

贵州茅台水源功能区不同植被类型的蓄水效应

焦 权^{1,2}, 戴全厚¹, 聂林红¹, 严友进¹

(1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省遵义市红花岗区水务局, 贵州 遵义 563000)

摘 要:森林植被层次结构对区域的蓄水保土功能具有重要的影响,对维护区域生态平衡也具有重要的意义。以贵州茅台水源功能区为研究对象,采用野外调查及室内分析相结合的方法,分析不同植被类型的蓄水效应,探讨防护林、水源涵养林的最优搭配层次结构。结果表明:随日降雨量增大,不同植被类型冠层截留量呈增加趋势,截留率呈相对减少趋势,树干茎流量和茎流率有所增加,且存在树干茎流产流降雨临界值,其中竹林为 12.5 mm,针阔混交林与马尾松林均为 14.5 mm,柏木林为 18.5 mm;不同植被类型枯落物最大持水量平均值乔木林为 26.14%,灌丛为 9.26%,竹林为 7.33%,草地为 6.93%。研究揭示林分结构越复杂,蓄水效应越显著;在自然立地条件下,贵州茅台水源功能区乡土树种造林最优层次结构为针阔混交林+铁仔灌丛+白茅草丛。

关键词:水源功能区; 蓄水效应; 垂向分析; 植被类型; 贵州茅台

中图分类号:S715.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)05-0199-06

Effect of Different Vegetation Types on Water Storage in the Source Functional Area of Maotai Town, Guizhou Province

JIAO Quan^{1,2}, DAI Quanhong¹, NIE Linhong¹, YAN Youjin¹

(1. Forestry College, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. Water Conservancy Bureau of Honghuagang County, Zunyi, Guizhou 563000, China)

Abstract: The hierarchical structure of different forest vegetation has an important influence on the function of water storage and soil conservation, and it also has important significance for maintaining regional ecological balance. This paper takes the water source function area of Maotai in Guizhou Province as the research site. We used the method of field investigation and indoor analysis to analyze the storage effect of different vegetation types, and to discuss the optimal collocation hierarchy of shelterbelt and water conservation forest. The results showed that the canopy interception of different vegetation types increased with the increase of daily rainfall, the interception rate showed a relative decreasing trend, and the stem flow rate and stem flow were increased, and the critical values of runoff and rainfall were found in the bamboo 12.5 mm, the needle-broad mixed forest and the *Pinus massoniana* 14.5 mm, the *Cupressus funebris* 18.5 mm. The maximum water holding capacity of different vegetation types showed that the arbor forest was 26.14%, the shrub was 9.26%, the bamboo grove was 7.33%, and the grassland was 6.93%. The study revealed that the more complex the forest structure was, the more remarkable the water storage effect was. Under the natural site condition, the most optimal level structure of the native tree species in the source functional area of Maotai in Guizhou is *Pinus massoniana* or *Cupressus funebris* and *Choerospondias axillaris* or others mixed forest + *Myrsine africana* + *Imperata cylindrica*.

Keywords: water function areas; impoundment effect; vertical analysis; vegetation type; Maotai town of Guizhou Province

随着生态文明建设的纵深推进,区域经济社会发展的新形势对生态环境及水资源保护提出更高更新的要求,相应的水资源与生态环境的保护问题日益成

为当前关注的焦点,“绿水青山就是金山银山”的观点正佐证保护生态环境与水资源的重要性 and 必要性。贵州茅台水源功能区孕育着茅台等美酒,保护、开发、

利用该区域价值巨大,且位于长江流域支流赤水河上游,是长江流域的生态屏障组成部分。区内山高坡陡,呈河谷地带,森林资源匮乏,植物多样性日趋减少,生态系统功能渐趋退化,直接或间接影响茅台等美酒的生产品质。长期以来,如何保护和改善该区域生态及水资源环境、合理搭配优良水源涵养林层次成为相关学者探讨的热点,也是茅台等美酒在周边生态环境恶化、市场经济竞争激烈的情况下持续稳定发展亟待解决的问题。

植被作为水源功能区重要的组成部分,发挥着涵养水源、维护生态平衡的重要作用,其结构特征、叶片形态、枯落物等与其持水性能的研究备受国内外学者的关注,但因树种生物学特性、林分结构不同,其持水效应存在差异^[1]。研究认为植被蓄水能力是地上植被层、枯落物层和林下土壤涵养的综合体现^[2]。目前,国内外众多学者对不同植被类型蓄水保土^[3]、蓄水潜力及价值的空间分布^[4],不同植被类型土壤^[5]、枯落物持水特性^[6]、树干茎流特性^[7],不同植物截留特征^[8]的研究较多,但大多集中在单独研究林冠层截留、树干茎流、植被枯落物及土壤持水特性上,而从垂向立体系统分析研究植被蓄水效应甚少,尤其对茅台水源功能区不同植被类型立体蓄水效应研究鲜有报道。因此,研究以贵州茅台水源功能区为研究对象,采用野外调查及室内分析相结合的方法,从垂向上分析地上植被层、枯落层及地下土壤层的蓄水效应,探讨水源功能区防护林、水源涵养林最优结构层次搭配,以期为该水源功能区水源涵养林层次结构的搭配提供一定的参考依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于贵州省仁怀市赤水河中上游,誉称“美酒河”段,属茅台水源功能区(104°45′—106°51′E, 27°20′—28°50′N),处于南方亚热带区域川黔湘鄂山地丘陵立地区的西部立地亚区,森林覆盖率26.47%。该区属于亚热带湿润季风气候,年日照时数1 400 h,年均气温16.3℃左右,≥10℃年积温在5 000~5 500℃,无霜期311 d左右。多年平均降雨量1 037.3 mm, >80 mm的降雨集中在4—10月,最大降雨在6月、7月出现。研究区海拔在600~850 m间,地形坡度界于2°~45°间,土壤主要为石灰土、黄壤、紫色土等。

区域内主要乔木为柏木(*Cupressus funebris*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、巴豆(*Croton tiglium*)、南酸枣(*Chorospodias axillaris*)、青桐(*Firmiana platani-*

lia)、枫香(*Liquidambar formosana*)、丝栗栲(*Castanopsis argentea*)、白栎(*Quercus fabri*)、君迁子(*Diospyros lotus*)等;竹林为撑绿竹(*Bambusa pervariabilis* × *Dendrocampa oldhami*);主要灌木为马桑(*Coriaria nepalensis*)、铁仔(*Myrsine africana*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)等;主要草丛为白茅(*Imperata cylindrica*)、小白酒草(*Conyza canadensis*)、芒箕(*Gleichenia linearis*)等。

1.2 样地设置

2011年3月—10月在贵州茅台水源功能区设置调查样地研究地上植被层、枯落物层及地下土壤层3层的蓄水效应。乔木林样地按20 m×20 m设置,分乔、灌、草三层调查,样地内灌木按2 m×2 m设置、草丛按1 m×1 m设置调查样方;灌丛样地按20 m×10 m设置,样地内灌木林按5 m×4 m,草丛1 m×1 m设置调查样方;草丛样地按10 m×10 m设置,样地内草丛按1 m×1 m设置调查样方;竹林样地按照15丛设置。每种样地重复3次,样地特征见(表1,表2)。

1.3 观测方法

(1) 地上植被蓄水测定。在距观测样地外空旷地布设自制雨量器(口径为15 cm塑料桶,桶内垫柔性塑料袋避免水滴外溅)收集林外降雨,设3次重复,取平均值作为林外降雨,并将21次日降雨量划分为0~30 mm, 30~60 mm, 60~90 mm及>90 mm共4个等级。同理,在样地内对角线上布设3~5个与样地外空旷地内设置的、同样大小的自制雨量器收集林内降雨量,取平均值作为林内降雨。在样地内选择具有代表性的标准木3株,用直径2.5 cm的聚乙烯塑料管(与树皮接触位置用玻璃胶密封)剖开后在树干基部按30°的倾角沿树干螺旋形缠绕一周半,用图钉固定,下部接容器收集茎流量,取平均值作为树干茎流。林外降雨与林内降雨和干流的差值即为冠层截留量。采用样方收割法、浸泡法测定林下植被持水量。

(2) 枯落物储量及持水测定。在样地范围内“S”型取样,现场记录采样点的枯落物厚度、质量、成分等指标,采用加权平均可得枯落物储量。将收集枯落物带回实验室,用“四分法”选取部分装入尼龙网袋置于85℃恒温条件下烘干至恒重并称量,再将其浸入清水中一段时间后取出直至其不滴水为止(5 min左右),迅速称重,枯落物的持水量为湿重和烘干后的重量之差。

(3) 土壤持水测定。在标准地内按“S”型设置样点,挖掘土壤剖面,根据土层厚度情况,用容积为100 cm³的环刀分别在0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm分层取原状土,并在每个层次用铝盒取土5 g左右,带回实验室用于测定土壤含水量和烘干重,重复3次。土壤饱

和含水量为带环刀的土壤浸润 12 h 后和带环刀的土壤烘干后的质量之差与带环刀的土壤浸润 12 h 后的质量

的比值。用环刀法和浸水法测定毛管最大持水量、土壤饱和含水量,用渗透筒法测定土壤渗透速度。

表 1 乔木、竹林样地特征

植被 类型	林型	样地号	地理坐标	土壤 类型	海拔/ m	坡向	坡位	坡度/ (°)	基岩裸 露率/%	郁闭度/ %	平均高/ m	平均 胸径/cm	
针叶林	柏木林	B1	106°19′13.3″E,27°47′24.9″N	石灰土	703	西	上	38	12	71	7.29	7.18	
		B2	106°18′48.9″E,27°47′40.8″N	石灰土	805	北	中	30	87	93	5.68	6.50	
		B3	106°18′34″E,27°47′16.1″N	石灰土	789	西	中	28	52	63	5.67	5.80	
	马尾松林	M1	106°18′42″E,27°47′40.3″N	黄壤	781	西	中上	39	2	79	8.80	14.80	
		M2	106°13′37.8″E,27°48′6.5″N	黄壤	613	北	中	45	3	85	7.70	12.00	
		M3	106°19′29.9″E,27°48′27.4″N	黄壤	650	西	上	2	0	52	15.40	15.90	
针阔混 交林	马尾松柏木 混交林	MB1	106°19′1.3″E,27°47′44.5″N	石灰土	759	西	中上	27	12	64	6.20	7.93	
		MB2	106°18′54.9″E,27°47′46.8″N	黄壤	748	东	中上	25	8	71	12.31	15.86	
		MB3	106°18′51.9″E,27°47′27″N	石灰土	748	北	中	39	12	87	12.08	15.44	
	杉木、枫香林	ZK1	106°18′57″E,27°47′51.8″N	黄壤	767	东	中	30	5	55	6.52	7.03	
	巴豆、南酸枣、柏木林	ZK2	106°19′3.9″E,27°47′17.8″N	石灰土	753	北	中上	65	88	90	8.06	9.07	
	青桐、柏木林	ZK3	106°18′59.3″E,27°47′8.1″N	石灰土	786	东	中	41	75	76	8.89	10.03	
	竹林	撑绿竹林	Z1	106°19′6.3″E,27°47′6.1″N	紫色土	809	北	中上	45	5	52	5.04	3.92
		撑绿竹林	Z2	106°19′1″E,27°47′6.8″N	紫色土	775	西	下	22	62	56	6.30	4.05
		撑绿竹林	Z3	106°19′29.2″E,27°47′17.1″N	紫色土	780	北	中	49	12	59	5.12	3.76
	阔叶林	巴豆、南酸枣林	K1	106°19′5.1″E,27°47′12.9″N	石灰土	749	南	中	29	91	52	6.60	7.90
丝栗栲、白栎林		K2	106°19′18.6″E,27°18′7.4″N	黄壤	634	东	下	49	1	61	10.67	14.62	
君迁子、丝栗栲林		K3	106°19′14.4″E,27°48′14.7″N	黄壤	621	南	中	52	12	65	8.61	9.14	

表 2 灌丛、灌草丛样地特征

植被类型	林型	样地号	地理坐标	土壤类型	海拔/m	坡向	坡位	坡度/(°)	基岩裸露率/%	盖度/%	平均高/m
灌丛	马桑、火棘灌丛	G1	106°19′5.5″E,27°47′42.4″N	石灰土	823	西	中上	22	5	75	0.76
	麻栎、铁仔灌丛	G2	106°19′1.9″E,27°47′43.6″N	石灰土	795	西南	中上	28	12	82	1.06
	白栎灌丛	G3	106°18′46″E,27°48′0.5″N	黄壤	707	北	中上	23	2	63	1.25
	白茅灌草丛	C1	106°18′41.6″E,27°47′41.1″N	黄壤	769	西	中上	26	1	93	0.63
灌草丛	小白酒草灌草丛	C2	106°18′44″E,27°47′47.7″N	黄壤	752	西	中	22	0	83	1.35
	芒箕灌草丛	C3	106°18′41.8″E,27°47′43.5″N	黄壤	787	西	中上	36	1	95	0.79

2 结果与分析

2.1 研究期间的降雨特征

研究期内(2011 年 3 月—10 月)在观测样地外空旷地布设自制雨量器(口径为 15 cm 塑料桶,桶内垫柔性塑料袋避免水滴外溅)收集林外降雨,设 3 次重复,取平均值作为林外日降雨量,记录降雨 21 次。降雨记录表明,该区域的降雨主要以大到小雨为主,降雨量普遍较小(表 3),日降雨量小于 10 mm 的降雨占记录数的 19.1%,日降雨量大于 50 mm 的降雨占记录数的 14.3%,其余为 10~50 mm 的降雨。从雨量分级来看,研究期间降雨基本以小到大为主,其中日降雨量小于等于 10 mm 的降雨出现

的频率为 19.1%,日降雨量 10~25 mm 为 23.8%,日降雨量 25~50 mm 为 42.9%,日降雨量 50~100 mm 为 9.5%,日降雨量大于 100 mm 的为 4.8%。综上,该地区的降雨主要集中在 5—7 月,降雨强度及降雨量均较小。

2.2 地上植被层蓄水效应

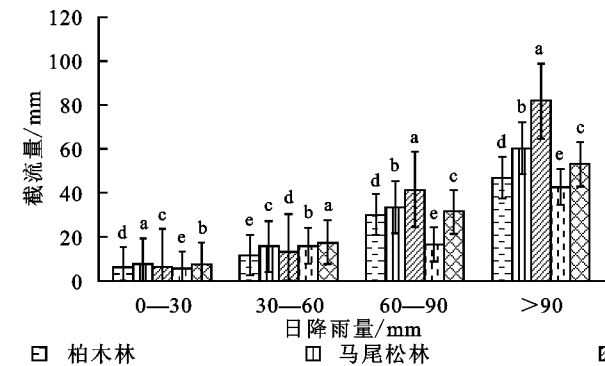
冠层是大气降雨进入森林生态系统的第一个层次,直接影响大气降雨分配。研究表明随日降雨量增大,冠层截留量呈增加趋势,截留率呈相对减少趋势,但截留率在雨量增加到一定程度后保持相对稳定(图 1),且不同植被类型间,总体呈现为针阔混交林截留量、截留率最大,撑绿竹林截留量、截留率最小。日降雨量低于 30 mm 时,植被对降雨截留率均较低、而截

留率都较高,可能是降雨量较小,雨滴无法穿透冠层而被截留;随日降雨量的增加,植被对降雨截留量增大,但截留率呈减少趋势,抑或因湿润叶面对雨滴的吸附延迟、雨滴集聚降落所致;当降雨量>90 mm时,针阔混交林的截留量和截留率达最大为 81.58 mm,60.60%,撑绿竹林最小,其表征冠层截留除受植被类型影响外,与降雨量关系十分密切,可能还受林冠结构特征、林分密度、风、温度等因素的影响。

研究表明,各植被类型树干茎流量和茎流率都比较小(图 2),随降雨量增加呈增加—减少—增加的趋势。日降雨量为 9.00 mm 时,植被开始产生树干茎流,但产流不连续。当日降雨量超过 12.5 mm 时,出现产生稳定茎流的降雨临界值,其中撑绿竹林为 12.5 mm 左右,针阔混交林与马尾松林为 14.5 mm 左右,柏木林为 18.5 mm 左右。当日降雨量大于 14.5 mm 时,各植被类型茎流量随日降雨的增加而增大,且相同日降雨量下茎流量呈现撑绿竹林>针阔混交林>针叶林(马尾松林>柏木林)。

2.3 枯落物层蓄水效应

各植被类型地表枯落物的持水特征存在明显差异(表 4),枯落物储量、自然持水量、最大持水量平均值为乔木林>灌丛>草地,自然持水量与最大持水量呈正相关关系;乔木林中,柏木林、针阔混交林、阔叶林的枯落物储量与最大持水量、最大持水率呈正相关,但马尾松林、针叶混交林例外;撑绿竹林的枯落物持水率虽然最大(347.41%),但其枯落物累积量最小,使得最大



注:不同小写字母代表各植被类型间的差异显著, $p<0.05$ 。

图 1 不同植被类型冠层的截留量、截留率

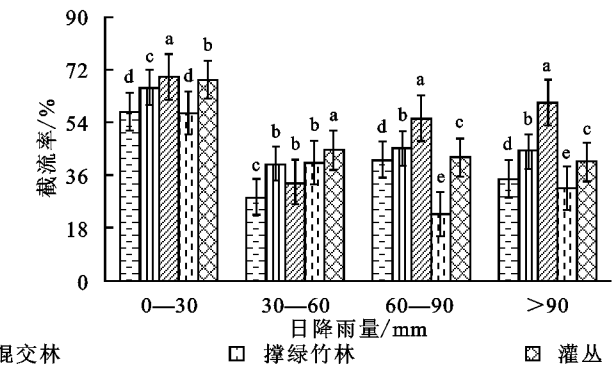
2.4 地下土壤层蓄水效应

在整个森林生态系统中,土壤层是最主要的水分贮存库和人文调节器,是森林涵养水源的主体。分析各植被类型土壤饱和含水量差异特征可见(表 5),乔木林最高、其次是草丛和灌木林、竹林最小,主要是不同植被的根系发育、树种组成、林分发育、林分水平及垂直结构不一样,造成土壤总孔隙和非毛管孔隙的不同,其蓄水能力也不一样;乔木林中针阔混交林内的土壤对水分调节

持水量也较小,说明枯落物储量对其蓄水效应存在直接影响,但不是唯一限制因素。总体而言,乔木林中相同枯落物储量阔叶林蓄水能力相对较强。

表 3 林外日降雨基本情况

降雨日期	林外日降雨量/mm	日降雨量等级/mm	场次/次
5月16日	0.23	<10	4
5月15日	1.18		
5月12日	6.90		
5月31日	10.00		
6月18日	10.20	10~25	5
5月24日	10.70		
5月14日	14.50		
6月04日	17.00		
5月22日	22.10	25~50	9
9月26日	30.00		
9月23日	30.60		
6月13日	32.20		
10月29日	33.00	50~100	2
7月23日	33.30		
6月26日	34.00		
8月04日	46.70		
6月05日	50.00	>100	1
8月22日	50.00		
10月22日	70.80		
7月06日	80.00		
6月23日	125.30		



能力较强,马尾松林最弱,可能是针阔混交林间树种相互补充共同改善土壤的结果。同时铁仔灌丛、白茅草丛的持水量明显优于其他灌草丛。

降雨在土壤剖面垂直入渗时,入渗速率大小将影响土壤垂直入渗过程以及减少地表径流能力和水源涵养功能。从林地土壤平均渗透率来看,竹林的初渗速率、稳渗速率均最大,分别是 12.30 mm/min, 5.49 mm/min,草地与乔木林次之分别为 8.89 mm/min,

2.14 mm/min 和 6.39 mm/min, 2.57 mm/min, 灌丛最小为 1.31 mm/min, 0.59 mm/min, 可见不同植被类型间土壤的非毛管孔隙度大小顺序为竹林>乔木林>灌木林>草地; 乔木林中针阔混交林的人渗速率最大, 马尾松林最小; 灌木林、草地入渗率最大分别为铁仔灌丛、白茅灌丛。综合考虑不同植被类型的经济效益及持水能力, 可知针阔混交林、铁仔灌丛、白茅灌丛土壤持水性能、渗透性能较好, 且针叶林中, 柏木林下土壤持水性能、渗透性能较马尾松高。

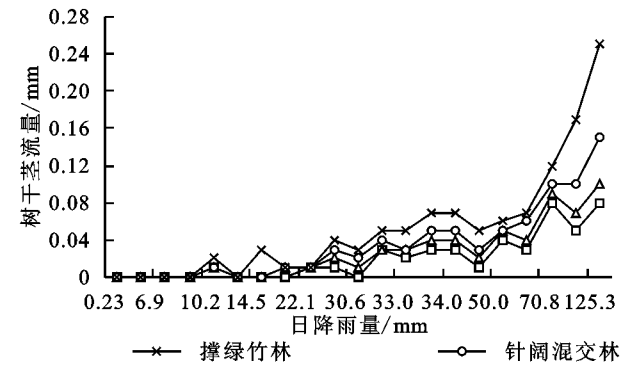


图 2 不同植被类型的树干茎流随日降雨变化特征

林分种类	植被类型	毛管	非毛管	饱和	渗透速率/(mm·min ⁻¹)	
		孔隙度/%	孔隙度/%	含水量/%	初渗速率	稳渗速率
乔木林	马尾松林	28.86	11.36	22.59	2.02	1.02
	柏木林	26.29	26.09	31.17	5.93	3.25
	针叶混交林	35.52	6.96	31.88	6.97	3.23
	针阔混交林	31.24	18.12	41.66	11.16	3.88
竹林	阔叶林	27.00	29.50	32.13	5.87	1.50
	撑绿竹林	20.50	25.26	25.58	12.30	5.49
灌木林	白栎灌丛	31.30	16.17	26.71	1.28	0.62
	马桑灌丛	26.05	25.61	24.80	0.78	0.56
	铁仔灌丛	37.77	10.66	35.83	1.96	0.59
草地	白茅草丛	35.97	8.66	35.57	13.94	3.00
	小白酒草丛	32.78	7.88	27.48	7.83	2.45
	芒箕草丛	32.11	9.14	28.93	4.89	0.98

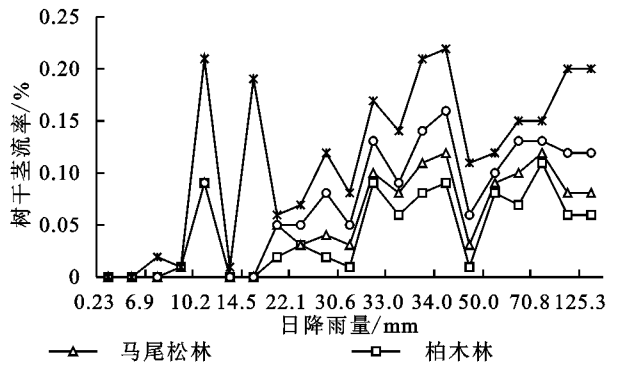
3 讨论

3.1 植被蓄水效应影响因素

研究认为随日降雨量等级增大, 不同植被类型截留量呈现增加趋势, 截留率呈相对减少趋势, 且较大雨强时, 冠层树种结构越复杂, 其截留量越大, 与宋文龙等^[9]认为植被冠层截留降水特征及变化受降水特征和地表植被状况共同影响观点相符。研究还认为, 针阔混交林冠层截留量及截留率稍大于其他植被类型, 其主要原因为林分结构、叶面结构较其他复杂导致截留效果更明显。但事实上 Alan 等研究认为林冠截留量与降雨雨强呈反比关系或相关性不高^[10-12], 表明冠层截留除受降雨气象因子的影响外, 还受叶片大小、宽窄、粗糙

表 4 不同植被类型枯落物蓄水能力表

林分种类	植被类型	枯落物储量/(t·km ⁻²)	自然持水量/(t·km ⁻²)	最大持水量/(t·km ⁻²)	最大持水率/%
乔木林	柏木林	8.34	30.40	34.00	297.32
	马尾松林	5.91	15.18	17.38	202.74
	针叶混交林	5.86	25.77	28.48	179.78
	针阔混交林	5.72	26.94	29.30	281.21
	阔叶林	4.77	20.10	21.36	280.65
竹林	撑绿竹林	1.48	7.01	7.33	347.41
灌木林	灌丛	3.29	7.86	9.26	135.58
草地	草丛	1.59	6.26	6.93	241.45



程度以及叶片微观几何结构形成的非光滑体、叶片接触角、叶片蜡质及叶片表面绒毛等影响^[13]。

本研究中各树种存在不同的树干茎流产流降雨临界值, 且降雨量超过临界值时茎流随降雨量的增大而增加, 呈现撑绿竹林>针阔混交林>针叶林(马尾松林>柏木林), 其主要由于撑绿竹林属丛生林、主干光滑, 枝叶茂密且枝叶与主干的角度较小, 其干流较其他植被大, 但其经济价值低于针阔混交林。针阔混交林叶片相间分布、相互补充, 能促使较多的降雨沿树枝、树干向下流, 但由于枝干表面粗糙松软, 枝条与主干分枝角度较大, 直接流入主干的水分较少, 再加上树皮的吸收, 所以其干流率很低, 产生干流的临界降雨量较撑绿竹林大, 表明树干光滑程度、枝与干的

角度及叶面特征影响树干茎流量,这与徐乐天等^[14]认为树干茎流受降雨因素(降雨前干沉降时间长度等)、林分特征(叶面积指数、树皮特征)、树木枝叶特征(分枝角度等)的影响结论一致。

3.2 植被枯落物蓄水效应影响因素

本研究认为乔木林枯落物储量、自然持水量和最大持水量总体高于灌木林和草丛;乔木林中,柏木林、针阔混交林、阔叶林的枯落物储量与最大持水量、最大持水率呈正相关,但马尾松林、针叶混交林例外;撑绿竹林的枯落物持水率最大,但其枯落物累积量最小,使得最大持水量也较小,表明枯落物含量影响植被蓄水能力,还受枯落自身组成、质地、结构和分解程度^[15]及林龄、覆盖度和枯落物蓄积、干湿状态和雨量大小、雨强等^[16]因素影响。

3.3 林下土壤蓄水效应影响因素

林下土壤对降水的涵养调节功能表现为林地土壤对水分的静态涵养能力(蓄水能力)和动态调节能力(渗透性能)^[17],主要受植被类型、土壤含水量、土壤层次厚度、降水持续时间及强度、枯落物等因素的影响。本研究认为灌丛和草丛的毛管持水量显著高于乔木和竹林,其主要是灌丛和草丛根系发达,穿插于土壤中增加孔裂隙度,其纤维质含量少,枯落物更新周期和分解速率快,增加土壤有机质及土壤黏粒含量,改善土壤的毛管孔隙度,阐明土壤蓄水能力受限于土壤结构、有机质、毛管孔隙度及黏粉粒含量等^[18]。同时研究表明,土壤渗透性除受植被类型不同影响外,还与土壤质地、总孔隙度、土壤温湿度有关,是植被与土壤相互改善的结果。

3.4 水源涵养林最优搭配层次结构

水源涵养林在林分尺度上的理想结构为复层、异龄、混交林结构,具有比较发达的灌木层和草本层,并且具有较高的生物多样性和生物生产力^[19],且复层、异龄、混交的水源涵养林天然林结构优于同龄、单层、纯林的人工林结构^[20]。本研究认为,针阔混交林冠层的截留量、截留率普遍高于其他植被类型,综合植被的经济价值、冠层截留及土壤持水等认为针阔混交林具有较高的持水效应。同时林分结构复杂程度,对枯落物、土壤持水效应也极为明显,研究认为铁仔灌丛、白茅草丛下的土壤持水量明显优于其他灌草丛。

综合表明在研究区自然立地条件下,乡土树种造林最优层次为针阔混交林+铁仔灌丛+白茅草丛,与前人研究结论相符,表明研究区应加强天然水源涵养林的保护,同时人工水源涵养林应乔灌草多层次、多树种的搭配。

4 结论

(1) 日降雨量不同,各植被类型林冠层的截留量和截留率存在一定的差异,且随日降雨量增大,截留量呈增加趋势,截留率呈相对减少趋势;纯林冠层的截留效应较混交林低,针阔混交林冠层截留效益显著,反映优化冠层造林树种的搭配对降雨截留、蓄水保土意义明显。

(2) 各树种树干茎流随日降雨量的增大有所增加,且存在产流降雨临界值;对于不同植被枯落物储量、自然持水量、最大持水量平均值总体水平乔木林>灌丛>草地,其中最大持水量乔木林为26.14%,灌丛为9.26%,竹林为7.33%,草地为6.93%。

(3) 自然立地条件下,不同植被类型与土壤间相互作用、相互改善,植被着生于土壤并改善其理化性质,土壤理化性质的改变又为新的植被类型着生创造环境。在茅台水源功能区,水源涵养林的建设宜采用乔灌草多层次植被搭配,冠层树种宜采用针(马尾松或柏木)阔混交林,白栎灌丛与白茅草丛持水优于其他灌草丛,阔叶林枯落物层持水能力最强,乡土树种造林最优层次为针阔混交林+铁仔灌丛+白茅草丛。

参考文献:

- [1] 吕刚,张由松,祝业平.老秃顶子自然保护区不同森林类型土壤贮水与入渗特征研究[J].水土保持通报,2011,31(1):109-113.
- [2] 陈严武,史正涛,曾建军,等.水源地不同林分水源涵养功能评价[J].干旱区资源与环境,2015,29(2):67-74.
- [3] 吴晋霞,陈奇伯,王克勤,等.滇中高原不同植被的蓄水保土效应及对土壤有机碳的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2015,43(4):141-148.
- [4] 吴波,石培礼,井学辉,等.大兴安岭东部林区植被蓄水潜力与价值的评估[J].林业科学研究,2006,19(6):706-712.
- [5] 王苗苗,陈洪松,付同刚,等.典型喀斯特小流域不同植被类型间土壤养分的差异性及其空间预测方法[J].应用生态学报,2016,27(6):1759-1766.
- [6] 陆梅,田昆,赖建东,等.高原湿地纳帕海周边山地不同植被类型枯落物持水特性[J].水土保持通报,2011,31(1):28-34,52.
- [7] 鲜靖苹,张家洋,胡海波.森林冠层水文研究进展[J].西北林学院学报,2014,29(3):96-104.
- [8] 刘艳丽,王全九,杨婷,等.不同植物截留特征的比较研究[J].水土保持学报,2015,29(3):172-177.
- [9] 宋文龙,杨胜天,路京选,等.黄河中游大尺度植被冠层截留降水模拟与分析[J].地理学报,2014,69(1):80-89.
- [10] Alan M, Ali F. Throughfall characteristics in three non-native Hawaiian forest stands[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010,150(11):1453-1466.

参考文献:

- [1] Mockus V. Estimation of direct runoff from storm rainfall; National engineering handbook. soil conservation service[M]. US Dept. , 1972.
- [2] Kliment Z, Kadlec J, Langhammer J. Evaluation of suspended load changes using AnnAGNPS and SWAT semi-empirical erosion models[J]. Catena, 2008,73(3):286-299.
- [3] Tyagi J V, Mishra S K, Singh R, et al. SCS-CN based time-distributed sediment yield model[J]. Journal of Hydrology, 2008,352(3/4):388-403.
- [4] 王红艳,张志强,查同刚,等. 径流曲线数(SCS-CN)模型估算黄土高原小流域场降雨径流的改进[J]. 北京林业大学学报,2016,38(8):71-79.
- [5] Tyagi J V, Mishra S K, Singh R, et al. SCS-CN based time-distributed sediment yield model[J]. Journal of Hydrology, 2008,352(3):388-403.
- [6] Bhuyan S J, Mankin K R, Koelliker J K. Watershed-scale AMC selection for hydrologic modeling[J]. Transactions of the Asae, 2003,46(2):303-310.
- [7] Shi Zhihua, Chen Liding, Fang Nufang, et al. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China [J]. Catena, 2009,77(1):1-7.
- [8] Woodward D E, Hawkins R H, Jiang R, et al. Runoff curve number method;examination of the initial abstraction ratio [C] // World Water & Environmental Resources Congress 2003,2003;1-10.
- [9] 张钰炯,穆兴民,王飞. 径流曲线数模型(SCS-CN)参数 λ 在黄土丘陵区的率定[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(5):124-128.
- [10] 周淑梅,雷廷武. 黄土丘陵沟壑区典型小流域 SCS-C 方法初损率取值研究[J]. 中国农业科学,2011,44(20):4240-4247.
- [11] 孙立堂,曹升乐,陈继光,等. 改进的 SCS 模型产流参数在小清河流域的率定[J]. 人民黄河,2008,30(5):33-34.
- [12] 王英,黄明斌. 径流曲线法模型参数在黄土地区的优化研究[J]. 水土保持通报,2008,28(1):54-58.
- [13] Huang M, Gallichand J, Wang Z, et al. A modification to the Soil Conservation Service curve number method for steep slopes in the Loess Plateau of China [J]. Hydrological Processes, 2006,20(3):579-589.
- [14] 李常斌,秦将为,李金标. 计算 CN 值及其在黄土高原典型流域降雨径流模拟中的应用[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(8):67-70.
- [15] Boughton W C. A review of the USDA SCS curve number method[J]. Soil Research, 1989,27(3):511-523.
- [16] 蒋观滔. 基于 SWAT 模型的北洛河上游土地利用/覆被变化水沙响应研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2016.

~~~~~

(上接第 204 页)

- [11] 陈丽华,张艺,余新晓,等. 北京山区典型森林植被林冠截留特征及模拟[J]. 北京林业大学学报,2013,21(3):423-431.
- [12] 李振新,欧阳志云,郑华,等. 岷江上游两种生态系统降雨分配的比较[J]. 植物生态学报,2006,30(5):723-731.
- [13] 刘艳丽,王全九,杨婷,等. 植物叶片截留特征分析[J]. 水土保持研究,2015,22(4):143-147,154.
- [14] 徐天乐,朱教君,于立忠,等. 辽东山区次生林生态系统不同林型树干茎流的理化性质[J]. 生态学报,2013,33(11):3415-3424.
- [15] 石小亮,张颖,单永娟,等. 云南省高原典型森林植被涵养水源功能研究[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(8):1366-1372.
- [16] 张东,邵社刚,赵辉. 晋西黄土丘陵沟壑区主要人工林枯落物水文特性研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2014,42(5):97-101,110.
- [17] 鲍乾,梁建发,王棋,等. 花江喀斯特石漠化区不同经济型植物的土壤蓄水特征[J]. 水土保持研究,2017,24(1):18-24.
- [18] 潘春翔,李裕元,彭亿,等. 湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能[J]. 生态学报,2012,32(2):0538-0547.
- [19] 李建军,张会儒,熊志祥,等. 水源涵养林健康评价指标系统的结构解析[J]. 中南林业科技大学学报,2014,34(7):19-26.
- [20] 王威,郑小贤,宁杨翠. 北京山区水源涵养林典型森林类型结构特征研究[J]. 北京林业大学学报,2011,33(1):60-63.