

# 北京九龙山林地对降雨的调蓄功能\*

张理宏 李昌哲 杨立文

**摘要** 对北京九龙山油松林、侧柏林、阴坡灌木林、阳坡灌木林的林冠层、枯落物层及土壤层对降雨的调蓄功能进行了研究,结果表明:四种不同林地的林冠截持率为22%~32%,大暴雨下的截持率为7%~10%,枯落物层的有效调蓄为0.46~2.42 mm;50 cm土层的快速、慢速和变化调蓄量分别为35~48 mm;54~48 mm,28~52 mm;四种林地调蓄功能的顺序从大到小为油松林、阴坡灌木林、阳坡灌木林、侧柏林。

**关键词** 北京、森林植被、调蓄能力、渗透、径流

太行山区的植被历经破坏,水土流失严重,土壤瘠薄。降雨的时空分布很不均匀,暴雨集中,林地对降雨的调蓄作用值得探讨。为此,于1984~1990年在北京九龙山进行了连续观测,以便对林地的调蓄功能作定量评价。

## 1 自然概况

试验地属北京市门头沟区,地处116°6' E,39°42' N,属太行山低山丘陵区,海拔为220~599 m。年平均气温11.8℃,一月平均气温-4.1℃,七月平均气温25.6℃;年平均降水量623.0 mm,多雨年达970.1 mm,少雨年份仅285.3 mm,降水主要集中在6~9月,占全年降水量的80%以上,而7、8两月的降水量又占这一期间的80%以上;年平均蒸发量1870.7 mm;年平均风速2.5 m/s,主风向为西北风。属南温带亚湿润区((3)B<sub>1</sub>)和南温带亚干旱区((3)C<sub>1</sub>),为大陆性季风气候。土壤是砂岩风化坡积物上发育起来的山地褐土。由于长期遭到不同程度的侵蚀,表现出粗骨性。结构发育不良,石砾含量高达30%~40%,土层较薄,小于40 cm,具有较高的渗透性。

植被以灌木为主,有荆条(*Vitex negundo* L. var. *heterophylla* (Franch.) Rehd.)、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.)、蚂蚱腿子(*Myrica dioica* Bge.)、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata* L.)、雀儿舌头(*Leptopus chinensis* (Bge.) Pojark.)等,平均高1.3 m左右,平均盖度在0.8以上;阳坡分布有25年生侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco)人工林,平均树高5.5 m,平均胸径9.0 cm,郁闭度在0.3~0.8之间;阴坡分布有24年生油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)人工林,平均树高4.5 m,平均胸径8.5 cm,郁闭度在0.4~0.7之间。

## 2 研究方法

由于枯落物层较薄,故不分层调查,直接设置1 m×1 m的样方,测定枯落物现存量、水分

1993-07-08 收稿。

张理宏助理研究员,李昌哲,杨立文(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

\* 本文系“七五”攻关“太行山水土保持林营造技术及效益研究”课题的一部分。

含量后,浸水 24 h 测定其最大水容量;在林下顺坡设置面积为 1 m×2 m 的承接池,用自记水位计测定林内降雨,同时用自记雨量计测定林外降雨,林内外降雨之差即为林冠截持量;分层取样,按环刀法<sup>[1]</sup>测定土壤水分含量、渗透系数及其它水分物理常数。土壤水分动态测定从 1988、1989 年的 4 月初到 10 月底,每月 5、10、15 日采样,3 次重复;并建坡面径流小区(5 m×20 m)测定不同林地的径流。

### 3 结果与分析

#### 3.1 林冠层的调蓄作用

从表 1 中看出:林冠对全年降雨的截持量、截持率以油松林最大,其截持率为 30.05%~31.63%。其次为阳坡灌木林、侧柏林、阴坡灌木林,三者之间相差不大。阳坡灌木林截持率稍大的原因是阳坡截持能力恢复快。与黄礼隆等在川西米亚罗林区测定<sup>[2]</sup>的结果相当,林龄 200 a 以上,郁闭度为 0.7 的藓类冷杉林(*Abies fabri*(Mast.) Craib)年平均截持率为 32.7%。苏联著名林学家 T.Φ 莫洛佐夫测定的成熟油松林的截持率<sup>[3]</sup>为 23%,与该区灌木及侧柏林相当。可见,试区四种林冠的全年截持率并不低,尤其是灌木林的林冠截持率较高。这对评价灌木林的水文效应有积极的意义。

表 1 不同林冠的截持量与截持率

林 地	截持量(mm)	截持率(%)	截持量(mm)	截持率(%)	截持量(mm)	截持率(%)	郁闭度
阳坡灌木林	146.89	23.57					0.95
阴坡灌木林	134.17	21.53					0.95
油松林	197.14	31.63	245.18	31.05	172.90	30.16	0.80
侧柏林	145.14	23.29	176.10	22.30	146.00	24.47	0.75
年 份(年)	1987		1988		1989		
降雨天数(d)	81		96		65		
降雨量(mm)	623.2		789.6		573.3		

从表 2 中可见,在大暴雨下的林冠截持量为 5.1~21.7 mm;暴雨截持率为 4.88%~12.93%,远低于全年平均值。暴雨是造成水土流失和洪水、崩塌的主要降雨形式,林冠对暴雨的截持率一般占暴雨量的 10%左右,对于防止地表径流和防洪减灾起不到决定性作用。从林冠的全年截持量和截持率看,其比重甚大,占全年降水总量的 21.51%~31.73%。被截持的这部分水分,经蒸发重返大气,既不能为林木生长所吸收,也不能转化为水资源,属无效消耗。

表 2 大暴雨<sup>①</sup>下的林冠截持量与截持率

林 地	截持量(mm)	截持率(%)	截持量(mm)	截持率(%)	截持量(mm)	截持率(%)	平均截持量(mm)	平均截持率(%)
阳坡灌木林	8.9	4.99	15.1	8.42	5.4	10.27	9.8	7.16
阴坡灌木林	8.7	4.88	14.8	8.25	5.1	9.70	9.5	6.94
油 松 林	14.5	8.13	21.7	12.10	6.8	12.93	14.3	10.45
侧 柏 林	10.1	5.66	15.2	8.48	5.2	8.89	10.17	7.44
时间(年-月-日)	1987-07-21		1988-08-02		1989-07-30			
降雨量(mm)	178.4		179.3		52.6		136.8	

①为流域产流暴雨。

### 3.2 枯落物层的调蓄作用

枯落物是第二个水分调蓄层,它不仅有很大的持水能力,而且对促进水分进入土壤和抑制土壤水分蒸发都起一定的作用。

3.2.1 年枯落物层 枯落物由林地枯物和凋落物构成,试区枯物主要为草本植物,凋落物由落下的叶、茎、枝条、果、芽、树皮死体组成,以叶为主,占凋落物总量的80%以上<sup>[4]</sup>。

由表3可见,阳坡灌木林地的年枯落物量比阴坡灌木林地多11.9%。构成上也有明显的差别:阳坡灌木林的年枯落物主要来自草本植物和灌木的落叶,分别占55%和45%;阴坡灌木林主要是落叶(92.9%),阳坡的年枯落物量尽管大于阴坡,但由于两者光热等条件不同,阳坡比阴坡分解速度快。故阴坡灌木枯落物重量是阳坡的三倍多(表4)。

表3 灌木林地的年枯落物量

(单位:t/hm<sup>2</sup>)

林地	叶量	草本	总量
阳坡灌木	0.84	1.04	1.88
阴坡灌木	1.56	0.10	1.68

### 3.2.2 枯落物的最大持水量及有效调蓄量

观测结果表明(表4):人工林的枯落物重量明显比灌木林地的大(4:1);每公顷枯落物最大持水量由大到小为油松林、侧柏林、阴坡灌木林、阳坡灌木林;灌木林的最大截持率比人工林的大。

表4 不同林地枯落物持水量

林地	厚度 (cm)	盖度 (%)	枯落物重 (t/hm)	最大持水量 (t/hm <sup>2</sup> )	最大持水率 (%)	自然含水率 (%)	有效调蓄	
							调蓄量(t/hm <sup>2</sup> )	调蓄深(mm)
阳坡灌木林	1.5	55	2.78	6.89	248	45	4.61	0.46
阴坡灌木林	3.0	75	8.50	22.55	265	50	14.90	1.49
油松林	5.0	95	22.11	46.67	211	70	24.18	2.42
侧柏林	2.0	80	21.29	29.00	136	75	8.64	0.86

枯落物最大持水量不等于它对降雨的有效调蓄量。因为在实际降水过程中,山坡上并不会出现最大持水量测定时那样长的浸水时间,降落的雨水一部分被拦蓄,一部分则很快透过孔隙进入土壤。降水达到一定程度时,其调蓄降水的能力基本停止,这时的枯落物实际持水量约为最大持水量的85%。有效调蓄量用下式表示:

$$W = (0.85Rm - R_0) \cdot M$$

式中:W为调蓄量(t/hm<sup>2</sup>);Rm为最大持水量(%);R<sub>0</sub>为自然含水率(%);M为枯落物量(t/hm<sup>2</sup>)。

表4说明,枯落物的有效调蓄量仍以油松林最大(24.18 mm),阳坡灌木最小(4.61 mm)。但阴坡灌木的有效调蓄量大于侧柏林。虽然阴坡灌木的枯落物量、最大持水量大于侧柏林,但由于枯落物自然含水率不同,致使侧柏林的有效调蓄量小于阴坡灌木林。4种林地的调蓄深为0.46~2.42 mm,对一次大暴雨的调蓄作用不大。但对调蓄降雨起着十分重要的作用。不可忽视其“间接调蓄”作用。

### 3.3 土壤层的调蓄作用

3.3.1 土壤水分物理性质 表5表明,容重随土壤深度的增加而明显增加,其它物理性质则随深度的增加而减小。油松、侧柏为乔木树种,根系深,枯落物多,各种孔隙以及持水量都大于灌木林地。

表5 不同林地土壤物理性质

林地	土层 (cm)	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	最大持水量 (%)	毛管持水量 (%)	田间持水量 (%)	总孔隙度 (%)	毛管孔隙 (%)	非毛管孔隙 (%)
阳坡灌木	0~11	1.19	38.43	30.17	22.23	45.73	35.90	9.83
	11~50	1.33	29.41	24.66	16.21	36.12	32.80	3.32
阴坡灌木	0~12	1.15	44.62	37.82	26.35	51.31	43.49	7.82
	12~50	1.27	34.59	29.06	20.86	43.93	36.90	7.03
油松林	0~12	1.09	49.88	36.94	28.91	54.37	40.27	14.10
	12~31	1.22	43.43	36.36	24.12	52.98	44.39	8.59
	31~50	1.40	34.88	29.24	19.44	48.83	40.93	7.90
侧柏林	0~10	1.17	39.70	31.05	28.43	46.45	36.33	10.12
	10~45	1.35	33.33	26.81	26.00	45.00	36.20	8.80
	45~50	1.42	30.00	23.80	22.80	42.50	33.80	8.70

3.3.2 试区土壤对水分的调蓄特征 由于土壤中存在不同大小的孔隙,各孔隙中水分存在的状态和运动速度不同,可把林地土壤调蓄分为快速调蓄、慢速调蓄和变化调蓄三部分。快速调蓄是通过土壤中很松散的大孔隙以及林木根系形成的孔洞、土壤裂隙、动物孔穴等的重力水调蓄,其调蓄速度快,数值为非毛管持水量;慢速调蓄是通过土壤较松散孔隙的毛管重力水调蓄,它在土壤中贮存时间较长,一般为2h到2d左右。数值为毛管持水量减田间持水量。变化调蓄为一部分毛管水调蓄,这部分水为土壤本身所吸收,不受重力作用的影响,在土壤中保持时间很长(2d以上),只通过植物蒸腾或地表蒸发运动,数值上为田间持水量与土壤含水量之差。由于这部分水分随土壤含水量的变化而变化,故称之为变化调蓄。前期降雨多,土壤水分含量多,它就少。因此在评价调蓄能力时,变化调蓄只作为参考。以上三部分因调节速度不同,其组成上的变化在调节水分时对不同形式的降雨调节效果不同。

从图1可以看出:试区毛管持水量为27.42%,田间持水量为19.22%,两者之差为8.2%,是非毛管持水量(6.51%)的1.26倍,可见慢速调蓄在调节水分方面起很大作用;土壤含水量未超过其田间持水量,这说明变化调蓄也是不容忽视的。有的学者认为<sup>[5,6]</sup>,在一些雨量比较充足,土壤湿度较大的地区,降雨时主要是非毛管孔隙起调蓄作用,而试区土壤含水率低,长期处于低贮水状态,因此对水分的调蓄特征与其它地区不同。

土壤学中把最大持水量与田间持水量之差称为排水能力<sup>[1]</sup>,由于变化调蓄数值不定,因此在太行山以排水能力的多少来评价林地调蓄水分功能是比较合适的。

3.3.3 林地贮水量及有效调蓄量 表6表明,林地土壤的有效调蓄量为103.51~141.19mm,是林地调蓄水分的主要部分。四种林地的非毛管孔隙调蓄水量由大到小为油松林、侧柏林、阴坡灌木林、阳坡灌木林。可见乔木树种改良土壤、提高非毛管孔隙的作用之大。但有效调蓄、排水能力由大到小为油松林、阴坡灌木林、阳坡灌木林、侧柏林。毛管持水量、最大持水量则为油松林、阴坡灌木林、侧柏林、阳坡灌木林。造成这种结果的原因是:侧柏林地枯落物丰富,减

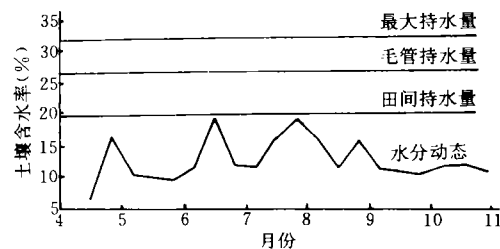


图1 1989年阳坡灌木林土壤水分曲线

少了土壤蒸发,使土壤中储存的水量高,从而降低了有效调蓄能力。侧柏林地的储水量为121.69 mm,比阳坡灌木林地的储水量多38.17 mm,而有效调蓄为103.51 mm,仅比阳坡灌木少15.83 mm;由于侧柏林地的田间持水量高,贮存于林地的水分多,易于被植物吸收,有利于植物生长,但对排水能力则起相反作用。侧柏林地的田间持水量为173.47 mm,比阴坡灌木林地大60.29 mm,而排水能力仅相差51.73 mm。

表6 不同林地土壤调蓄水分的情况 (单位:mm)

林分	土壤层次	最大持水量	毛管持水量	田间持水量	土壤含水量	排水能力	快速调蓄	慢速调蓄	变化调蓄	有效调蓄
阳坡灌木	0~11	50.30	39.49	29.10	13.50					
	11~50	152.56	127.92	84.08	70.02	98.68	35.45	54.23	29.66	119.34
阴坡灌木	0~12	61.57	52.19	36.36	17.79					
	12~50	166.94	140.22	100.67	72.25	91.48	36.10	55.38	46.99	138.47
油松林	0~12	65.24	48.22	37.18	20.55					
	12~31	100.66	84.34	55.91	44.27	113.25	48.25	65.00	27.94	141.19
	31~50	92.78	77.77	51.71	52.67					
侧柏林	0~10	46.45	36.33	34.43	19.48					
	10~45	157.50	126.70	122.85	88.36	51.74	45.27	6.46	51.78	103.51
	45~50	21.25	16.90	16.18	13.85					

注:排水能力=最大持水量-田间持水量;有效调蓄=最大持水量-平均土壤贮水量。土壤含水量是1989年7、8月的平均值。

另外,阳坡灌木林、阴坡灌木林、油松林、侧柏林地的变化调蓄分别占其有效调蓄的24.85%、33.94%、19.79%、50.02%。可见变化调节也是不容忽视的。

### 3.4 渗透

不同植被土壤的渗透(表7)表明,森林对0~10 cm土壤的影响最大,渗透性能最好;乔木林比灌木林更能提高深层土壤的渗透系数,乔木林对土壤渗透的影响深度主要为0~60 cm,灌木林为0~10 cm;不同林地土壤的渗透系数由高到低顺序为油松林、侧柏林、阴坡灌木林、阳坡灌木林。

表7 不同林地土壤的渗透系数

林地	侧柏林			油松林			阳坡灌木林		阴坡灌木林	
	0~10	10~45	45~60	0~12	12~31	31~65	0~11	11~37	0~12	12~57
土壤层次(cm)										
渗透系数(mm/min)	1.40	1.29	1.00	2.85	1.63	0.96	1.55	0.36	1.49	0.89

1988年在降水量为179.0 mm、降雨强度为111 mm/h,在降雨过程中油松林、侧柏林和阴坡灌木林径流小区水分只是以潜流形式从土壤以及枯落物中下泄,无坡面径流产生,只有阳坡灌木林地产生坡面径流。可见试区的渗透速度较大,一般情况下不会出现超渗产流。

## 4 结 论

(1)4种林地的林冠截持率为21.53%~31.73%,并不比其它地区差。但大暴雨下的林冠截持率仅为4.88%~12.93%,为全年平均值的35%。

(2)阳坡灌木林、阴坡灌木林、侧柏林、油松林地对暴雨的有效拦蓄分别为0.6、1.8、3.2、

1.3 mm;不同森林植被土壤的调蓄能力由大到小顺序为阴坡油松林、阴坡灌木林、阳坡灌木林、阳坡侧柏林。在阴坡营造油松人工林能提高林地的调蓄能力。而在阳坡营造侧柏林则相反。但侧柏林快速调节能力强,有利于水资源的开发利用;对尚未营造新林的阴坡灌木林地,应进行封山育林,以提高林地对水分的调蓄作用。

(3)林地土壤调蓄由快速调蓄、慢速调蓄以及变化调蓄三部分组成,三者数量上的变化对于不同形式的降雨调节效果不同。变化调蓄与土壤含水量关系密切。

### 参 考 文 献

- 1 森林土壤水分—物理性质的测定. 中华人民共和国国家标准(GB 7835-87).
- 2 黄礼隆, 杨玉坡. 试论四川西部高山原始森林的水源涵养功能. 见: 潘维博主编. 全国森林水文学学术讨论文集. 北京: 测绘出版社, 1989. 119~125.
- 3 罗戴 A A(巴逢辰译). 土壤水. 北京: 科学出版社, 1964.
- 4 沈辛作, 周晓丽, 王 卉. 浙江省山地主要森林类型枯枝落叶层水文特性的初步研究. 浙江林业科技, 1986, 6(2): 1~6.
- 5 雷瑞德, 王建让, 谢应忠. 秦岭南坡林地蓄水功能的初步研究. 陕西林业科技, 1985, (专刊): 20~36.
- 6 阎树文, 王斌瑞, 赵开国. 广西大明山林区不同森林类型水源涵养机能的计量化研究. 林业科技通讯, 1982, (9): 15~20.

## A Study on Rainfall Regulation and Holding Capacity of Forest Land in Jiulong Mountain, Beijing

Zhang Lihong Li Changzhe Yang Liwen

**Abstract** The rainfall regulation and holding capacity of the forest canopy, litter and soil in Jiulong Mountain were studied. The results showed that: mean annual rainfall interception rate of forest canopy in 25-year-old artificial plantation of *Pinus tabulaeformis* Carr. and *Platycladus orientalis* (L.) Franco is about 22%~32%; the mean interception rate of heavy rain storm 7%~10%. The effective amount of retention by litter 0.46~2.42 mm. The capacity of regulation and rainfall holding of soil horizon could be classified into 3 categories: fast, slow and changed regulation. Among them, the fast regulation amount is between 35~48 mm, the slow regulation amount 54~48 mm, and the changed regulation amount 28~52 mm. The sum of the three is called as the effective amount of regulation and holding, which is between 103~141 mm. It is clear that the soil horizon possesses the greatest capacity. Although the annual amount of rainfall regulation of the forest canopy is rather large, its regulation amount to heavy rainstorm accounts for only 10% of the total.

**Key words** Beijing, forest vegetation, regulation and holding capacity, infiltration, runoff