景燕, 等. 川南天然常绿阔叶林人工更新后枯落物层持水特性研究 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 51–55.
- [37] 于志明, 王礼先. 水源涵养林效益研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [38] 张振明, 余新晓, 牛健植, 等. 不同林分枯落物层的水文生态功能 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 139–143.
- [39] 王冬云, 张卓文, 苏开君, 等. 广州流溪河流域毛竹林的水文生态效应 [J]. 浙江林学院学报, 2008, 25(1): 37–41.
- [40] Guevara E A, Gonzalez S E, Ramos S M, et al. Experimental analysis of drainage and water storage of litter layers [J]. Hydrology and Earth System Science, 2007, 11: 1703–1716.
- [41] Scott B R, Granillo A B. Soil protection by natural vegetation on clearcut forest land in Arkansas [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1985, 40(4): 379–382.

(责任编辑 郑琰琰)