

# 单性木兰生存群落凋落物及土壤水文生态效应

彭玉华, 谭长强, 郑威, 何峰, 申文辉

(1. 广西林业科学研究院, 广西 南宁 530002; 2. 广西优良用材林资源培育重点实验室, 广西 南宁 530002)

**摘要:** [目的] 分析广西壮族自治区木论自然保护区单性木兰成片分布区群落的凋落物和土壤水文生态效应, 为更好地评价单性木兰生存群落的水文生态效应提供依据。[方法] 在单性木兰成片分布区内, 采用样方法, 对单性木兰生存群落林下凋落物层和土壤层水文生态做定量研究。[结果] 林分凋落物现存量 $11.68 \text{ t/hm}^2$ , 最大持水总量 $19.46 \text{ t/hm}^2$ , 有效拦蓄能力 $13.87 \text{ t/hm}^2$ ; 半分解层凋落物现存量远大于未分解层, 占整个蓄积量的 $77.06\%$ , 其有效拦蓄量也占整个拦蓄量的 $75.56\%$ 。林分土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度分别为 $1.14 \sim 1.26 \text{ g/cm}^3$ ,  $51.36\% \sim 68.68\%$ ,  $41.58\% \sim 45.73\%$ ,  $8.80\% \sim 27.10\%$ , 土壤最大持水量和有效持水量分别为 $868.75 \sim 941.04, 64.00 \sim 133.73 \text{ t/hm}^2$ 。林地总蓄水量变化范围 $79.75 \sim 148.74 \text{ t/hm}^2$ 。[结论] 单性木兰成片分布区林地蓄水功能主要集中在土壤层中, 林分密度对土壤容重和土壤有效持水量有显著影响。

**关键词:** 单性木兰; 凋落物持水特性; 土壤持水能力; 林地蓄水能力

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2016)05-0119-07

**中图分类号:** S714.7, S715.3

**文献参数:** 彭玉华, 谭长强, 郑威, 等. 单性木兰生存群落凋落物及土壤水文生态效应[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 119-125. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.028

## Litter and Soil Hydrological Characteristics in *Kmeria Septentrionalis* Communities

PENG Yuhua, TAN Changqiang, ZHENG Wei, HE Feng, SHEN Wenhui

(1. Guangxi Forestry Academy, Nanning, Guangxi 530002, China;

2. Guangxi Key Laboratory of Elite Timber Tree Cultivation, Nanning, Guangxi 530002, China)

**Abstract:** [Objective] The aim of this study is to analyze the litter and soil hydrological characteristics in *Kmeria septentrionalis* communities in Mulun nature protection zone in Guangxi Zhuang Autonomous Region, in order to provide the basis for the evaluation of hydrological effects of *K. septentrionalis* communities. [Methods] In a continued area distributed with *K. septentrionalis* in Mulun, sampled plots were set to quantitatively investigate the hydrological characteristics of ground litter and soil. [Results] The litter volume was  $11.68 \text{ t/hm}^2$ , and the maximum water holding capacity was  $19.46 \text{ t/hm}^2$ . The available water interception was  $13.87 \text{ t/hm}^2$ , which was equivalent to  $1.39 \text{ mm}$  rainfall. The volume of semi-decomposed litter was greater than the volume of litter in non-decomposed layer, which accounted for  $77.06\%$  of total litter volume and produced  $75.56\%$  of the total litter interception. Soil bulk density, total porosity, capillary porosity and non-capillary porosity was from  $1.14$  to  $1.26 \text{ g/cm}^3$ ,  $51.36\%$  to  $68.68\%$ ,  $41.58\%$  to  $45.73\%$ ,  $8.80\%$  to  $27.10\%$ , respectively. Soil maximum water capacity and effective water holding was  $868.75 \sim 941.04 \text{ t/hm}^2$  and  $64.00 \sim 133.73 \text{ t/hm}^2$ , respectively. The forest's total water capacity ranged from  $79.75$  to  $148.74 \text{ t/hm}^2$ . [Conclusion] The water interception in *K. septentrionalis* distributing area was mainly concentrated in soil layer, and the stand density significantly affected soil bulk density and available water storage.

**Keywords:** *Kmeria septentrionalis*; litter water holding capacity; soil water holding capacity; forest water interception

收稿日期: 2015-09-07

修回日期: 2015-11-25

资助项目: 广西壮族自治区林业厅科技项目“广西青梅、单性木兰两种极小种群野生植物拯救保护与繁育研究”(桂林预护 2013009)

第一作者: 彭玉华(1963—), 女(汉族), 广西壮族自治区横县人, 大学本科, 高级工程师, 主要从事森林生态和森林栽培研究。E-mail: pyh112233456789@126.com。

通讯作者: 申文辉(1972—), 男(汉族), 湖南省安乡市人, 博士研究生, 教授级工程师, 主要从事森林培育研究。E-mail: shenwenhui2003@163.com。

森林水文生态功能是森林生态系统主要的服务功能之一。森林具有世界上最大的水土保持及水源涵养能力。森林因树种生物学特性、林分结构等因素不同,使其乔木层、灌木层、草本层、凋落物层、土壤以及根系层的结构、组成、种类数量和性质存在差异,造成其截持降水、贮蓄水分、调节径流的能力不同,它是森林植被和土壤长期共同综合作用的结果<sup>[1]</sup>。森林凋落物层和土壤层作为森林涵养水源的主体,占到森林总体水源涵养量的 80% 以上<sup>[2]</sup>,在森林发挥水文生态功能方面起到重要作用。森林凋落物层具有截持降水、减少侵蚀、阻延地表径流、抑制土壤水分蒸发以及增强土壤抗蚀性等重要水文功能<sup>[3-4]</sup>。森林凋落物层的水文效应与林分类型、组成、分解状况、累积状况等有较密切的关系。不同森林类型凋落物的持水能力差异很大;凋落物对降雨的截留量取决于其蓄水容量;凋落物分解程度越大,持水能力越强<sup>[4]</sup>。森林土壤层是自然赋予的大水库,是森林生态系统水文功能的重要组成部分,降雨沿着土壤空隙下渗,成为地下径流和土壤贮水,从而发挥森林涵养水源和保持水土的功能<sup>[4]</sup>。森林土壤层的水文效应与森林土壤类型、森林类型、凋落物、林木根系及林下生物群落等有密切的关系。土壤非毛管孔隙度的大小反映了森林植被滞留水分、发挥涵养水源和削减洪水的能力<sup>[5]</sup>;阔叶林土壤蓄水能力强于针叶林;凋落物层越厚抑制土壤蒸发的效应越大<sup>[6]</sup>。目前,对森林群落凋落物和土壤水文效应研究已成为当前研究的焦点<sup>[1-7]</sup>。

广西壮族自治区木论国家级自然保护区是中国第二批国家珍稀濒危植物单性木兰(*Kmeria septentrionalis*)仅见的成片分布区,为典型的喀斯特生态环境脆弱区<sup>[8]</sup>,地质背景复杂,裸岩广泛出露,其凋落物和土壤对防止水土流失和涵养水源尤其重要。为了摸清单性木兰成片分布区群落的凋落物和土壤水文效应,本文拟通过对该群落凋落物储量及其持水性能、土壤物理性质及其贮蓄水分能力进行研究,总结该林分群落凋落物层和土壤层的水文生态效应现状,旨在为更好地评价珍稀濒危植物单性木兰生存群落的水文生态效益提供依据。

## 1 研究区概况

木论自然保护区地处广西壮族自治区环江毛南族自治县西北部(107°53′—108°05′E, 25°03′—25°12′N),与贵州省茂兰国家自然保护区相连,为典型的喀

斯特地貌,海拔 250~1 028 m,总面积 10 829.7 hm<sup>2</sup>,保护区内石山裸露面积 80%~90%,土壤覆盖面积不足 20%,且土壤多分布于岩石缝隙间,只有洼地或谷地才有成片土壤,为中亚热带石灰岩常绿、落叶阔叶混交林生态系统。调查区域为下南乡板南屯单性木兰成片分布区,为保护区的边沿,成片面积达 18.7 hm<sup>2</sup>。海拔 500~550 m。据下南乡气象观测资料(保护区内缺乏气象资料),最冷月(1月)均温 9.3℃,最热月(7月)均温 26.9℃,年均温 19.3℃,极端最低温-5℃,极端最高温 36.0℃,≥10℃年活动积温 6 260℃,无霜期 310 d;年均降雨量为 1 529.2 mm,集中在夏季占全年的 52.4%,冬季只占 6.0%,春、秋季分别占 26.0%和 15.6%;干旱季节的平均相对湿度>76%,年平均相对湿度为 79%。分布区山地土层浅薄且不连续,裸露率高。样地为典型的中亚热带常绿、落叶阔叶混交林,主要的树种有:单性木兰、欆木(*Loropetalum chinense*)、柞木(*Xylosma congesta*)、桧叶安息香(*Styrax suberiifolius*)、虎皮楠(*Daphniphyllum oldhamii*)、小叶青冈(*Cyclobalanopsis myrsinifolia*)、小芸木(*Micromelum integerrimum*)、苹婆(*Sterculia nobilis*)、水同木(*Ficus fistulosa*)、糖胶树(*Alstonia scholaris*)、皂荚(*Gleditsia sinensis*)和鸡仔木(*Sinoadina racemosa*)等。灌木层主要有欆木、九里香(*Murraya exotica*)和红鳞蒲桃(*Syzygium hancei*)等。草本层主要有翠云草(*Selaginella uncinata*)、珍珠茅(*Scleria hebecarpa*)、石韦(*Pyrrosia lingua*)等。样地虽然进行了保护,但由于处于下南屯村庄后,偶尔还受到人畜的轻微干扰。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置与调查

2014年6月,在单性木兰成片分布区域内,选择1个斜坡(坡度等级参照欧芷阳等<sup>[9]</sup>方法),1个陡坡的上、中、下坡位分别设置样方进行调查,斜坡的下、中、上坡位分别为I,II,III样方,陡坡的下、中、上坡位分别为IV,V,VI样方,共计6个面积为20 m×20 m的样方,每个样方进一步划分为16个5 m×5 m的基本测量单元进行木本植物调查,对胸径(DBH)≥1 cm,树高(SH)≥1.5 m的木本植物进行每木检尺,记录树种名称、胸径、树高、冠幅和生长状况等,用GPS记录每个样方的海拔、经纬度、坡度等,调查情况详见表1。

表1 研究区样方调查的基本情况

样方	海拔/m	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	平均胸径/cm	平均树高/m	坡向/(°)	坡度/(°)	郁闭度/%	单性木兰的重要值/%
I	508	3 400.17	6.07	6.27	东南 123	20	90	20.63
II	510	3 575.18	5.22	5.83	东南 123	20	95	20.70
III	515	3 300.17	5.35	5.55	东南 123	20	85	8.11
IV	502	4 275.21	5.31	6.64	东北 33	30	90	3.50
V	542	5 275.26	4.95	6.71	东北 33	30	85	11.74
VI	571	4 075.20	5.67	7.12	东北 33	30	80	17.98

## 2.2 土壤物理性质

因单性木兰成片分布区山地土层浅薄且不连续,土壤理化性状的采集只涉及土壤的表层(0—20 cm)。在每个 20 m×20 m 样方内用环刀法按品字型采集 100 cm<sup>3</sup> 的环刀 3 个、铝盒 3 个,共计 18 个环刀、18 个铝盒。采用 100 cm<sup>3</sup> 的标准环刀进行土壤含水量、土壤孔隙度和土壤容重的测定,具体的测定及计算方法参照中华人民共和国林业行业标准《森林土壤水分—物理性质的测定》(LY/T 1215-1999)。

## 2.3 凋落物储量及持水性能

每个 20 m×20 m 样方内按 S 形设置 5 个 25 m×25 cm 收集点收集凋落物,调查凋落物层总厚度,并按未分解、半分解标准收集全部凋落物,将所收集凋落物样品带回实验室,称其自然状态质量,在 80 °C 下烘至恒定质量,称其干质量。以干物质质量推算不同植物群落凋落物现存量。采用室内浸泡法,将烘干

后的凋落物取部分称量装入网袋,并浸入盛有清水容器中浸泡 24 h,捞起后放置到凋落物不滴水时称质量,并参照彭玉华等<sup>[10]</sup>计算其最大持水率、最大持水量。每个样品 3 次重复。

## 3 结果与分析

### 3.1 凋落物现存量及持水能力

森林凋落物现存量和持水能力是反映森林水源涵养能力高低的重要因素之一。凋落物现存量与林分所处的水热条件、林分类型、物种构成、植物生长发育状况、人为活动、凋落物本身厚度、特性和分解状况等有密切关系<sup>[4]</sup>。从表 2 可见,单性木兰成片分布区内凋落物厚度、蓄积量样方间差异显著,变幅分别为 2.26~3.66 cm,9.793~13.483 t/hm<sup>2</sup>;所有样方半分解层的厚度、蓄积量均大于未分解层,可能与阔叶树种凋落物分解较快有关。

表2 研究区凋落物现存量

样方	总厚度/cm	总现存量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	未分解层			半分解层		
			厚度/cm	现存量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	占总现 存量/%	厚度/cm	现存量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	占总现 存量/%
I	2.76±0.32 <sup>bc</sup>	9.79±0.32 <sup>b</sup>	1.52±0.23 <sup>b</sup>	2.45±0.17 <sup>b</sup>	24.98	1.24±0.10 <sup>d</sup>	7.35±0.16 <sup>c</sup>	75.02
II	3.50±0.26 <sup>ab</sup>	13.48±0.81 <sup>a</sup>	1.14±0.07 <sup>c</sup>	2.19±0.12 <sup>b</sup>	16.22	2.36±0.19 <sup>ab</sup>	11.30±0.69 <sup>a</sup>	83.78
III	3.66±0.28 <sup>a</sup>	12.89±0.35 <sup>a</sup>	0.94±0.02 <sup>c</sup>	2.11±0.06 <sup>b</sup>	16.40	2.70±0.26 <sup>a</sup>	10.78±0.32 <sup>ab</sup>	83.60
IV	2.26±0.13 <sup>c</sup>	9.98±0.46 <sup>b</sup>	0.96±0.02 <sup>c</sup>	2.33±0.17 <sup>b</sup>	23.32	1.30±0.10 <sup>d</sup>	7.65±0.29 <sup>c</sup>	76.68
V	3.62±0.31 <sup>a</sup>	12.94±0.46 <sup>a</sup>	1.96±0.12 <sup>a</sup>	3.26±0.13 <sup>a</sup>	25.19	1.66±0.20 <sup>cd</sup>	9.68±0.33 <sup>b</sup>	74.81
VI	3.04±0.16 <sup>abc</sup>	11.01±0.40 <sup>b</sup>	1.02±0.04 <sup>c</sup>	3.47±0.17 <sup>a</sup>	31.55	2.02±0.12 <sup>bc</sup>	7.53±0.29 <sup>c</sup>	68.45
均值	3.14±0.15	11.68±0.40	1.26±0.10	2.63±0.14	22.94	1.88±0.14	9.05±0.41	77.06
F 值	4.778	10.764	13.833	16.126	—	11.699	20.961	—
显著性	0.012	0.000	0.000	0.000	—	0.000	0.000	—

注:数值均为平均值±标准误;不同字母则表示在 α=0.05 显著性水平时该组数据之间的差异显著。下同。

凋落物疏松多孔,水分可以充满孔隙并依靠表面张力维持在凋落物层中,展现出其较强的持水能力<sup>[11]</sup>。凋落物持水能力用最大持水率和最大持水量来表示,其值大小取决于林分类型、凋落物组成、分解状况、累积状况等因素。样方间(表 3)的凋落物最大

持水率、最大持水总量差异显著,变幅分别为 147.57%~185.38%,15.05~21.83 t/hm<sup>2</sup>,样方 II, III, V 的半分解层蓄积量较大,它们的最大持水量也较大。所有样方的半分解层凋落物最大持水量均大于未分解层;最大持水率的层次在各样方间呈现出

同的规律,样方 I, III 的未分解层凋落物最大持水率大于半分解层,而样方 II, IV, V, VI 的半分解层凋落物最大持水率大于未分解层,可能与样方中树种组成有关。

表 3 研究区凋落物最大持水能力

样方	最大持水率/%			最大持水量/(t·hm <sup>-2</sup> )		最大持水总量/ (t·hm <sup>-2</sup> )
	未分解层	半分解层	平均	未分解层	半分解层	
I	135.32±0.84 <sup>e</sup>	159.81±1.59 <sup>c</sup>	147.57	3.31±0.02 <sup>c</sup>	11.74±0.12 <sup>e</sup>	15.05±0.14
II	180.98±0.33 <sup>c</sup>	158.23±2.06 <sup>c</sup>	169.61	3.96±0.01 <sup>b</sup>	17.87±0.23 <sup>a</sup>	21.83±0.23
III	161.74±3.06 <sup>d</sup>	169.50±1.26 <sup>b</sup>	165.62	3.42±0.06 <sup>c</sup>	18.27±0.14 <sup>a</sup>	21.68±0.16
IV	174.88±4.93 <sup>c</sup>	162.41±1.46 <sup>c</sup>	168.65	4.07±0.12 <sup>b</sup>	12.43±0.11 <sup>d</sup>	16.50±0.07
V	209.27±4.81 <sup>a</sup>	151.78±0.47 <sup>d</sup>	180.53	6.82±0.16 <sup>a</sup>	14.69±0.05 <sup>b</sup>	21.52±0.20
VI	191.29±0.99 <sup>b</sup>	179.50±2.62 <sup>a</sup>	185.39	6.65±0.03 <sup>a</sup>	13.53±0.20 <sup>c</sup>	20.18±0.17
均值	175.58±5.72	163.54±2.23	169.56	4.70±0.36	14.76±0.61	19.46±0.66
F 值	65.979	32.181	—	353.696	327.368	309.054
显著性	0.000	0.000	—	0.000	0.000	0.000

### 3.2 凋落物有效拦蓄能力

凋落物最大持水量是人为把凋落物完全浸入水中后而测得的,它所表示的最大持水能力,是理想状态下的反映,但实际上,处于不同坡度、坡位的各类森林植被,其林下地表所覆盖的凋落物发生很长时间浸水条件的概率很小,降水落到凋落物上,一部分被其拦蓄吸收,一部分透过凋落物层的空隙快速入渗到土壤中。因此,采用最大持水量(率)指标来估算凋落物对降水拦蓄能力,其结果会偏高,采用有效拦蓄量会更接近于自然状况下的实际持水量。

从表 4 可知,有效拦蓄率变幅为 103%~

134.16%,有效拦蓄能力在 10.69~15.75 t/hm<sup>2</sup> 之间,相当于拦蓄 1.07~1.58 mm 的降雨,有效拦蓄量越大,对降雨的拦蓄能力就越强,可见森林凋落物像一个蓄水库,可以储蓄大量的降水。一般凋落物现存量越大,持水量越高,其截留降水的能力就越大,样方 II, III, V 的凋落物现存量较大,相应的它们拦蓄能力也较大。所有样方的半分解层凋落物有效拦蓄量均大于未分解层;有效拦蓄的层次在各样方间呈现出不同的规律,样方 I, III 的半分解层凋落物有效拦蓄率大于未分解层,而样方 II, IV, V, VI 的未分解层凋落物有效拦蓄率大于半分解层。

表 4 研究区凋落物有效拦蓄能力

样方	有效拦蓄率/%			有效拦蓄量/(t·hm <sup>-2</sup> )			有效拦蓄 量深/mm
	未分解层	半分解层	平均	未分解层	半分解层	总量	
I	93.52±0.72 <sup>e</sup>	114.33±1.35 <sup>c</sup>	103.93	2.29±0.02 <sup>c</sup>	8.40±0.10 <sup>c</sup>	10.69±0.12 <sup>d</sup>	1.07±0.01 <sup>d</sup>
II	133.05±0.28 <sup>bc</sup>	113.71±1.76 <sup>c</sup>	123.38	2.91±0.01 <sup>b</sup>	12.84±0.20 <sup>a</sup>	15.75±0.20 <sup>a</sup>	1.58±0.02 <sup>a</sup>
III	115.16±2.59 <sup>d</sup>	121.75±1.07 <sup>b</sup>	118.46	2.43±0.06 <sup>c</sup>	13.12±0.12 <sup>a</sup>	15.55±0.13 <sup>a</sup>	1.56±0.01 <sup>a</sup>
IV	124.89±4.19 <sup>c</sup>	114.29±1.23 <sup>c</sup>	119.59	2.91±0.10 <sup>b</sup>	8.75±0.09 <sup>c</sup>	11.65±0.06 <sup>c</sup>	1.17±0.01 <sup>c</sup>
V	152.50±4.09 <sup>a</sup>	103.63±0.40 <sup>d</sup>	128.07	4.97±0.13 <sup>a</sup>	10.03±0.04 <sup>b</sup>	15.01±0.17 <sup>b</sup>	1.50±0.01 <sup>b</sup>
VI	139.18±0.84 <sup>b</sup>	129.15±2.23 <sup>a</sup>	134.16	4.83±0.03 <sup>a</sup>	9.74±0.17 <sup>b</sup>	14.57±0.14 <sup>b</sup>	1.46±0.01 <sup>b</sup>
均值	126.38±4.63	116.15±1.97	121.27	3.39±0.27	10.48±0.45	13.87±0.48	1.39±0.05
F 值	59.438	34.897	—	273.876	244.744	229.882	229.110
显著性	0.000	0.000	—	0.000	0.000	0.000	0.000

### 3.3 土壤物理性质

土壤物理特性的大小决定着土壤的持水和溶解矿质元素的性能,也决定着植物的扎根和根系的吸水性能。林地土壤物理性质指标包括土壤厚度、容重和孔隙度等(表 5),这些指标对土壤的持水、保水能力等有直接影响。富含有机质、疏松多孔的土壤容重低,有机质含量少,坚实致密的土壤容重较高。研究

区内 6 个样方土壤容重差别不大,在 1.33~1.38 g/cm<sup>3</sup> 之间。土壤孔隙状况的组成直接影响土壤通气透水性和根系穿插的难易程度,其与土壤质地,有机质含量、结构、容重等密切相关,可直接影响到土壤中水、热、气、肥的分配,反映了土壤的透气、透水和保水、保肥的能力大小,可以说它是土壤各因子的综合反映。一般来说土壤孔隙度以 50%或稍大于 50%最好<sup>[12]</sup>。

表5 研究区土壤物理性状

样方	土壤容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度/ %	毛管孔隙 度/%	非毛管 孔隙度/%
I	1.34±0.01 <sup>a</sup>	56.82±2.95 <sup>bcd</sup>	45.38±0.71 <sup>ab</sup>	11.43±2.29 <sup>b</sup>
II	1.37±0.03 <sup>a</sup>	58.96±1.57 <sup>bc</sup>	45.73±1.14 <sup>a</sup>	13.23±2.69 <sup>b</sup>
III	1.33±0.01 <sup>a</sup>	51.36±2.05 <sup>d</sup>	42.56±0.38 <sup>bc</sup>	8.80±2.05 <sup>b</sup>
IV	1.36±0.01 <sup>a</sup>	53.49±0.63 <sup>cd</sup>	44.16±0.09 <sup>abc</sup>	9.33±0.58 <sup>b</sup>
V	1.38±0.01 <sup>a</sup>	68.68±2.24 <sup>a</sup>	41.58±0.31 <sup>c</sup>	27.10±2.03 <sup>a</sup>
VI	1.35±0.05 <sup>a</sup>	61.07±3.18 <sup>b</sup>	45.17±1.68 <sup>ab</sup>	15.90±3.37 <sup>b</sup>
均值	1.36±0.01	58.40±1.57	44.10±0.48	14.30±1.70
F值	0.758	7.340	3.500	8.510
显著性	0.597	0.002	0.035	0.001

本研究土壤总孔隙度在 51.36%~68.68% 之间,样方间差异显著,总孔隙度在 56.82%~61.07% 时单性木兰重要值较大(样方 I, II, VI)。毛管孔隙度的大小反映了森林植被吸持水分用于维持自身生长发育的能力。样方间的毛管孔隙度差异显著,在 41.58%~45.73% 之间,单性木兰重要值较大的样方毛管孔隙度也较大。非毛管孔隙度的大小反映了森林植被滞留水分、发挥涵养水源和削减洪水的能力。非毛管孔隙度在 8.80%~27.10% 之间差异显著,单性木兰重要值较大的样方 I, II, VI 非毛管孔隙度为 10%~20% 之间,而非毛管孔隙度<10% 的样方 III,

IV 的单性木兰重要值较小,可能是非毛管孔隙度过低,不利于地表径流的下渗,土壤透水性、通气性和持水能力难以协调。

### 3.4 土壤持水特性

林地土壤是森林生态系统贮蓄水分的主要容库,评价其持水性能一般以最大持水量、毛管持水量、非毛管持水量为指标<sup>[13]</sup>。从表 6 可知,不同的样方土壤持水能力存在差异。含水率、最大持水率、最大持水量和有效持水量在样方间差异不显著,分别在 27.44%~31.84%,32.00%~34.84%,868.75~941.04 t/hm<sup>2</sup>,64.00~133.73 t/hm<sup>2</sup>,单性木兰重要值较大的样方 I, II, VI 最大持水率和最大持水量均较大,但与其他样方的差异达不到显著。

毛管持水率、毛管持水量和有效持水率样方间差异显著,分别为 30.04%~33.98%,751.99~877.04 t/hm<sup>2</sup>,0.66%~1.96% 之间,土壤毛管持水率和毛管持水量取决于毛管孔隙度大小,毛管孔隙度大毛管持水率和毛管持水量相应也大,样方 I, II 的毛管孔隙度较大,所以它们的毛管持水量也较大;土壤有效持水率、有效持水量取决于非毛管孔隙度,非毛管孔隙度大有效持水率和有效持水量相应也大,样方 V, VI 的非毛管孔隙度较大相应的它们有效持水量也较大。

表6 研究区土壤持水能力

样方	含水率/%	最大持水率/%	最大持水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	毛管持水率/%	毛管持水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	有效持水率/%	有效持水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )
I	31.84±1.44 <sup>a</sup>	34.84±0.61 <sup>a</sup>	930.54±18.47 <sup>a</sup>	33.98±0.44 <sup>a</sup>	856.47±11.94 <sup>a</sup>	0.86±0.17 <sup>b</sup>	74.07±13.64 <sup>ab</sup>
II	31.46±1.15 <sup>ab</sup>	34.41±0.14 <sup>a</sup>	941.04±17.48 <sup>a</sup>	33.43±0.22 <sup>a</sup>	877.04±24.43 <sup>a</sup>	0.98±0.21 <sup>b</sup>	64.00±8.09 <sup>b</sup>
III	29.51±0.87 <sup>ab</sup>	32.65±0.41 <sup>b</sup>	868.75±8.37 <sup>b</sup>	31.98±0.31 <sup>a</sup>	785.55±3.05 <sup>bc</sup>	0.66±0.16 <sup>b</sup>	83.20±11.36 <sup>ab</sup>
IV	30.12±1.07 <sup>ab</sup>	33.18±0.37 <sup>ab</sup>	901.88±2.48 <sup>ab</sup>	32.49±0.32 <sup>a</sup>	822.48±7.68 <sup>ab</sup>	0.69±0.05 <sup>b</sup>	79.40±7.00 <sup>ab</sup>
V	27.44±1.10 <sup>b</sup>	32.00±0.52 <sup>ab</sup>	885.72±9.31 <sup>ab</sup>	30.04±0.42 <sup>b</sup>	751.99±3.78 <sup>c</sup>	1.96±0.15 <sup>a</sup>	133.73±6.39 <sup>a</sup>
VI	31.16±1.50 <sup>ab</sup>	34.65±1.44 <sup>a</sup>	935.20±31.78 <sup>a</sup>	33.46±1.28 <sup>a</sup>	822.00±30.01 <sup>ab</sup>	1.20±0.28 <sup>b</sup>	113.20±37.98 <sup>ab</sup>
均值	30.26±0.55	33.62±0.36	910.52±8.86	32.56±0.38	819.25±11.65	0.86±0.12	91.27±8.49
F值	1.818	2.756	2.886	5.502	7.246	6.886	2.214
显著性	0.184	0.070	0.061	0.007	0.002	0.003	0.120

### 3.5 林地拦蓄能力

森林主要是通过林冠层、凋落物层和土壤层的拦截滞蓄降水实现水源涵养功能,林冠层截留的水分很快被吸收和蒸发,不被森林贮存,因此评价林地蓄水量的主要指标为凋落物和土壤层的拦蓄能力。非毛管孔隙度反映了森林植被滞留水分、发挥涵养水源和削减洪水的能力,所以通常采用非毛管蓄水量作为计量森林土壤蓄水量的基准。

研究表明(表 7),林地总蓄水量变化范围 79.75

~148.74 t/hm<sup>2</sup>,相当于拦蓄 7.98~14.87 mm 的降雨。样方 V 的非毛管孔隙度最大,同时其凋落物现存量也较大,所以其林地蓄水量最大,表明森林凋落物现存量与土壤孔隙度(特别是非毛管孔隙度)的大小是决定森林蓄水能力的主要指标之一。在林地总蓄水量中,土壤层所占比例较大,均在 80% 以上,表明单性木兰成片分布区林地蓄水功能主要集中在土壤层中,它是水分贮存的主要场所。

表 7 研究区林地蓄水量

样方	土壤层蓄水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	凋落物层蓄水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	总蓄水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	最大蓄水深度/ /mm	占比/%	
					土壤层	凋落物层
I	74.07	10.69	84.76	8.476	87.39	12.61
II	64.00	15.75	79.75	7.975	80.25	19.75
III	83.20	15.55	98.75	9.875	84.25	15.75
IV	79.40	11.65	91.05	9.105	87.20	12.80
V	133.73	15.01	148.74	14.874	89.91	10.09
VI	113.20	14.57	127.77	12.777	88.60	11.40
均值	91.27	13.87	105.14	10.514	86.81	13.19

### 3.6 凋落物、土壤水文效应与地形、林分因子的相关性

通过对凋落物、土壤水文效应与地形、林分因子的相关分析表明(表 8)。海拔与林地总蓄水量、土壤有效持水量、凋落物最大持水量和有效拦蓄率有较大正相关,与土壤毛管持水量、土壤含水率呈负相关;凋落物最大持水率、凋落物有效拦蓄率、土壤含水率、土壤有效持水量和林地总蓄水量与坡度、坡向呈较大的正负相关;林分密度与土壤容重和土壤有效持水量呈

显著的正相关,与林地总蓄水量、土壤孔隙度有较大的正相关;林木平均胸径与土壤最大持水率有较大正相关,与凋落物现存量、凋落物最大持水量、凋落物有效拦蓄深、土壤容重有较大的负相关;林分郁闭度与凋落物最大持水率、凋落物有效拦蓄率、土壤有效持水量、林地总蓄水量有较大的负相关。地形、林分因子与凋落物、土壤水文效应的相关关系中,只有林分密度与土壤容重和土壤有效持水量的相关性达到显著,其它的均达不到显著,可能与研究尺度有关。

表 8 研究区地形、林分因子与凋落物、土壤水文效应的相关系数

地形、林分因子	凋落物保存量和水文效应					土壤物理性状和水文效应							
	保存量	最大持水率	最大持水量	有效拦蓄率	有效拦蓄深	容重	含水率	孔隙度	最大持水率	最大持水量	毛管持水量	有效持水量	林地总蓄水量
海拔	0.104	0.767	0.391	0.759	0.384	0.237	-0.184	0.609	0.045	0.135	-0.371	0.787	0.798
坡向	0.251	-0.716	0.022	-0.640	0.068	-0.562	-0.748	-0.478	0.321	0.108	0.491	-0.722	-0.699
坡度	-0.251	0.716	-0.022	0.640	-0.068	0.562	0.758	0.478	-0.321	-0.108	-0.491	0.722	0.699
密度	0.101	0.632	0.179	0.543	0.097	0.832*	0.461	0.773	-0.574	-0.255	-0.640	0.815*	0.803
胸径	-0.708	-0.587	-0.687	-0.562	-0.636	-0.729	-0.461	-0.356	0.770	0.495	0.527	-0.353	-0.395
郁闭度	-0.169	-0.718	-0.475	-0.710	-0.477	0.011	0.259	-0.342	0.112	0.143	0.513	-0.722	-0.741

注: \* 表示差异显著( $p < 0.05$ )。

## 4 讨论与结论

在森林生态系统中,凋落物的持水能力充当着系统水分循环中的重要角色,是一个重要的水文参数,凋落物本身就具有疏松多孔的特性,使水分依靠其表面张力吸附在空隙中,展现出其强大的拦截持水能力。单性木兰成片分布区内凋落物现存量为 11.68 t/hm<sup>2</sup>,最大持水总量为 19.46 t/hm<sup>2</sup>,有效拦蓄能力为 13.87 t/hm<sup>2</sup>,相当于拦蓄 1.39 mm 的降雨。远低于贵州天然林保护工程区<sup>[14]</sup>的常绿落叶阔叶林凋落物最大持水量(32.66 t/hm<sup>2</sup>)和重庆缙云山<sup>[15]</sup>常绿阔

叶林凋落物现存量(17.84 t/hm<sup>2</sup>)、最大持水量(43.20 t/hm<sup>2</sup>),高于广州白云山<sup>[16]</sup>天然常绿阔叶林凋落物最大持水量(4.83 t/hm<sup>2</sup>)、有效持水量(4.46 t/hm<sup>2</sup>)和广东鼎湖山<sup>[17]</sup>亚热带常绿阔叶林凋落物储量达(8.45 t/hm<sup>2</sup>)。这可能与群落演替阶段、立地、环境因子等有关。本研究中,半分解层凋落物现存量远大于未分解层,占整个蓄积量的 77.06%,其有效拦蓄量也占整个拦蓄量的 75.56%。与华北土石山区针叶林<sup>[18]</sup>的半分解层凋落物现存量(5.60 t/hm<sup>2</sup>)低于未分解层(6.14 t/hm<sup>2</sup>)、半分解的层有效拦蓄量(9.11 t/hm<sup>2</sup>)低于未分解层(13.10 t/hm<sup>2</sup>)的不一致。

可能与森林类型有关,一般阔叶林凋落物较易分解,而针叶林凋落物含有较多油脂不易分解<sup>[19]</sup>。

森林土壤是森林生态系统中最主要的水分贮蓄场所和调节器,其蓄水能力是评价森林涵养水源、调节水循环的一个重要指标,大小受诸多因素的影响。Zhang等<sup>[20]</sup>研究发现石丛广泛分布的地方土壤水分较低;Peng等<sup>[21]</sup>研究发现海拔和坡位是决定土壤含水率的首要影响因素;王轶浩等<sup>[22]</sup>研究表明地形因子对土壤水文效应有明显的影响。本研究表明地形、林分因子虽然对凋落物、土壤水文效应也有影响,但均达不到显著,只有林分密度对土壤容重和土壤有效持水量有显著影响。这可能与研究尺度、区域有关,本研究的单性木兰为极小种群濒危植物,分布范围狭窄,研究尺度较小,在大尺度上,环境因子是影响凋落物、土壤水文效应的主要因素,而在小尺度上,林分因子是影响凋落物、土壤水文效应的主要因素。

土壤持水能力与土壤的物理性质密切相关。本研究区土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度分别为在 $1.14\sim 1.26\text{ g/cm}^3$ , $51.36\%\sim 68.68\%$ , $41.58\%\sim 45.73\%$ , $8.80\%\sim 27.10\%$ ,其相应的土壤最大持水量和有效持水量分别为 $868.75\sim 941.04\text{ t/hm}^2$ , $64.00\sim 133.73\text{ t/hm}^2$ 。远高于云南金沙江流域森林<sup>[23]</sup>的土壤毛管孔隙度( $42.56\%\sim 51.25\%$ ),非毛管孔隙度( $2.52\%\sim 4.03\%$ ),土壤持水能力( $201.65\sim 246.40\text{ t/hm}^2$ )。这可能与非毛管孔隙度大小有关,有研究表明,非毛管孔隙度与土壤渗透性能呈正相关<sup>[13]</sup>。本研究也表明样方V非毛管孔隙度最大,其有效持水量也最大。一般来说毛管孔隙度中的水分可以长时间保持在土壤中,有利于植物根系吸收和土壤蒸发;非毛管孔隙度决定土壤有效持水量,有效持水量大说明持水能力强,利于森林土壤调节水分和较快吸收降水并及时下渗,有利于水源涵养。依据凋落物和土壤层非毛管蓄水量来评价单性木兰成片分布区林地水源涵养功能,总蓄水量变化范围 $79.75\sim 148.74\text{ t/hm}^2$ ,相当于拦蓄 $7.98\sim 14.87\text{ mm}$ 的降雨。在林地总蓄水量中,土壤层所占比例较大,均在80%以上,表明单性木兰成片分布区林地蓄水功能主要集中在土壤层中,它是水分贮存的主要场所。

通过对单性木兰成片分布区林地凋落物和土壤的水文效应进行分析,初步掌握了该林分群落凋落物层和土壤层的水文生态功能现状,为更好地评价珍稀濒危植物单性木兰生存群落的水文生态效益提供依据。但是森林植被的水文作用是在林冠层、凋落物层及土壤层的共同作用下进行的,而本研究缺少对林冠

层水文作用的观测研究;同时影响森林水文作用的因素较多,复杂程度较大,如林分物种组成、群落发育阶段、环境、人为等,其微小变化也会影响森林水文效应的评判结果,这些都有待于今后进一步开展研究。

#### [参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 吴迪,辛学兵,赵明扬,等.北京九龙山不同林分枯落物及土壤水文效应[J].林业科学研究,2014,27(3):417-422.
- [3] 鲁绍伟,高琛,李少宁,等.北京市松山不同海拔油松林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持通报,2014,34(1):1-6.
- [4] 魏强,张广忠,凌雷,等甘肃兴隆山主要森林类型凋落物及土壤层的蓄水功能[J].南京林业大学学报:自然科学版,2013,37(2):78-84.
- [5] 赵建生,王永明,杨新兵,冀北山地森林土壤水文效应研究[J].水土保持研究,2013,20(3):202-205.
- [6] 宋小帅,康峰峰,韩海荣,等.辽河源典型森林类型的土壤水文效应[J].水土保持通报,2015,35(2):101-105.
- [7] 王伟伟.栓皮栎林分枯落物的水文效应对土壤—植物水分运动的影响[J].水土保持通报,2015,35(3):105-111.
- [8] 黄品鲜,周永红,赖家业,等.珍稀濒危植物单性木兰种皮的挥发性成份分析[J].广西植物,2010,30(5):691-695.
- [9] 欧芷阳,苏志尧,彭玉华,等.桂西南喀斯特山地蚬木幼龄植株的天然更新[J].应用生态学报,2013,24(9):2440-2446.
- [10] 彭玉华,欧芷阳,曹艳云,等.桂西南喀斯特山地主要植被类型凋落物累积量及其持水特性[J].中南林业科技大学学报,2013,33(2):81-85.
- [11] 周娟,陈丽华,郭文体,等.大辽河流域水源涵养林枯落物持水特性研究[J].水土保持通报,2013,33(4):136-141.
- [12] 彭玉华,曹艳云,郝海坤,等.红锥、大叶栎和顶果木幼林土壤物理性质分析[J].林业科技开发,2013,27(2):26-29.
- [13] 丛日亮,张金池,黄进,等.苏南丘陵区主要林分类型土壤水文效应[J].亚热带水土保持,2010,22(4):13-17.
- [14] 戴晓勇,裴家模,罗魏,等.不同森林类型枯落物持水特性研究[J].贵州林业科学,2008,36(4):32-34,45.
- [15] 孙艳红,张洪江,程金花,等.重庆缙云山林地枯落物及土壤水文效应研究[J].中国水土保持科学,2006,4(3):31-35.
- [16] 苏志尧,陈北光,古炎坤,等.广州白云山风景名胜区几种森林群落枯枝落叶层的持水能力[J].华南农业大学学报:自然科学版,2002,23(2):91-92,85.

(下转第130页)

落物吸水速率在前 0.5 h 内最大,之后急剧下降,7 h 后下降速度明显减缓。华北落叶松枯落物拦蓄能力(14.06 t/hm<sup>2</sup>)强于白桦(8.85 t/hm<sup>2</sup>),其中,不同层次枯落物的拦蓄能力不同,华北落叶松未分解层大于半分解层,而白桦则为半分解层高于未分解层。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王美莲,王飞,姚娟娟,等.不同林龄兴安落叶松枯落物及土壤水文效应研究[J].生态环境学报,2015,24(6):925-931.
- [2] 喻阳华,李光容,严令斌,等.赤水河上游主要树种枯落物调蓄水分效应[J].中国水土保持科学,2015,13(3):39-44.
- [3] 白晋华,胡振华,郭晋平.华北山地次生林典型森林类型枯落物及土壤水文效应研究[J].水土保持学报,2009,23(2):84-89.
- [4] 吴迪,辛学兵,赵明扬,等.北京九龙山不同林分枯落物及土壤水文效应[J].林业科学研究,2014,27(3):417-422.
- [5] 秦仲,李湛东,成仿云,等.夏季栎树群落冠层结构对其环境温湿度的调节作用[J].应用生态学报,2015,26(6):1634-1640.
- [6] 胡淑萍,余新晓,岳永杰.北京百花山森林枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2008,22(1):146-150.
- [7] 沈会涛,由文辉,蒋跃.天童常绿阔叶林不同演替阶段枯落物和土壤水文特征[J].华东师范大学学报:自然科学版,2010(6):35-44.
- [8] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等.北京山地不同密度侧柏人工林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2013,27(1):224-229.
- [9] 陈国鹏,曹秀文,王会儒,等.白龙江干旱河谷岩生植物持水性能.水土保持学报,2014,28(1):102-105.
- [10] 梁文俊,丁国栋,周美思,等.冀北山地油松和落叶松林下枯落物的水文效应[J].水土保持通报,2012,32(4):71-74.
- [11] 陈波,杨新兵,赵心苗,等.冀北山地 6 种天然纯林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2012,26(2):196-202.
- [12] 宋庆丰,杨新兵,张金柱,等.雾灵山典型林分枯落物和土壤水文效应[J].生态环境学报,2009,18(6):2316-2320.
- [13] 田超,杨新兵,李军,等.冀北山地阴坡枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2011,25(2):97-103.
- [17] 官丽莉,周国逸,张德强,等.鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物量 20 a 动态研究[J].植物生态学报,2004,28(4):449-456.
- [18] 赵阳,余新晓,吴海龙,等.华北土石山区典型森林枯落物层和土壤层水文效应[J].水土保持学报,2011,25(6):148-152.
- [19] 张伟,杨新兵,张汝松,等.冀北山地不同林分枯落物及土壤的水源涵养功能评价[J].水土保持通报,2011,31(3):208-238.
- [20] Zhang Jiguang, Chen Hongsong, Su Yirong, et al. Spatial variability of surface soil moisture in a depression area of karst region[J]. Clean-Soil, Air, Water, 2011, 39(7): 619-625.
- [21] Peng Wanxia, Song Tongqing, Zeng Fuping, et al. Spatial distribution of surface soil water content under different vegetation types in northwest Guangxi, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 69(8): 2699-2708.
- [22] 王轶浩,王彦辉,谢双喜,等.六盘山小流域地形.植被特征与土壤水文物理性质的关系[J].生态学杂志,2012,31(1):145-151.
- [23] 刘芝芹,郎南军,彭明俊,等.云南高原金沙江流域森林枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2013,27(3):165-169,173.

(上接第 125 页)