

# 武夷山甜槠林水文学效应的研究<sup>\*</sup>

李凌浩<sup>\*\*</sup> 林 鹏

王其兵 贺金生

(厦门大学生物学系, 厦门 361005)

(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** 对武夷山甜槠林成熟林水文学效应的研究结果表明: 观测期间, 年大气降水量 2678.78mm, 林内雨量 2182.04mm, 林冠截留量为 496.74mm; 林内雨中, 穿透雨量 2082.08mm, 树干茎流 99.96mm; 到达甜槠林地作用面的林内雨量中, 被地表枯枝落叶层截留的量为 159.84mm, 地表径流量 11.6mm, 地下渗流量 109.32mm, 其余林内雨量形成土壤含水量增量并由地表物理蒸发、根系吸收以及植物蒸腾所消耗; 甜槠林地 0~20cm 土层水分初渗率  $78.6\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , 稳渗率  $15.5\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , 达到稳渗历时 45min, 地表枯枝落叶最大持水量 5.2mm, 土壤蓄水量 154.0mm。与国内其它地区不同类型的森林相比较, 武夷山甜槠林具有较强的水文学效能。

**关键词** 水文学效应 甜槠林 武夷山

## HYDROLOGICAL OBSERVATION IN AN EVERGREEN BROAD LEAVED FOREST IN THE WUYI MOUNTAINS

Li Linghao and Lin Peng

(Department of Biology, Xiamen University, Xiamen 361005)

Wang Qibing and He Jinsheng

(Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

He Jianyuan, Liu Chudian, Jin Changshan and Chen Renhua

(The Administrative Bureau of the Wuyi Mountain Nature Reserve, Wuyishan 354315)

**Abstract** Hydrological observations were made in a 76 year-old *Castanopsis eyrei* forest of the Wuyi Mountains. The results are as follows: (1) In the study period during 1993~1994, annual gross precipitation, net precipitation (throughfall) was 2082.04mm and stemflow was 99.96mm and interception loss were 2678.78mm, 2182.04mm and 496.74mm respectively. Interception rate was 18.45%. (2) Net precipitation, the part of gross precipitation appearing on the forest floor, was redistributed through different routes. The part absorbed by litter layer was an annual amount of 159.84mm, and accounting for 7.33%. The parts as surface runoff

\* 本文于 1996-03-12 收稿, 1996-10-22 收到修改稿。

本项研究得到福建省自然科学基金和武夷山自然保护区管理局的资助。

\*\* 现工作单位: 中国科学院植物研究所, 北京 100093。

and below-ground drainage were annual amounts of 11.6mm and 109.32mm respectively, and accounting for 0.53% and 5.01%, respectively. The rest was kept in soil and then lost to the atmosphere by means of ground physical evaporation or plant transpiration as absorbed by the roots. Its amount was 1901.28mm, and accounting for 87.13%. (3) The initial infiltration rate and stable infiltration rate for the soil layer of 0~20cm were  $78.6\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$  and  $15.5\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$  respectively. The time needed to arrive at the stable state was 45min. Water storage capacity of soil was  $1504.1\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ . The maximum water-holding capacity of litter layer was 5.2mm.

**Key words** Hydrological effects, Wuyi Mountains, *Castanopsis eyrei*

有关森林水文学和降水化学的研究一直是森林生态学研究的重要内容之一。国外在这一领域的研究开展较早,报道较多(中野秀章, 1975; Liloyd, *et al.*, 1988; Bruijnzeel, *et al.*, 1993)。我国近年来也陆续发表了一些这方面的研究结果(刘文耀等, 1991; 刘向东等, 1991; 朱劲伟等, 1982; 康文星等, 1992), 为指导当地森林的合理经营和水土保持工作等提供了一定的科学依据。

武夷山地处亚热带,以山地丘陵为主,地势起伏剧烈,切割纵深,土层浅薄且可蚀性强,极易发生水土流失。同时,降水充沛而季节分配不均,容易发生山洪灾害和泥石流滑塌。在本地区研究如何更好地发挥森林植被涵养水源,保持水土和维持土壤肥力等生态效能具有十分重要的现实意义。

## 1 研究地区自然概况

研究地点位于福建省武夷山国家级自然保护区境内,地理位置东经  $117^{\circ}27' \sim 117^{\circ}51'$ , 北纬  $27^{\circ}33' \sim 27^{\circ}54'$ 。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,在不同测点,年平均温度一般在  $8.5 \sim 18^{\circ}\text{C}$  之间,年降水量为 1486~2150mm,局部地方可达 3000mm 以上。大气相对湿度 78%~84%,年蒸发量仅 1000mm 左右,无霜期 250 天,风速  $0.9 \sim 1.2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,日照时数 1400h(李凌浩等, 1994)。

试验样地位于保护区管理局的先锋岭,海拔 1270m,坡向 N20°W,坡度  $16^{\circ} \sim 24^{\circ}$ 。林地土壤为山地黄壤,土层厚 50~100cm 不等,枯枝落叶层厚 5cm,一般分解良好,有机质含量丰富, pH4.5~5.5。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(何建源等, 1994)。

主径流场设置在甜槠群落的典型地段,乔木层以树龄 70 年左右的甜槠种群占绝对优势。下木层由肿节少穗竹(*Oligostachyum oedogonatum*)和细齿柃木(*Eurya loquiana*)等组成。草本层较稀疏,以蕨类为主。

## 2 研究方法

### 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,样地内随机置放 8 个雨量筒。茎流雨水用集水槽装置收集,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引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 径流雨水与地下渗透水的测定

在样地内设置小型径流场进行径流与渗水测量。径流场集水面积  $4\text{m} \times 4\text{m}$ , 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  $2\text{m}$  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。在径流场的下边缘制作  $2\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$  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  $1\text{m} \times 0.5\text{m}$  的托盘式集水器收集。

## 2.3 土壤蓄水量与渗透性的测定

除测定林内雨、径流与渗流雨水外, 对林地土壤蓄水量和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。土壤渗透性的测定采用渗透筒法(中国科学院南京土壤所, 1978)。渗透筒高  $20\text{cm}$ , 直径  $20\text{cm}$ , 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(姜志林, 1986)。

# 3 结果与讨论

## 3.1 甜槠林冠层对大气降水的再分配作用

森林降水过程中林冠的水量平衡可用下式表示:  $P = I + T + S$ , 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。表 1 反映了甜槠林林冠作用面上降水量的分配及其月变化。由表 1 中可看出, 1993 年 1 月 ~ 1993 年 12 月观测期间, 全年总降水量为

表 1 甜槠林林冠作用面上降水量的分配

Table 1 Precipitation distributions through the canopy of *C. eyrei* forest

月份 Month	降水量 Precipitation (mm)	林冠截流量 Interception (mm)	穿透雨量 Through fall (mm)	茎流量 Stem flow (mm)	林内雨量 T+ S (mm)	林冠截流率 I/P (%)	穿透雨量 /降水量 T/P(%)	茎流雨量 /降水量 S/P(%)
1	42.90	6.20	34.85	1.85	36.70	14.45	81.24	4.31
2	131.06	33.17	96.28	1.69	97.89	25.31	73.40	1.29
3	116.01	21.82	92.41	1.78	94.19	18.81	79.66	1.54
4	309.87	56.88	241.06	12.03	253.09	18.36	77.79	3.85
5	344.96	68.39	260.64	15.93	276.57	19.83	75.56	4.61
6	1143.15	182.76	904.26	56.13	960.39	15.99	79.10	4.91
7	176.42	44.07	130.05	2.30	132.35	24.98	73.72	1.30
8	180.00	24.08	151.27	4.65	155.92	13.38	84.04	2.58
9	77.75	23.42	53.09	1.24	54.33	30.12	68.28	1.60
10	84.66	17.94	65.08	1.64	66.72	21.19	76.87	1.94
11	37.35	11.04	26.31	0.00	26.31	29.56	70.44	0.00
12	34.65	7.07	27.58	0.00	27.58	20.4	79.60	0.00
合计 Total	2678.78	496.74	2082.08	99.96	2182.04	18.54	77.72	3.74

2678.78mm, 林内雨量 2182.04mm, 占总降水量的 81.46%。林冠截留量为 496.74mm, 截留率 18.54%。林内雨中, 穿透雨量 2082.08mm, 占总降水量的 77.72%, 茎流雨量 99.96mm, 仅占总降水量的 3.74%。

大气降水、林内雨水和林冠截留雨量的各月份动态差异较大。本试验所在地降水量主要集中在 4~6 三个月, 此期间的降水量高达 1797.98mm, 占全年总降水量的 67.12%, 而在冬季的 11、12、1 三个月, 降水量少, 仅占全年总降水量的 4.28%。甜槠林内降水量和林冠截留量的月份动态与林外总降水量的变化基本上是一致的, 即降水量大的月份, 林内雨量和林冠截留量也大。但是, 林冠截留率则随着降水量的增加而减少。冬季的 3 个月降水量虽少, 但林冠截留率 3 个月平均高达 21.47%, 而降水量最大的 6 月份, 林冠截留率仅为 15.99%。这种变化规律是由降水特征(频率和强度)与植被冠层干湿度及其叶量的季节性变化所决定的, 4~6 月由于降水次数多、强度大、持续时间长, 使林冠经常处于湿润状态。此期间虽然林冠截留量的绝对值较大, 但与同期林外降水量的相对比值却是小的。反之, 在冬季, 降水次数少、多以小雨为主, 使林冠截留降水能力在这种情况下能充分表现出来, 虽然林冠截留雨量较少, 但与同期降水量的相对比值却是非常高的。

与国内其它地区不同类型的森林相比, 武夷山甜槠林林冠截留雨水能力中等。其林冠截留率与滇中常绿阔叶林非常接近(18.2%)(刘文耀等, 1991), 但低于海南岛山地雨林(36.5%)和福建赤枝栲林(27.83%), 而略高于华北山杨林(15.58%)和云南松林(13.40%)(孙阁, 1988)。

### 3.2 单次降水中各降水分量与降水量的关系

#### 3.2.1 截留雨

根据试验年度对多次典型降水资料的计算可知, 甜槠林林冠截留雨量与降水量之间的关系为抛物线型, 如图 1, 回归曲线方程为:  $I = -23.9199 + 10.007 \ln P$ ,  $n = 36, r = 0.8513$ 。

从曲线趋势可以看出, 甜槠林冠对降水的截留量是随着降水量的增加而增加。当一次性降水量大于 1.5mm 时, 甜槠林内开始产生冠流。降水量在 1.5~20mm 范围内, 截留量随降水量的增加而迅速增大。在 20~60mm 降水量范围内, 随降水量增加截留量的增加趋于平缓。超过 60mm 以后, 截留量的变化很小, 基本上保持在一个常数, 范围在 14mm。

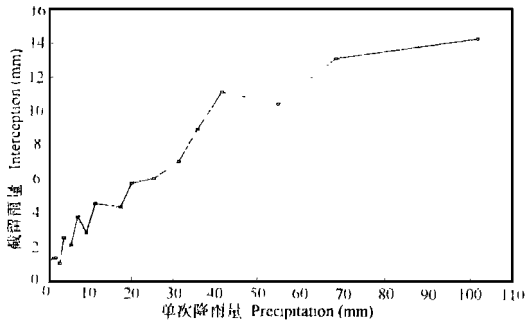


图 1 甜槠林林冠截留雨量与降水量之间的关系

Fig. 1 Relationship between precipitation and canopy

这说明甜槠林的一次截留降水量饱和值约为 14mm。本试验年度观测的 90 余次降水中, 甜槠林冠单次降水最大截留量达到 50mm 以上, 降水时间持续 6 天, 超过饱和和持水量的那部分截留损失是由于水分蒸发蒸散而导致的。

#### 3.2.2 林内净雨

林内净雨量( $P_n$ )是林冠透过雨( $T$ )和茎流雨( $S$ )二者之和。因此, 林内一次净雨量可以通过下式计算:  $P_n = T + S$  或  $P_n =$

应用本试验数据通过回归分析, 林内净雨量与降水量之间呈直线相关的关系, 回归方程为:  $P_n = -0.6884 + 0.7841P \quad r = 0.9971^{**} \quad n = 50$

全年林内净雨总量可以用全年降水量  $P$  代入上式求得其理论值, 这一理论值在本试验年度为 2100.43mm, 与实测值 2182.04mm 相近。

### 3.2.3 穿透雨

穿透雨是指通过林隙直接到达地面和从叶、枝滴落的雨水之和。全年多次测量表明, 穿透雨量随降水量增加而增加。回归结果, 透穿雨量与降水量也成直线正相关, 回归方程为:  $T = -0.9808 + 0.8138P \quad r = 0.9985^{**} \quad n = 36$

### 3.2.4 茎流雨量

茎流雨量是指在降水过程中顺树干流到林地的林内雨量。茎流雨量虽少, 但对树木养分元素的补充, 以及树体四周土壤含水量、酸碱度等理化状况均有较大影响。因此, 对茎流雨水的研究近年来已引起人们的重视 (Potter, 1992)。

甜槠林的茎流雨量整个试验年度为 99.96mm, 仅占全年总降水量的 3.74% 和林内雨总量的 4.58%。茎流雨量的产生除与降水量、持续降水时间和强度等有关外, 也与树木本身形态特征如树木茎围大小、树皮粗糙度等有关。胸径粗的树木, 其树干表面积大、吸水能力强, 故降水中产生的茎流雨量就小; 反之, 则产生的茎流量就大。在以树皮光滑的树种为主的森林, 茎流量要大于由树皮粗糙树种组成的森林 (李凌浩等, 1994)。

对甜槠林茎流量的观测结果表明: 茎流量一般是随着降水量而增加, 但二者不是直线相关, 而是呈显著的幂函数关系。其回归方程为:  $S = 0.18P^{1.3844} \quad r = 0.8821^{**} \quad n = 40$

茎流率系指茎流量与降水量之比。全年各次降水中, 甜槠林的茎流率在 1% ~ 9% 之间, 全年平均茎流率为 3.74%, 比山杨、桦树等树皮光滑的树种的茎流率要低 (7.5%) (刘向东等, 1991), 而与赤树栲林相当, 比滇中常绿阔叶树种 (0.48%) 高 (刘文耀等, 1991)。

## 3.3 甜槠林地作用面的水量分配

林内净降水 ( $P_n$ ) 到达林地地面后, 经过枯枝落叶层的吸收与挡截, 向土壤中的渗入与流出和植物根系吸收以及各种地面蒸发, 使得在林地作用面上又进行一次分配。这一分配过程可用公式表示如下:  $P_n = \Delta L + \Delta S + R_o + R_s + D + E$

式中:  $\Delta L$  —— 枯枝落叶持水量增量;  $\Delta S$  —— 土壤含水量增量;  $R_o$  —— 地表径流量 (Over-land runoff);  $D$  —— 土壤渗流量 (Drainage);  $R_s$  —— 地中径流量 (Soil runoff);  $E$  —— 植物蒸腾、根系吸收与地表面物理蒸发。对于全年多次平均值,  $\Delta S$  可视为零。

根据以上公式对甜槠林林地作用面全年的水量分配情况进行了分析, 结果由表 2 给出。

从表 2 中看出, 观测年度林内总雨量为 2182.04mm。其中, 被甜槠林地枯枝落叶层吸收截留的雨水量为 159.84mm, 占林内雨量的 7.33%; 全年地表径流量 11.6mm, 仅占林内总雨量的 0.53%; 地下渗流量 109.31mm, 占林内总雨量的 5.01%; 如果视全年平均土壤含水量没有发生变化, 即  $\Delta S = 0$ , 那么其余林内雨量均是由地表物理蒸发、植物根系吸收以及植物蒸腾所消耗的雨水量, 该量全年总和为 1901.28mm, 占全年林内雨水总量的 87.13%。总径流量 (地表径流和地下渗流量) 为 120.92mm, 占全年林内雨水总量的 5.54%。可见, 甜槠林涵养水源调节地表径流与地下渗流的作用是巨大的, 这与林冠对雨

水的截留,林地地被物对地表径流的阻挡吸收,以及森林植物强烈的蒸腾、吸水能力和林地土壤强大的蓄水性能是分不开的。

表 2 甜槠林地作用面上降水量的分配

Table 2 Water distributions at the action surface of *C. eyrei* forest floor

月份 Month	林内降水量 Total of $T + S$ (mm)	枯枝落叶截留量 Absorption by litter layer (mm)	地表径流 Run off (mm)	地下渗流 Underground drainage (mm)	蒸发蒸腾与 根系吸收 $E$ Evaporation, transpiration and absorption by roots (mm)
1	36.70	5.3	0.06	0.19	31.35
2	97.89	12.12	0.31	0.32	85.14
3	94.19	11.8	0.25	0.27	81.87
4	253.09	26.13	0.68	2.80	223.48
5	276.57	20.42	0.81	6.23	149.11
6	960.39	19.72	8.37	92.85	839.43
7	132.35	14.46	0.35	0.51	117.03
8	155.92	16.31	0.30	2.58	136.73
9	54.33	9.16	0.14	0.297	44.73
10	66.72	13.17	0.29	2.864	50.40
11	26.31	6.02			20.29
12	27.58	5.21	0.04	0.23	22.10
合计 Total	2182.04	159.84	11.6	109.32	1901.28

对各个林内雨水分量指标月份动态的分析表明,地表径流、地下渗流和  $E$  指标(蒸腾、物理蒸发、根系吸收)的月份动态与林内雨量的变化是一致的。即林内雨量大的月份,地表径流量、地下渗流量和  $E$  量也相应较大。林地枯枝落叶截留量与林内雨量的关系并不明显,这可能是与其本身的残留量及其组成 1 年中处于经常的动态变化之中有关。与同期甜槠林冠层截留量相比,地表枯枝落叶的雨水截留量虽然要小于冠层截留量,但前者可占后者的 32.18%,说明地表枯枝落叶残留物截留雨水,保持水土的功能是不容忽略的。

对多次降水资料分析结果表明,地表径流量和地下渗流量均与林外降水总量之间存在着幂函数关系,回归方程为:

$$R_0 = 0.0008P^{1.2147} \quad r = 0.7249^* \quad n = 40$$

$$D = 0.0002P^{1.9462} \quad r = 0.8141^* \quad n = 30$$

实际观测表明:甜槠林地地下渗流产生的最小降水量为 15mm,地表径流产生的最小降水量为 25mm,代入以上两个公式,  $R_0$  和  $D$  值分别为 0.039mm 和 0.0309mm,若以此值(0.04mm)作为地表径流和地下渗流水产流的临界值,从理论上讲是合理的,理论值与实际观测结果基本上是相符合的。与其它地区相比,甜槠林的年总地表径流量(11.6mm)高于云南常绿阔叶林(4.6mm)和云南松林(4.3mm),也高于湖南杉木人工林(9.27mm),而显著高于北方红松林(2.7mm)。但若以地表径流系数来比较,其大小排列顺序为杉木

林(0.087) > 云南常绿阔叶林(0.0063) > 云南松林(0.0059) > 甜槠林(0.0053) > 红松林(0.0042), 说明甜槠林保持水土的能力是很强的。因为径流系数越小, 保水能力就越强。

### 3.4 甜槠林地土壤的水分物理特征与水文学功能

透过林冠的林内降雨, 一旦到达地面, 一部分转化为地表径流, 一部分被林地枯枝落叶层吸收, 其余部分进入土壤。形成地表径流的大小不仅与降水强度和树冠截留雨水能力有关, 也与林地土壤水分物理特征, 枯枝败叶层截留雨水能力有密切关系。

#### 3.4.1 土壤水分入渗性能

由于土壤水分入渗性能影响到产流量及对土壤水分的补给, 因而是评价林地水分调解能力的重要指标之一。

土壤水分下渗量是表征其入渗性能的重要指标, 可用一段时间内降水量与地表径流量之差来表示。单位时间内的下渗量称为下渗率, 单位用  $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$  或  $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$  表示。当一定强度的降雨持续一段时间时, 降雨初期下渗很快, 这时的下渗率叫初渗率。经过一段时间之后, 此下渗速率逐渐下降, 最后大致保持一定值, 这时的下渗率叫稳渗率或终期下渗率。这个过程可用霍顿公式表示:

$$f_t = f_e + (f_o - f_e)e^{-kt}$$

式中:  $f_t$ —— $t$  时的入渗率;  $f_e$ ——稳渗率;  $f_o$ ——初渗率;  $k$ ——反映土壤特性的常数。

对甜槠林地土壤水分入渗性能的分析结果为  $f_t = 15.5 + 63.1e^{-1.1062t}$ 。入渗率方程中  $f_o - f_e$  的差值, 只说明土壤干燥程度不同使入渗过程在达到  $f_o$  值前递减梯度出现的差别。土壤越干燥, 初渗率越大, 达到稳渗阶段所需的时间越长。

研究结果表明: 甜槠成熟林地 0~20cm 土壤层的初渗率非常高, 为  $78.6 \text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , 稳渗率为  $15.5 \text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , 稳渗所需时间为 45min。这说明成熟甜槠林林地土壤具有非常强的水分入渗能力, 其短期的储水容量是很大的, 因此, 在该林内很少有地表径流产生。与其它地区的森林类型比较, 成熟甜槠林林地土壤的稳渗率远远高于所有被比较的森林类型(姜志林, 1986)。在南方雨量充沛、林地坡陡、土层浅薄条件下, 这一性能具有极其重要的现实意义。

#### 3.4.2 甜槠林地土壤的蓄水性能

森林土壤涵养水源的能力取决于土壤和森林的综合状况, 并表现在水分的保持和储蓄等方面。土壤厚度标致着储蓄水分的深度, 而落到林地上的雨水涵养于土壤非毛管孔隙内, 因此, 土壤厚度和土壤非毛管孔隙度也是决定土壤蓄水性能的主要因素(姜志林, 1986)。

表 3 是甜槠林地土壤水分物理性质的数量特征, 并据此对甜槠林地土壤的蓄水性能进行了计算(见表 4)。从表 3 可以看出, 甜槠林地的土壤容重由表层向深层呈增加的趋势, 其大小为  $0.69 \sim 1.29 \text{cm}^{-3}$ 。甜槠林根系分布较浅, 林下凋落物丰富, 有机质含量高, 可形成疏松的土壤腐殖质, 因此表层(0~20cm)土壤容重较小。随着土壤深度的增加, 有机质含量逐渐降低, 故土壤容重也随之增加。土壤孔隙度随着土壤深度的增加呈递减趋势, 并与土壤容重成相反关系。最大持水量、毛管持水量等都随着土壤剖面深度的增加而递减, 这和孔隙度的分布规律基本上相一致。

表3 甜槠林地土壤水分物理性质的数量特征

Table 3 Quantitative characteristics of physical properties of soil in *C. eyrei* forest

土层厚度 Soil layer (cm)	容重 Volume weight ( $g \cdot cm^{-3}$ )	最大持水量 Maximum moisture capacity (%) (mm)	毛管持水量 Capillary moisture capacity (%) (mm)	非毛管孔隙度 Non-capillary porosity (%)	毛管孔隙度 Capillary porosity (%)	总孔隙度 Total porosity (%)	毛管与非毛管孔隙度比值 Ratio of capillary to non-capillary porosity		
0~10	0.69	108.5	74.88	86.6	59.76	15.12	59.76	74.88	3.69
10~20	0.72	98.7	71.08	82.8	59.62	11.46	59.62	71.08	5.20
20~30	1.02	57.9	59.04	40.0	40.81	18.23	40.81	59.62	2.24
30~110	1.29	38.8	400.0	28.8	290.8	13.65	36.35	50.00	2.66

表4 甜槠林地土壤的蓄水量

Table 4 Water storage capacity in the soil of *C. eyrei* forest

土壤层次 Soil layer (cm)	厚度 Thickness (cm)	非毛管孔隙 Noncapillary porosity (%)	蓄水量 Water storage ( $t \cdot hm^{-2}$ )
0~10	10	15.12	151.2
0~20	10	11.46	114.6
20~30	10	18.23	182.3
30~110	80	13.65	1092

甜槠林地土壤蓄水性能测定结果表明,该林地土壤蓄水量为  $1540.1 t \cdot hm^{-2}$ 。武夷山自然保护区有甜槠林约  $3000 hm^{-2}$ ,其总蓄水量为  $462.03 \times 10^4 \cdot t$ ,相当于  $10 \times 10^4 \cdot m^3$  容量的小水库 46 个。因此,甜槠林地土壤巨大的蓄水能力在防止该地区山洪灾害和水土流失方面起着非常重要的作用(何建源等, 1994)。

### 3.4.3 枯枝落叶层的持水量

地表枯枝落叶层根据分解程度的不同,一般可分为未分解的 L 亚层,半分解的 F 亚层和完全分解的 H 亚层 3 个层次(张万儒等, 1986)。在甜槠林内,由于气候高温湿润,故凋落物分解较迅速,以 H 亚层所占比例较大,而 L、F 两层的地表残留量相对较少。试验年度内,甜槠成熟林地表 L、F 二亚层凋落物残留量月份间的变化较大,范围在  $3.265 \sim 11.498 t \cdot hm^{-2}$  之间,平均残留量  $7.158 t \cdot hm^{-2}$ ,H 亚层年均存留量  $14.9 t \cdot hm^{-2}$ 。因此,地表枯枝落叶层残留凋落物总量为  $22.058 t \cdot hm^{-2}$ 。枯枝落叶层由于分解程度的不同,在吸水能力上也不相同。在甜槠林地枯枝落叶层 3 个亚层中,H 亚层吸水能力最强,吸水量可达自身干重的 2.6 倍,而 L、F 层吸水能力较低,吸水量仅为自身干重的 1.9 倍。这样,甜槠成林地地表枯枝落叶层的一次性最大吸水量  $52.34 t \cdot hm^{-2}$  (其中,L、F 层吸水量为  $13.6 t \cdot hm^{-2}$ , 占总吸水量的 25.98%,H 亚层吸水量  $38.74 t \cdot hm^{-2}$ , 占总吸水量的 74.02%),相当于 5.2mm 的降水量。与其它地区相比,武夷山甜槠林枯枝落叶层最大持水量属于中等水平,与滇中常绿阔叶林相当(5.4mm),低于亚热带针阔混交林(10.4mm)



和祁连山冷杉林(10mm), 却显著高于海南岛山地雨林和热带次生林(0.7~1.1mm)。

甜槠林地表枯枝落叶层在试验年度全年截留雨水量为 159.84mm, 分别占总降水量和林内净雨量的 5.9% 和 7.3%。通过对降水过程中枯枝落叶吸水情况的实地观察, 枯枝落叶的吸水量除与自身初始含水量有关外, 还与降水特征(强度、持续时间、雨量)等有关。在降水次数多, 但强度小雨量少的情况下, 其截留的雨量就高。在林冠下, 由于光照弱, 湿度较大, 而枯枝落叶的水分蒸发量不大, 能保持一定的水量, 故就一次降水过程来说, 枯枝落叶层的实际雨水截留量并不大。甜槠林枯枝落叶层原含水率通常在 50% 左右, 日降水量 10mm 以上时可使其含水率增加到 140% 左右, 因此, 实际吸水率仅 90%, 而通过地面蒸发使其含水率恢复到原来的水平, 在晴朗的夏季约 2 天的时间(24 小时日照)。

枯枝落叶层的水文学效应不仅仅表现在截留雨量方面, 还有多方面的有利作用。枯枝落叶的分解可增加土壤有机质, 改善土壤结构, 增加土壤的非毛细管孔隙, 使森林土壤的渗透性增强, 贮存更多的水量, 并能增加下渗率, 减少地表径流。此外, 枯枝落叶层可以缓冲雨滴对林地地表层土壤的机械冲刷, 过滤地表径流所挟带的泥沙, 降低水流速度, 避免土壤侵蚀的产生。因此, 枯枝落叶层在涵养水源和保持水土方面具有十分重要的意义。

## 4 结 论

本文对武夷山甜槠林成熟林水文学效应的研究表明:

(1) 观测期间, 年大气降水量 2678.78mm, 林内雨量 2182.04mm, 占总降水量的 81.46%; 林冠截留量为 496.74mm, 截流率 18.54%; 林内雨中, 穿透雨量 2082.08mm, 占总降水量的 77.72%, 树干茎流 99.96mm, 占总降水量的 3.74%;

(2) 到达甜槠林地作用面的林内雨量中, 被地表枯枝落叶层截留的量为 159.84mm, 占林内总雨量的 7.33%; 地表径流量 11.6mm, 占林内总雨量的 0.53%; 地下渗流量 109.32mm, 占林内总雨量的 5.01%; 其余林内雨量形成土壤含水量增量并由地表物理蒸发、根系吸收以及植物蒸腾所消耗;

(3) 甜槠林地 0~20cm 土层水分初渗率  $78.6\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , 稳渗率  $15.5\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , 达到稳渗历时 45min, 地表枯枝落叶最大持水量 5.2mm, 土壤蓄水量 154.0mm。与国内其它地区不同类型的森林相比较, 武夷山甜槠林具有较强的水文学效能。

## 参 考 文 献

- 中野秀章(李云森译), 1975: 森林水文学, 中国林业出版社, 北京, 69~72。
- 朱劲伟, 崔启武等, 1982: 红松林和采伐迹地的水量平衡分析, 生态学报, 2(2) 335~343。
- 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。
- 刘向东, 吴钦孝等, 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。
- 孙阁, 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。
- 李凌浩, 何建源等, 1994: 武夷山自然保护区自然地理概况, 武夷山研究, 厦门大学出版社, 1~6。
- 李凌浩, 林鹏等, 1994: 森林降水化学研究综述, 水土保持学报, 8(1) 84~96。
- 何建源, 李凌浩, 1994: 武夷山自然保护区植被, 武夷山研究, 厦门大学出版社, 39~112。
- 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。
- 康文星, 田大伦等, 1992: 杉木人工林水量平衡和蒸散研究, 2: 18~20。

- Bruijnzeel, L. A. , Waterloo, M. J. Proctor, Kuiters, A. T. and B. Kotterink, 1993: Hydrological observations in montana rain forests on Gunung Silam, Sabah, Malaysia, with special reference to the "Massenerhebung" effects. *Journal of Ecol.* , **81**: 145 ~ 167.
- 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.
- Potter, C. S. , 1992: Stemflow nutrient inputs to soil in a successional hardwood forest, *Plant and Soil*, **71**: 87 ~ 101.