

武夷山不同林龄甜槠林水文学效应的比较研究*

李凌浩** 林鹏 (厦门大学生物学系, 厦门 361005)

王其兵 贺金生 (中国科学院植物研究所, 北京 100093)

何建源 刘初钿 金昌善 陈仁华

(福建武夷山国家级自然保护区管理局, 武夷山 354315)

【摘要】 对福建省武夷山自然保护区境内不同林龄甜槠林的水文学效应的比较研究表明,由甜槠林幼林至成熟林,其水文学效应逐渐增强,林冠截流雨量、地表枯枝落叶持水能力、林地土壤水分稳渗率、蓄水能力等指标值随林龄的增长而增加;地表径流量与地下渗流量则呈下降的趋势.这说明成熟的森林植被-土壤系统在调节气候、涵养水源和保持水土等方面具有独特的作用和巨大的效能.

关键词 水文学效应 甜槠林 林龄 武夷山

Hydrological effect of different age *Castanopsis eyrei* stands at Wuyi Mountains. Li Linghao and Lin Peng (Xiamen University, Xiamen 361005), Wang Qibing, He Jinsheng (Institute of Botany, Academia Sinica, Beijing 100093). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 1998, 9(1):18~22.

A comparative study on the hydrological effect of different age *Castanopsis eyrei* stands at the Wuyi Mountains shows that *C. eyrei* stands of different ages have a markedly different hydrological effect. In an age-increasing sequence, an increasing trend of hydrological effect was observed, with increasing canopy interception increasing water-holding capacity of litter layer, increasing water infiltration rate and water holding capacity of forest land, and decreasing surface runoff and underground drainage. It is suggested that mature forest vegetation-soil system has a unique role and a gigantic effect on adjusting climate, holding water source, and conserving water and soil, and hence, the mature forest land must be conserved especially.

Key words Hydrological effect, *Castanopsis eyrei* forest, Stand age, Wuyi Mountains.

1 引 言

森林水文学效应是森林生态系统最重要的生态学功能之一,一直是森林生态学研究的重点内容.国外在这一领域的研究开展较早,报道较多^[11~14].我国近年来也发表一些有关的研究结果^[1~3,7,10].因多数是在成熟林中进行的,对幼龄林的水文学效应研究较少,尤其对同一类型、不同林龄森林群落间水文学效应的比较研究更为

少见.

甜槠林是我国中亚热带常绿阔叶林的重要组成部分,也是武夷山自然保护区植被的主体类型之一.长期自然与人为因素的影响,使该区域内不同地段的甜槠林处在不同的林龄和不同的发育阶段.只有对

* 福建省自然科学基金(C 92004)和武夷山自然保护区管理局资助项目.

** 现工作单位:中国科学院植物研究所,北京 100093.

1996-08-19 收稿,1996-10-26 接受.

不同林龄林地的水文学效应进行比较,才有可能对整个流域内森林的水文学效应作出正确的估计.为此,本文对福建武夷山自然保护区境内不同林龄甜槠林的水文学效应进行了比较研究,现将结果报道如下.

2 研究地区自然概况与研究方法

2.1 自然概况

研究地点位于福建省武夷山国家级自然保护区境内,地处 $117^{\circ}27' \sim 117^{\circ}51'E$, $27^{\circ}33' \sim 27^{\circ}54'N$. 本区位于武夷山脉中北段,平均海拔 1200m,属中山地貌.为亚热带季风气候,在不同表 1 不同林龄甜槠群落自然状况对比*

Table 1 Comparison of natural states for *C. eyrei* stands of different ages

样地号 Plot	海拔 Elevation (m)	坡向坡度 Slope and aspect	地表状况 Soil surface state	土层厚度 Soil depth (cm)	群落年龄 Age of stand (yr.)	种类组成 Species composition	乔木层特征		
							密度 Density (No. trees)	高度 Height (m)	基盖度(m ²) Basal Coverage
1	1180	N20°W16'	较差 Bad	50	17	18	46	6.7	0.4
2	1240	N20°W18'	中等 Medium	80	34	8	13	11.0	0.6
3	1270	N20°W24'	良好 Good	90	58	10	26	14.6	1.0
4	1270	N20°W20'	良好 Good	110	76	5	8	11.3	2.0

* 样方面积 Area: 10m × 10m.

同林龄甜槠群落的自然状况由表 1 给出.

2.2 研究方法

2.2.1 雨水与林内降雨的测定 在甜槠林外开阔地段设置 4 个雨量筒测定林外雨.林内透过雨以雨量筒接收,每个样地内随机置放 8 个雨量筒.茎流雨水用集水槽装置收集,在每个样地内选择标准树 3 株,把圆形集水槽镶嵌安放在树干的基部四周,用导管把沿茎流下的雨水导流到玻璃或塑料容器内进行测量,按每株树的树冠投影面积换算成单位面积的树干茎流量.

2.2.2 径流雨水与地下渗透水的测定 在甜槠林的 4 个样地内分别设置小型径流场进行径流与渗水测量.径流场集水面积 $4m \times 4m$,坡度 $16^{\circ} \sim 24^{\circ}$,坡向北偏西,四周用油毡纸和有机塑料板截流,下方安装 2m 长的接水槽,槽上覆盖塑料薄膜.地表径流水由接水槽引流到大桶,然后用量筒测量.在径流场下边缘制作 $2m \times 1m \times 1m$ 的土壤剖面,在土壤 A 层底部置放集水槽收集地中径流,地下渗流用 $1m \times 0.5m$ 的托盘式集水器收集.

2.2.3 土壤蓄水量与渗透性的测定 在上述 4 个

样地内,除测定林内雨、径流与渗流雨水外,对林地土壤蓄水量、枯枝落叶持水量和土壤渗透性能也进行了测定.土壤蓄水量通过测定土壤孔隙度算得.枯枝落叶持水量用烘干法求得.土壤渗透性的测定采用渗透筒法^[9].渗透筒高 20cm,直径 20cm,进行现场注水测定土壤渗水速度,应用霍顿定律计算渗透系数.

测点,年平均温度一般在 $8.5 \sim 18^{\circ}C$ 之间,年降水量为 2096.6mm,局部地方可达 3000mm 以上.大气相对湿度 $78 \sim 84\%$,年蒸发量仅 1000mm,无霜期 250d,风速 $0.9 \sim 1.2m \cdot s^{-1}$,日照时数 1400h^[5].

试验样地位于保护区的先锋岭,海拔 1270m,坡向 $N 20^{\circ}W$,坡度 $16 \sim 24^{\circ}$.土壤为山地黄壤,土层厚 50 ~ 110cm 不等.枯枝落叶层厚 5cm,一般分解良好,有机质含量丰富, pH 4.5 ~ 5.5.植被为典型中亚热带常绿阔叶林,植物群落以甜槠(*Castanopsis eyrei*)为建群种,外貌整齐,呈暗绿色,一般发育良好,乔、灌、草层次分化明显,盖度在 90% 以上^[8].用于进行比较研究的 4 个不

同林龄甜槠群落的自然状况由表 1 给出.

3 结果与讨论

3.1 林冠截留

林冠截留是降水进入森林生态系统的第一道屏障,也是对降水的第一次再分配作用.森林降水过程中林冠的水量平衡可用 $P = I + T + S$ 表示,式中, P 、 I 、 T 、 S 分别为总降水量、截留量、穿透雨量和茎流雨量.截留量越大,林冠截留降水的能力越强.

表 2、3 给出了 4 个林地各项水文学指标的观测与分析结果.由表 3 可知,甜槠

表2 不同林龄甜槠林林冠和地表作用面对降水分配情况的比较

Table 2 Comparison of effects of precipitation distribution by canopy and soil action surface in an age sequence of *C. eyrei* stands

月份 Month	样地号 Plot	林外降雨 Precipitation	截留雨 Interception	穿透雨 Throughfall	茎流雨 Stemflow	林内净雨 Net precipitation	地表径流 Runoff	地下渗流 Drainage
1	4	42.9	6.2	34.9	1.9	36.7	0.06	0.19
	3	42.9	4.6	35.7	2.5	38.3	0.07	0.32
	2	42.9	12.8	28.9	1.1	30.1	0.27	1.24
2	1	42.9	3.0	26.5	13.5	39.9	0.33	1.86
	4	131.1	33.2	96.2	1.7	97.9	0.31	0.32
	3	131.1	30.5	97.2	3.4	100.6	0.25	0.96
3	2	131.1	26.9	129.1	1.9	104.2	0.66	3.36
	1	131.1	20.2	114.3	16.8	110.9	0.90	4.34
	4	116.0	21.8	92.4	1.8	94.2	0.25	0.96
4	3	116.0	17.6	96.3	2.1	98.4	0.22	0.64
	2	116.0	19.0	96.1	1.0	97.1	0.59	1.05
	1	116.0	14.1	87.8	14.1	101.9	0.78	1.64
5	4	309.9	56.9	241.1	12.0	253.1	0.68	2.80
	3	309.9	47.9	250.5	11.5	262.8	1.85	4.63
	2	309.9	56.1	247.8	6.1	253.8	1.85	4.63
6	1	309.9	36.3	218.4	55.2	273.6	2.71	5.21
	4	345.0	68.4	260.6	15.9	278.0	0.81	6.23
	3	345.0	21.2	309.6	14.2	323.8	0.43	3.71
7	2	345.0	43.7	293.4	7.8	301.2	2.94	13.3
	1	345.0	20.2	244.7	80.1	324.8	1.4	14.64
	4	1143.2	182.8	904.3	56.9	960.4	1.4	14.64
8	3	1143.2	65.0	1026.5	51.7	1078.2	4.42	109.88
	2	1143.2	80.5	1028.5	34.2	1062.7	19.78	135.88
	1	1143.2	41.5	864.0	237.7	1101.6	24.59	156.47
9	4	176.4	44.1	130.1	2.3	132.4	0.35	0.51
	3	176.4	22.9	147.1	6.5	153.5	0.62	6.36
	2	176.4	45.4	130.5	3.6	131.0	1.31	3.83
10	1	176.4	34.6	121.0	20.8	141.8	1.72	5.96
	4	180.0	24.1	151.3	4.7	155.9	0.30	2.58
	3	180.0	11.9	161.1	7.0	168.1	0.68	2.13
11	2	180.0	35.8	140.4	3.8	144.2	1.3	4.52
	1	180.0	7.1	132.2	40.6	172.9	2.04	6.14
	4	77.8	23.4	53.1	1.2	54.3	0.14	0.30
12	3	77.8	15.3	61.1	1.3	62.4	0.4	0.56
	2	77.8	18.9	57.6	1.3	58.8	0.46	1.07
	1	77.8	15.6	53.9	8.3	62.2	0.82	1.07
13	4	84.7	17.9	65.1	1.6	66.7	0.29	2.86
	3	84.7	15.3	61.1	1.3	62.4	0.4	0.56
	2	84.7	14.7	67.1	2.9	71.0	1.19	9.34
14	1	84.7	7.0	63.2	14.5	77.7	0.99	8.49
	4	37.4	11.0	26.3	0.0	76.3	0.00	0.00
	3	37.4	3.7	41.1	0.0	41.1	0.08	0.28
15	2	37.4	2.8	34.6	0.0	34.6	0.16	0.57
	1	37.4	2.4	32.6	2.4	35.0	0.19	0.66
	4	34.7	7.1	27.6	0.00	27.6	0.04	0.23
16	3	34.7	6.4	26.9	1.32	28.2	0.06	0.23
	2	34.7	7.0	27.2	0.54	27.7	0.11	0.48
	1	34.7	6.3	23.5	4.81	28.3	0.12	0.73

林冠层截留雨量4个林地($P_1 \sim P_4$)分别为
188.53、333.47、253.52和496.74mm,其

顺序为 $I_4 > I_2 > I_3 > I_1$, 截留率分别为
7.0%、12.4%、9.5%和18.5%,基本上表

表3 不同林龄甜槠林水文效应综合指标分析结果比较
Table 3 Comparison of indexes for hydrological effects in an age sequence of *C. eyrei* stands

项目	样地4	样地3	样地2	样地1
Hydrological indexes	P ₄	P ₃	P ₂	P ₁
降水量(mm)	2678.78	2678.78	2678.78	2678.78
Precipitation				
穿透雨量(mm)	2082.08	2320.01	2281.16	1982.03
Throughfall				
茎流雨量(mm)	99.96	105.25	64.15	508.22
Stemflow				
截留损失(mm)	496.74	253.52	333.47	188.53
Interception				
林内雨量(mm)	2182.04	2425.26	2345.31	2490.25
Net precipitation				
稳渗率(mm·min ⁻¹)	15.5	12.6	6.8	7.0
Infiltration rate				
地表径流量(mm)	11.6	8.71	30.62	36.59
Runoff				
地下渗流量(mm)	109.32	134.6	179.28	207.82
Drainage				
枯枝落叶截留量	159.84	169.12	150.44	141.46
Litter absorption(mm)				
地表径流系数(%)	0.4	0.3	1.1	1.4
Runoff rate				
降水截留率(%)	18.5	9.5	12.4	7.0
Interception rate				
枯枝落叶最大持水量 ¹⁾ (mm)	5.2	5.1	4.7	4.2
林地土壤蓄水能力 ²⁾ (mm)	155	117.6	88.2	50.4
植物蒸腾与地表蒸发 ³⁾ (mm)	1901.28	2112.8	1984.9	2104.4

1) Max. water-holding capacity of litter layer, 2) Water-holding capacity of soil layer, 3) Plant transpiration and physical evaporation.

现出由幼林至成熟林逐渐增加的趋势。林内净雨量的变化规律与截留量恰恰相反,其大小顺序依次为 $P_{N1} > P_{N3} > P_{N2} > P_{N4}$, 林内雨占林外总降水量的比例分别为 93.0%、87.6%、90.5% 和 81.5%,基本上表现出逐渐减少的趋势。

林内雨组成方面,4个林地也不尽相同。成熟林(P₄)林内雨以穿透雨为主,占林内雨量的 95.4%,而茎流雨量的比例大幅度下降,仅为 4.6%,而幼林(P₁)林内雨虽仍以穿透雨为主,但穿透雨占林内雨量的比例大幅度下降,仅为 79.6%,而茎流雨所占比例可高达 20.4%。究其原因可知,P₄代表的是当地年龄最老的甜槠成熟林,以高大树木为主,树高在 10~14m 左右,

胸径通常大于 40cm。密度较低,但林冠繁茂,盖度大且叶量高。因此,其林冠层吸收降水能力强,林内净雨量较低。树干茎流雨量低是由于老龄树皮粗糙,吸收面积大,沿其树干流下的雨水大部分被树皮吸收,流到林地地面的茎流雨水极少,产流降水临界量约为 15mm;而在幼林(P₁)中,树木以胸径不超过 10cm 的幼树为主,树皮表面光滑,树木密度极高,46 株·100m⁻²,敞开的树冠象集水漏斗一样,反将大量的雨水集中起来沿树干流到地面。因此,茎流雨水在林内雨中占很高比例。幼林茎流产流的临界降水量较低,仅为 5mm。茎流雨水中养分离子浓度很高,且均为可利用态,淋溶的养分恰恰又集聚在树木根部有效吸收范围内,对树木的营养生长和林地土壤肥力有很大影响。因此,这是一个值得研究的现象^[6,14]。

3.2 地表径流与地下渗流

林地地表径流量和地下渗流量的大小是衡量森林水文作用最直观的指标,森林林冠截留雨水能力及林地作用面的水文效能最终反映在林地径流和渗流的产流量上。其综合效应通常用地表径流系数来表示。由表 3 给出的数据可知,4个林地在地表径流量、地下渗流量、总径流量和地表径流系数方面均表现出较强的规律性变化,其中,总径流量的大小顺序为 $P_1 > P_2 > P_3 > P_4$,地表径流系数的顺序为 $P_1 > P_2 > P_4 > P_3$ 。

3.3 林地土壤的水分物理特征

4个甜槠林林地作用面的水文学效应也明显有别,表现在凋落物持水能力、林地土壤蓄水能力和土壤渗透性等方面。由表 3 可知,4个林地中以 P₄ 林地土壤蓄水能力最大,P₁ 林地土壤蓄水能力最小,大小顺序为 $P_4 > P_3 > P_2 > P_1$ 。林地地表枯枝落叶最大持水量 4个样地(P₄~P₁)的大小顺

序为 $P_4 > P_3 > P_2 > P_1$. 枯枝落叶层全年截留雨水量 P_4 为 159.84mm, 至 P_1 下降到 141.46mm. 此外, 4 个林地土壤稳渗率也各不相同, 在 P_4 此值高达 $15.5\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$, 而在 P_1 仅为 $7.0\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (表 4).

表 4 不同林龄甜橘林地土壤水分入渗率

Table 4 Water infiltration rates for soils of *C. eyrei* stands of different ages

样地号 Plot	林龄 Stand age (yr.)	f_0	f_c	经历 时间 Time (min)	$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-\lambda t}$
1	17	50.0	7.0	60	$f_t = 7.0 + 43.0e^{-0.1414t}$
2	34	65.0	6.8	70	$f_t = 6.8 + 59.0e^{-0.0992t}$
3	58	56.0	12.6	40	$f_t = 12.6 + 44.0e^{-1.1026t}$
4	76	78.6	15.5	45	$f_t = 15.5 + 63.1e^{-1.1062t}$

f_0 : 初渗率 Initial infiltration rate ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$), f_c : 稳渗率 Stable infiltration rate ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$).

4 结 语

森林水文学效能是森林生态系统重要的功能之一, 也是其自身特点(植被、土壤等)的具体反映. 森林植被植物生长旺盛、覆盖度高、植物现存量, 其截留降水和蒸发蒸腾能力必然很强, 枯枝落叶层对林内雨水的截留以及防止雨点冲击, 保护表层土壤的作用必然增大. 此外, 森林植物发达的根系对土壤结构、孔隙状况的良好作用必然影响到林地土壤蓄水能力和渗透雨水的的能力. 在这些方面, 成熟林比幼龄林表现出非常明显的优势.

参考文献

- 1 朱劲伟、崔启武、史继德等. 1982. 红松林和采伐迹地的水量平衡分析. 生态学报, 2(2): 335~343.
- 2 刘文耀. 1991. 滇中常绿阔叶林和云南松林水文作用的初步研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 15(2): 162~168.
- 3 刘向东、吴钦孝、赵鸿燕. 1991. 黄土丘陵油松人工林和山杨林水文学效应研究. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 14: 9~20.
- 4 孙 阔. 1988. 森林植被对河流泥沙和水质影响综述. 水土保持学报, 2(3): 83~89.
- 5 李凌浩、何建源、刘初翎. 1994. 武夷山自然保护区自然地理概况. 武夷山研究. 厦门: 厦门大学出版社, 1~6.
- 6 李凌浩、林 鹏、何建源等. 1994. 森林降水化学研究综述. 水土保持学报, 8(1): 84~96.
- 7 余作岳、周国逸、彭少麟. 1996. 小良试验站三种地表径流效应的对比研究. 植物生态学报, 20(4): 355~362.
- 8 何建源、李凌浩、刘初翎. 1994. 武夷山自然保护区植被, 武夷山研究. 厦门: 厦门大学出版社, 39~112.
- 9 姜志林. 1986. 森林生态学(5). 森林生态系统蓄水保土的功能(1). 生态学杂志, 5(5): 58~63.
- 10 康文星、田大伦、文仕知等. 1992. 杉木人工林水量平衡和蒸散研究. 植物生态学与地植物学学报, 16(2): 18~20.
- 11 中野秀章(李云森译). 1983. 森林水文学. 北京: 中国林业出版社, 69~72.
- 12 Bruijnzeel, L. A., Waterloo, M. J. P., Kuiters, A. T. et al. 1993. Hydrological observations in monsoon rain forests on Gunung Silam, Sabah, Malaysia, with special reference to the "Massenerhebung" effects. *Journal of Ecol.*, 81: 145~167.
- 13 Lloyd, C. R. and Marques, A. 1988. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rain forest. *Forest and Agricultural Meteorology*, 42: 63~67.
- 14 Potter, C. S. 1992. Stemflow nutrient inputs to soil in a successional hardwood forest. *Plant and Soil*, 71: 87~101.