

# 重庆缙云山不同林分类型水源涵养功能研究

成晨, 王玉杰, 潘玉娟, 储小院, 齐娜, 申彦科

(北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 通过实地调查与实验分析, 对重庆市缙云山中马尾松+ 四川大头茶混交林(MDH)、四川大头茶+ 山矾混交林(DSH)、马尾松+ 广东山胡椒混交林(MKZH)、广东山胡椒+ 杉木混交林(GSZH)、马尾松火烧迹地(MJD)和楠竹+ 山矾+ 马尾松混交林(NMH)水源涵养的能力进行了分析。结果表明, 6 种林分的地上部分持水总量顺序为 DSH(73. 871 t/hm<sup>2</sup>)> NMH(71. 136 t/hm<sup>2</sup>)> MDH(58. 103 t/hm<sup>2</sup>)> MKZH(57. 430 t/hm<sup>2</sup>)> GSZH(30. 677 t/hm<sup>2</sup>)> MJD(19. 010 t/hm<sup>2</sup>); 各种林分的枯落物实际拦蓄效应排序为 NMH> DSH> MKZH> GSZH> MDH> MJD; 非毛管持水量顺序为: NMH(204. 300 mm)> MJD(168. 909 mm)> MKZH(145. 598 mm)> GSZH(137. 547 mm)> MDH(48. 919 mm)> DSH(43. 096 mm); 各林分涵养水源能力顺序为 NMH(211. 4 mm)> MJD(170. 8 mm)> MKZH(151. 2 mm)> GSZH(140. 6 mm)> MDH(54. 6 mm)> DSH(50. 2 mm); 各林分涵养水源能力排序为 NMH(0. 864)> MKZH(0. 767)> DSH(0. 744)> MDH(0. 613)> GSZH(0. 512)> MJD(0. 477)。

**关键词:** 缙云山; 林冠截留; 枯落物持水; 土壤蓄水; 水源涵养

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)04-0174-06

中图分类号: S715, S718

## Water Conservation Capacity of Different Forest Types in Jinyun Mountains of Chongqing City

CHENG Chen, WANG Yu2jie, PAN Yu2juan, CHU Xia2yuan, QI Na, SHEN Yan2ke

(College of Soil and Water Conservation, and Key Lab of Soil and Water Conservation and

Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** An experiment was conducted to study the water conservation capabilities of *Pinus massoniana* and *Gordonia Szechuanensis* mixed forest(MDH), *Gordonia Szechuanensis* and *Symplocos setchuensis* mixed forest(DSH), *Pinus massoniana* and *Lindera kwangtungensis* mixed forest(MKZH), *Lindera kwangtungensis* and *Cunninghamia lanceolata* mixed forest(GSZH), *Pinus massoniana* burned area(MJD), and *Phyllostachys pubescens* mixed forest(NMH) in Jinyun Mountains, Chongqing City. Results showed that for water holding capacity above ground, the order of forest types was DSH(73. 871 t/hm<sup>2</sup>)> NMH(71. 136 t/hm<sup>2</sup>)> MDH(58. 103 t/hm<sup>2</sup>)> MKZH(57. 430 t/hm<sup>2</sup>)> GSZH(30. 677 t/hm<sup>2</sup>)> MJD(19. 010 t/hm<sup>2</sup>); by the actual effect of storing of litter, NMH> DSH> MKZH> GSZH> MDH> MJD; by water-holding capacity of noncapillary porosity, NMH(204. 300 mm)> MJD(168. 909 mm)> MKZH(145. 598 mm)> GSZH(137. 547mm)> MDH(48. 919 mm)> DSH(43. 096 mm); and for water conservation capacity of different forest types, NMH(211. 4 mm)> MJD(170. 8 mm)> MKZH(151. 2 mm)> GSZH(140. 6 mm)> MDH(54. 6 mm)> DSH(50. 2 mm).

**Keywords:** Jinyun Mountains; canopy interception; water holding of litter; soil water conservation; conserved water source

森林的水源涵养功能是森林生态系统的—个重要研究领域, 不同森林类型由于其树种生物学特性与林分结构的不同, 其林分的水源涵养效应存在一定的差异<sup>[123]</sup>。森林群落的地上部分通过截留降雨, 能削

弱降雨侵蚀力, 降低径流冲刷力。但是林木地上部分的持水量通常仅占林分水源涵养能力的 15% 以下; 而林分则是影响森林涵养水源的主导因子<sup>[46]</sup>。不同的林分类型, 其枯落物的吸水能力及分解程度存在很

收稿日期: 200821206

修回日期: 200903210

资助项目: / 十一五国家科技支撑项目/ 重庆北部水源区水源涵养林构建技术试验示范(2006BAD03A1802); 国家自然科学基金项目(30671661)

作者简介: 成晨(1981), 男(汉族), 山西省孝义市人, 博士研究生, 主要研究方向为山地灾害防治工程。E2mail: cc75335114@tom.com.

通信作者: 王玉杰(1960), 男(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为土壤侵蚀、林业生态工程。E2mail: wyujie@bjfu.edu.cn.

大差异,导致其持水能力的差别。本研究对位于长江三峡库区上端的重庆市缙云山的6种森林类型的林冠持水、枯落物持水及土壤蓄水方面进行了探讨。通过分析所得出的流域内涵养水源功能较强的优势林分,可为合理调整流域内森林结构布局,充分发挥森林的涵养水源功能提供参考。

## 1 研究区概况

缙云山自然保护区位于重庆市北碚区境内,嘉陵江小三峡之温塘峡西岸,东经106°22′,北纬29°49′,海拔350~951.5 m。该保护区具有亚热带季风湿润性气候特征,年平均气温13.6℃,年均日照1293.9 h,相对湿度年平均87%,年平均降水量1611.8 mm,年平均蒸发量777.1 mm。

土壤以三叠纪须家河组厚层石英砂岩、灰质页岩和泥质页岩为母质风化而成的酸性黄壤及水稻土。

主要树种为马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、四川大头茶(*Gordonia Szechuanensis*)、广东山胡椒(*Lindera kwangtungensis*)、楠竹(*Phyllostachys pubescens*)和四川山矾(*Symplocos setchuensis*)等。

## 2 调查与分析方法

### 2.1 标准地调查

在该自然保护区内选取主要的6个植被类型马尾松+四川大头茶混交林、四川大头茶+山矾混交林、马尾松+广东山胡椒混交林、广东山胡椒+杉木混交林、马尾松火烧迹地和楠竹+山矾+马尾松混交林(以下分别用MDH, DSH, MKZH, GSZH, MJD, NMH表示)。调查林分的树种,林龄,郁闭度,下木种类和盖度,地被物种类和盖度,枯落物厚度和蓄积量。基本情况见表1。

表1 缙云山不同林分的植被组成

林地类型	主要树种	主要下木种	主要地被物	密度/ (株# hm <sup>-2</sup> )
MDH	马尾松、四川大头茶	白毛新木姜子、四川杨桐、四川山矾	里白、狗脊蕨	2 500
DSH	四川大头茶、四川山矾	白毛新木姜子、细齿叶柃	里白、淡竹叶	2 500
MKZH	马尾松、广东山胡椒、四川山矾	四川杨桐、细齿叶柃、楠木	狗脊蕨、密毛蕨	1 550
GSZH	广东山胡椒、杉木、四川山矾	)	)	800
MJD	马尾松	)	)	425
NMH	楠竹、四川山矾、马尾松、杉木	)	菝葜	2 500

### 2.2 测定方法

(1) 林冠截留能力测定。2008年7月,在5 m@20 m的试验地内,根据树种选取相应的标准木进行测定,计算出以树杆为圆心的30°角范围内树冠的所有枝叶的生物量、最大持水量、叶面积指数等数值,最后经过换算得出该样地的指标。(2) 枯落物持水特性测定。用样方收获法<sup>[7]</sup>测定林下枯落物生物量,在每个试验地内随机选取6个50 cm@50 cm的枯落物样方,测定其自然状态重;带回室内用浸水法<sup>[7]</sup>测定样品持水特性,测定时段为1 min,3 min,5 min,10 min,1 h,2 h,4 h,8 h,12 h,24 h;最后将样品置于105℃的烘箱中烘至恒重;(3) 土壤贮水特征的测定。用环刀法<sup>[8]</sup>测定土壤容重、非毛管孔隙度等。

## 3 结果与分析

### 3.1 地上部分的持水能力

森林涵养水源功能的大小取决于林分的树种组成和结构,树种不同,林冠截留量也不同,同一树种,结构愈稠密,截留量就愈大,同样数量的枝叶量,因排

列与分布规律不同(如均匀的结构与簇状的结构)也可能影响到截留的数量<sup>[9]</sup>。植被类型的林分结构和树种特性的不同导致了其林分水文学特性的较大差异(表2)。

从表2可看出,林冠层持水量与叶面积指数呈正相关。楠竹山矾马尾松混交林(NMH)的林冠层截留量最大为37.134 t/hm<sup>2</sup>,是广东山胡椒杉木混交林(GSZH)的4.05倍;广东山胡椒杉木混交林(GSZH)、和楠竹山矾马尾松混交林(NMH)由于林冠郁闭良好林下植被稀少,马尾松火烧迹地(NMH)是前期火灾造成林下植被死亡,所以这3种林分林下植被的持水量几乎为0,林下植被持水量最大的是四川大头茶山矾混交林(DSH)为2.709 t/hm<sup>2</sup>;枯落物持水量最大的是四川大头茶山矾混交林(DSH)为38.973 t/hm<sup>2</sup>,是马尾松火烧迹地(NMH)的4.43倍。

### 3.2 枯落物的蓄水能力

枯落物除了能彻底消除降雨动能、吸收部分穿透雨、增加地表粗糙度,分散、滞缓、过滤地表径流外,还能增加土壤有机质含量和提高土壤渗透性能<sup>[10]</sup>。

表 2 缙云山不同林分的水文效应

t/hm<sup>2</sup>

林分类型	合计		林冠层枝叶			林下植被		枯落物	
	生物量	持水量	生物量	持水量	叶面积指数	生物量	持水量	生物量	持水量
MDH	67.695	58.103	55.421	30.845	2.576	1.097	1.341	11.176	25.917
DSH	89.935	73.871	70.315	32.189	3.019	1.340	2.709	18.280	38.973
MKZH	72.862	57.430	58.134	28.717	2.282	0.857	0.921	13.871	27.792
GSZH	20.195	30.677	12.246	9.162	2.358	0	0	7.949	21.514
MJD	27.833	19.010	23.946	10.218	1.253	0	0	3.887	8.792
NMH	56.646	71.136	48.966	37.134	3.059	0	0	7.680	34.002

枯落物持水率是其在一定时段内截持(吸收)的水量所占自身(风干)重量的百分数,是反映枯落物涵养水分能力的重要指标,主要取决于枯落物的组成、质地、结构和分解程度等。具体指标有最大(或饱和)持水率、最大拦蓄率和有效拦蓄率等,一般认为枯落物浸水 24 h 后的持水率为最大(或饱和)持水率<sup>[11]</sup>。蓄水量是反映枯落物涵养水分能力的综合指标,与枯落物的性质(吸水率)和数量(蓄积量)密切相关。在数值上等于蓄积量与持水率的乘积。具体指标有最大持水量、最大拦蓄量和有效拦蓄量。6 种林分枯落物蓄水特性各项指标的测定结果见表 3。

山地森林坡面一般不会出现较长时间的浸水条件,落到枯落物层上的降水,一部分被拦蓄,一部分透过孔隙很快入渗到土壤中去。当降水量达到 20~30 mm 以上后,各种林分类型枯落物层的实际持水率大约为最大持水率的 85% 左右<sup>[12]</sup>。

因此,一般用有效拦蓄量估算枯落物对降水的实际拦蓄效应。从表中得出 6 种林分类型枯落物蓄水能力的大小顺序表现为: NMH > DSH > MKZH > GSZH > MDH > MJD。楠竹山矾马尾松混交林枯落

物有效拦蓄量(2.35 mm)是马尾松火烧迹地(0.70 mm)的 3.36 倍。

### 3.3 枯落物的持水特性

对 6 种不同林分进行枯落物持水过程分析,不同时段 DSH 枯落物的持水量大于其它林分,而 MJD 枯落物的持水量明显小于其它林分,在持水 1 h 后,各林分林下枯落物持水量增加变缓,到 24 h 时,枯落物持水量的顺序依次为: DSH > NMH > MKZH > MDH > GSZH > MJD,林地枯落物的持水作用主要表现在降雨前期的 1 h 以内。在 10 min 时,枯落物的吸水速率均随浸泡时间的增加而急剧下降;在 1 h 之后,其吸水速率下降开始减缓;从 2~24 h,其吸水速率变动范围在 0.005~0.095 t/(hm<sup>2</sup>·h) 之间,其吸水速率的顺序为: DSH > NMH > MKZH > GSZH > MDH > MJD。

对 4 种不同林分进行枯落物持水量与浸水时段之间的关系进行回归分析,发现林下枯落物的持水量  $Q(t/hm^2)$ 、持水速率  $V[t/(hm^2 \cdot h)]$  与浸水时段(h)存在以下关系:  $Q = a \ln t + b$ ,  $V = ct^d$  (a, b, c, d 为拟合系数)。不同林分林下枯落物持水量和持水速率与浸水时段的关系见表 4。

表 3 不同林地枯落物持水能力

林分类型	$R_0/\%$	$R_{lmax}/\%$	$R_{smax}/\%$	$R_{sv}/\%$	$M/(t \cdot hm^{-2})$	$M_0/mm$	$M_{hmax}/mm$	$M_{smax}/mm$	$M_{sv}/mm$
MDH	44.55	231.89	187.34	152.56	11.18	0.50	2.59	2.09	1.71
DSH	64.03	213.20	149.17	117.19	18.28	1.17	3.90	2.73	2.14
MKZH	20.26	200.36	180.10	150.04	13.87	0.28	2.78	2.50	2.08
GSZH	10.39	270.66	260.27	219.67	7.95	0.08	2.15	2.07	1.75
MJD	11.68	226.21	214.54	180.60	3.89	0.05	0.88	0.83	0.70
NMH	70.77	442.74	371.97	305.56	7.68	0.54	3.40	2.86	2.35

注:  $R_0$ ,  $R_{lmax}$ ,  $R_{smax}$ ,  $R_{sv}$  分别为枯落物自然持水率、最大持水率、最大拦蓄率、有效拦蓄率;  $M$ ,  $M_0$ ,  $M_{hmax}$ ,  $M_{smax}$ ,  $M_{sv}$  分别为枯落物层蓄积量、自然持水量、最大持水量、最大拦蓄量、有效拦蓄量。

### 3.4 土壤的持水特性

土壤的理水调洪和水源涵养能力与土层厚度、非毛管孔隙率、最大持水量等有关<sup>[13,14]</sup>。不同林分林地土壤各物理性状见表 5。由表中可以看出, NMH 土

壤腐殖层最厚(24 cm),是由于 NMH 的枯落物层最厚,贮量最多,树种也最丰富。MJD 土壤腐殖层厚度次之(8.5 cm),其它林分土壤腐殖层都在 8 cm 左右。GSZH 其主要树种为广东山胡椒,其凋落物较难分

解,所以土壤腐殖层最薄(5.5 cm)。土壤的容重与孔隙度是反映森林土壤物理性质的两项重要指标<sup>[15]</sup>。由于不同林分的枯落物组成、分解状况和地下根系的生长发育存在差异,造成森林土壤物理性质的差异。

由表 5 可知,各林分土壤容重由表层(A 层)到底层(C 层)呈增加趋势,各类孔隙度呈降低趋势。这在一定程度上说明,森林土壤水源涵养和理水调洪能力主要体现在上层土壤。

表 4 不同林地枯落物持水过程与浸泡时间的关系式

林分类型	持水量方程	R <sup>2</sup>	吸水速率方程	R <sup>2</sup>
MDH	$Q=0.4661nt+5.819$	0.929	$V=0.321t^{0.98}$	0.896
DSH	$Q=0.5511nt+12.17$	0.945	$V=0.383t^{1.11}$	0.944
MKZH	$Q=0.5001nt+8.208$	0.975	$V=0.274t^{1.11}$	0.934
GSZH	$Q=0.3331nt+6.670$	0.975	$V=0.230t^{1.12}$	0.941
MJD	$Q=0.1941nt+2.531$	0.931	$V=0.124t^{1.05}$	0.898
NMH	$Q=0.6191nt+10.43$	0.937	$V=0.421t^{1.15}$	0.974

表 5 不同林分土壤各类孔隙持水量

林分	土壤层次	土壤厚度/cm	土壤容重/(g# cm <sup>-3</sup> )	孔隙度/%			持水量/mm		
				总孔隙	毛管孔隙	非毛管孔隙	最大持水量	毛管持水量	非毛管持水量
MDH	A	0) 8	0.98	62.927	55.639	7.288	50.342	44.511	5.830
	AB	8) 22.33	1.18	60.171	53.382	6.789	86.225	76.497	9.729
	B	22.33) 55.67	1.12	46.992	40.357	6.635	156.625	134.509	22.116
	C	55.67) 86	1.58	42.394	38.686	3.707	128.580	117.336	11.244
DSH	A	0) 7	1.03	59.741	52.451	7.290	41.819	36.716	5.103
	AB	7) 29.5	1.26	55.905	50.822	5.084	125.787	114.349	11.438
	B	29.5) 59.5	1.56	47.203	42.943	4.260	141.610	128.830	12.780
	C	59.5) 98	1.64	39.073	35.495	3.578	150.430	136.654	13.775
MKZH	A	0) 8	1.15	62.960	47.030	15.930	50.368	37.624	12.744
	AB	8) 57	1.39	50.420	38.100	12.320	247.058	186.690	60.368
	B	57) 99	1.51	49.430	37.160	12.270	207.606	156.072	51.534
	C	99) 123	1.72	38.140	29.410	8.730	91.536	70.584	20.952
GSZH	A	0) 5.5	0.94	62.840	56.210	6.630	34.562	30.916	3.647
	AB	5.5) 26.5	1.12	56.880	39.300	17.580	119.448	82.530	36.918
	B	26.5) 59	1.46	45.670	26.500	19.170	102.758	59.625	43.133
	C	59) 89	1.31	50.680	32.730	17.950	152.040	98.190	53.850
MJD	A	0) 8.5	0.74	69.570	53.570	16.000	59.135	45.535	13.600
	AB	8.5) 38.5	1.32	50.390	33.070	17.320	151.170	99.210	51.960
	B	38.5) 74	1.32	50.370	31.990	18.380	178.814	113.565	65.249
	C	74) 94	1.51	44.200	25.150	19.050	88.400	50.300	38.100
NMH	A	0) 24	0.93	63.140	58.080	5.060	151.536	139.392	12.144
	AB	24) 68	1.27	52.190	34.790	17.400	229.636	153.076	76.560
	B	68) 109.5	1.35	49.450	30.610	18.840	205.218	127.032	78.186
	C	109.5) 131	1.54	43.190	25.790	17.400	92.859	55.449	37.410

林地蓄洪作用主要反映在非毛管孔隙水的贮存能力上。虽然非毛管孔隙持水量比毛管孔隙持水量要小,但是对于小流域而言,非毛管水滞留坡面的时间比地表径流在水网汇流的时间要长得多,其快速贮

水能力是小流域蓄洪的主要指标,而且非毛管孔隙又可以迅速排水,从而可以滞缓径流峰值和快速削减径流量(但是不会减少暴雨总径流量)<sup>[16]</sup>。各林分土壤非毛管持水量的大小顺序依次为 NMH(204.300

mm) > MJD(168.909 mm) > MKZH (145.598 mm) > GSZH (137.547 mm) > MDH (48.919 mm) > DSH(43.096 mm)。MJD 虽然现存马尾松较少但是枯死树木的根系还留在土壤中根系深达 60 cm 以上,增加了土壤孔隙度,所以其土壤非毛管持水量优于其它 4 种林分。

### 3.5 涵养水源能力

采用层次分析法(analytic hierarchy process)建立评价指标体系的层次结构模型,评价指标体系综合目

标确定为森林群落涵养水源功能 A 层,选择林冠层、灌草层、枯落物层和土壤层作为目标层的支持层 B 层,该层下面选择若干评价指标作为指标层 C 层,如:林冠最大持水量、灌草层生物量、土壤毛管持水量等。

评价方法采用综合评分法,综合评分法又称加权平均法,它是对多目标技术方案进行综合评价的数量化方法之一。用指标评分值将不同度量单位的指标统一起来,并用总分值权衡各项技术方案的优劣,获得总分最高的方案便是诸方案中最佳方案(表 6)。

表 6 各森林群落典型林分涵养水源指标及标准化值

林分	林冠层 B <sub>1</sub>			灌草层 B <sub>2</sub>		枯落物 B <sub>3</sub>			土壤层 B <sub>4</sub>			加权总分
	最大持水量/ (t# hm <sup>-2</sup> )	生物量/ (t# hm <sup>-2</sup> )	叶面积 指数	生物量/ (t# hm <sup>-2</sup> )	最大持水量/ (t# hm <sup>-2</sup> )	蓄积量/ (t# hm <sup>-2</sup> )	最大持水 量/mm	有效拦蓄 量/mm	最大持水 量/mm	毛管持水 量/mm	非毛管持 水量/mm	
编号	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	
权重	0.118	0.057	0.074	0.027	0.060	0.039	0.081	0.093	0.093	0.122	0.237	
MDH	30.85	55.42	2.58	1.10	1.34	11.18	2.59	1.71	421.77	372.85	48.92	0.613
标准化值	0.098	0.045	0.062	0.022	0.030	0.024	0.054	0.068	0.058	0.096	0.057	
DSH	32.19	70.32	3.02	1.34	2.71	18.28	3.90	2.14	459.65	416.55	43.10	0.744
标准化值	0.102	0.057	0.073	0.027	0.060	0.039	0.081	0.085	0.063	0.107	0.050	
MKZH	28.72	58.13	2.28	0.86	0.92	13.87	2.78	2.08	596.57	450.97	145.60	0.767
标准化值	0.091	0.047	0.055	0.017	0.020	0.030	0.058	0.082	0.082	0.116	0.169	
GSZH	9.16	12.25	2.36	0.00	0.00	7.95	2.15	1.75	408.81	271.26	137.55	0.512
标准化值	0.029	0.010	0.057	0.000	0.000	0.017	0.045	0.069	0.056	0.070	0.160	
MJD	10.22	23.95	1.25	0.00	0.00	3.89	0.88	0.7	477.52	308.61	168.91	0.477
标准化值	0.032	0.019	0.030	0.000	0.000	0.008	0.018	0.028	0.065	0.079	0.196	
NMH	37.13	48.97	3.06	0.00	0.00	7.68	3.40	2.35	679.25	474.95	204.30	0.864
标准化值	0.118	0.040	0.074	0.000	0.000	0.016	0.071	0.093	0.093	0.122	0.237	

由表 6 得出,支持层(B 层)对总目标的权重分别为:林冠层(0.248)、灌草层(0.087)、枯落物层(0.213)和土壤层(0.452),土壤层权重最大对涵养水源功能的影响最强,林冠层和枯落物层次之,灌草层影响最小;各森林群落的 11 项指标(C 层)中非毛管持水量合成权重最高为 0.237,林冠最大持水量和土壤毛管持水量次之,灌草层的生物量最低为 0.027;涵养水源功能量化指标介于 0.477~0.864 之间,各林分涵养水源能力顺序为 NMH(0.864) > MKZH(0.767) > DSH(0.744) > MDH(0.613) > GSZH(0.512) > MJD(0.477),NMH 土壤层标准化值最大其水源涵养能力优于其他林分,MJD 土壤层标准化值较高由于林冠层仅为 0.082 导致其水源涵养能力最差。

## 4 结论

(1) 6 种林分的地上部分持水总量大小顺序为

DSH(73.871 t/hm<sup>2</sup>) > NMH(71.136 t/hm<sup>2</sup>) > MDH(58.103 t/hm<sup>2</sup>) > MKZH(57.430 t/hm<sup>2</sup>) > GSZH(30.677 t/hm<sup>2</sup>) > MJD(19.010 t/hm<sup>2</sup>)

(2) 各种林分的枯落物 DSH 是最大持水量大于其它各种林分为 3.9 mm,而 NMH(3.4 mm) 大于 MDH(2.59 mm),MKZH(2.78 mm) 和 GSZH(2.15 mm);MJD 最小仅为 0.88 mm。而实际拦蓄效应的顺序为 NMH > DSH > MKZH > GSZH > MDH > MJD。

(3) 林地蓄洪作用主要通过非毛管孔隙水的贮存能力来反映。6 种不同林分的非毛管持水量顺序为:NMH(204.300 mm) > MJD(168.909 mm) > MKZH(145.598 mm) > GSZH(137.547 mm) > MDH(48.919 mm) > DSH(43.096 mm)。

(4) 各林分涵养水源能力顺序为 NMH(0.864) > MKZH(0.767) > DSH(0.744) > MDH(0.613) > GSZH(0.512) > MJD(0.477)。

## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 姜志林. 森林生态系统蓄水保土的功能[ J ]. 生态学杂志, 1984( 6 ): 52-63.
- [ 2 ] 张国防. 闽江流域洪灾与森林生态环境的研究: 闽江流域洪灾与森林的水文效应[ J ]. 福建林业科技, 2000, 27( 1 ): 63-66.
- [ 3 ] 成晨, 王玉杰, 潘玉娟, 等. 重庆缙云山主要森林类型林冠截留降水的研究[ J ]. 水土保持应用技术, 2006( 4 ): 27.
- [ 4 ] 陈卓梅. 秃杉混交林水源涵养功能的研究[ J ]. 福建林业学院学报, 2002, 22( 3 ): 262-269.
- [ 5 ] 蒋秋怡. 林木地上部分的持水性能及其对林地水文学性质的影响[ J ]. 浙江林学院学报, 1989, 6( 2 ): 172-181.
- [ 6 ] 郑郁善. 福建含笑杉木混交林水源涵养功能差异研究[ J ]. 福建林业学院学报, 1997, 17( 2 ): 122-130.
- [ 7 ] Monsi M. 植物群落的数学模型[ M ] // 植物生态学译丛. 北京: 科学出版社, 1974: 123-144.
- [ 8 ] 张万儒. 森林土壤定位研究方法[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1986: 172-55.
- [ 9 ] 崔启武. 林冠对降水的截留作用[ J ]. 林业科学, 1980, 16( 2 ): 142-146.
- [ 10 ] 杨玉盛, 陈光水, 谢锦升. 论森林水源涵养功能[ J ]. 福建水土保持, 1999, 10( 3 ): 27.
- [ 11 ] 吴长文, 王礼先. 水土保持林中枯落物的作用[ J ]. 中国水土保持, 1993( 4 ): 22-30.
- [ 12 ] 曹成有, 朱丽晖, 韩春声, 等. 辽宁东部山区森林枯落物层的水文作用[ J ]. 沈阳农业大学学报, 1997, 28( 1 ): 44-48.
- [ 13 ] 马良清, 张毓锐. 重庆地区森林水文作用的初步研究[ J ]. 北京林业大学学报, 1998, 20( 1 ): 14-19.
- [ 14 ] 吴长文, 王礼先. 林地土壤的入渗及其模拟分析[ J ]. 水土保持研究, 1995, 2( 1 ): 72-75.
- [ 15 ] 李香兰, 田积莹, 张成娥. 黄土高原不同林型对土壤物理性质的影响[ J ]. 林业科学, 1992, 28( 2 ): 98-105.
- [ 16 ] 王云琦, 王玉杰. 缙云山典型林分森林土壤持水与入渗特性[ J ]. 北京林业大学学报, 2006, 28( 3 ): 102-108.

( 上接第 109 页 )

## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] Vujica Y, Nilgun, Bayraktar, et, al. Past and future analysis of water resources time series[ J ] Journal of the American Water Resources Association, 1985, 21( 4 ): 625-633.
- [ 2 ] Wang Hongrui, Ye L, Liu C M, et al. Problems in wavelet analysis of hydrologic series and some suggestions on improvement[ J ]. Progress in Natural Science, 2007, 17( 1 ): 82-86.
- [ 3 ] 王文圣, 金菊良, 李跃清. 水文随机模拟进展[ J ]. 水科学进展, 2007, 18( 5 ): 762-776.
- [ 4 ] 丁晶, 邓育仁. 随机水文学[ M ]. 成都: 成都科技大学出版社, 1988.
- [ 5 ] 覃基爱, 陈雪英, 郑艳霞. 宜昌径流时间序列的统计分
- 析[ J ]. 水文, 1993( 5 ): 152-1.
- [ 6 ] 王钧, 蒙吉军. 黑河流域近 60 年来径流量变化及影响因素[ J ]. 地理科学, 2008, 28( 1 ): 83-89.
- [ 7 ] 韩添丁, 叶柏生, 丁永建. 近 40a 来黄河上游径流变化特征研究[ J ]. 干旱区地理, 2004, 27( 4 ): 552-557.
- [ 8 ] 刘昌明, 成立. 黄河干流下游断流的径流序列分析[ J ]. 地理学报, 2000, 55( 3 ): 252-265.
- [ 9 ] 曹建廷, 秦大河, 罗勇等. 长江源区 1956-2000 年径流量变化分析[ J ]. 水科学进展, 2007, 18( 1 ): 292-34.
- [ 10 ] 王德智. 水文中长期预报的系统理论与方法研究[ D ]. 武汉: 武汉大学, 2003.
- [ 11 ] 叶守泽, 夏军. 水文科学研究的世纪回眸与展望[ J ]. 水科学进展, 2002, 13( 1 ): 93-104.
- [ 12 ] 王文圣, 丁晶. 水文小波分析[ M ]. 北京: 化学工业出版社, 2005.