

北京九龙山不同植被土壤水分特征的研究*

周择福 李昌哲

摘要 通过实测的土壤水分特征曲线,分析了不同植被的土壤持水性。结果表明:土壤吸力与土壤含水量之间存在着显著的幂函数关系,它们的数学模型为: $\theta = aS^b$, 土壤的持水性由好到差依次为:阴坡灌木、阴坡裸地、阴坡油松、阳坡灌木、阳坡裸地、阳坡侧柏,坡向和植被类型对土壤的持水性影响极大。同一坡向中,灌木林地的土壤持水性优于乔木林地,所有林地的表层土壤(0~20 cm)的持水性均优于下层土壤(20~60 cm);回归分析结果表明,在相同的立地条件下,影响土壤中、低吸力段持水性的主要因子为土壤容重、毛管孔隙度和有机质含量。

关键词 北京九龙山、植被类型、土壤水分、土壤持水性

水是干旱地区林木生长的主要限制因子之一,如何将有限的天然降水和地表径流用于造林,这是造林技术的关键问题。本文研究了北京九龙山不同植被条件下的土壤水分特征曲线、不同植被条件下土壤的蓄水保墒能力及影响蓄水的主要因子,为制定水土保持林的营造措施提供理论依据。

1 试区自然概况

试验区属太行山低山丘陵区,位于北京市门头沟区的中国林业科学研究院北方造林实验中心,116°6' E, 39°42' N,海拔220~599 m,年均气温11.8℃,年降水量623.0 mm,多雨年份达970.1 mm,少雨年份仅285.3 mm,6~9月的降水量占全年的80%以上,年平均蒸发量约为降水量的3倍。土壤为砂岩、页岩风化坡积物上发育起来的山地淋溶褐土和山地褐土,由于长期遭受不同程度的侵蚀,土壤表现为粗骨性特征,土层较薄,结构发育不全,石砾含量高,保水性能差。植被以灌木为主,并分布有成片的侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco)和油松(*Pinus tabulaeformis* Carr)人工林,灌木主要有荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla* Rehd)、酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *Spinosa* (Bunge)Hu)、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz)、蚂蚱腿子(*Myriophos dioica* Bunge)和三裂绣线菊(*Spiraea trilobata* Lindl)等。

2 研究方法

在实地调查的基础上,选择有代表性的4种植被类型,设置固定标准地(表1)进行试

1993—08—09收稿。

周择福助理研究员,李昌哲(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

*本文为国家“八五”攻关项目“水土保持林结构模式”的部分内容。刘昌明曾给予帮助,特表致谢。

验。在阴、阳坡灌木林地的附近各设一块10 m × 10 m 的标准地，雨季前清除灌木和杂草，经过一个雨季，使其成为裸露地，无杂草生长，进行对比试验。

雨季中，用高1 cm、直径5 cm的铜环取土器，取标地内0~20 cm和20~50 cm 的土样，每层重复三次，放在选定的压力板上，用无气水将备好的土样，充分饱和，放在压力室内，加压到所需压力上，待平衡后，切断气源，取出土样，用烘干法测定土壤含水量，根据预定的不同压力重复以上工作，取得不同压力下土样的土壤含水量，可得出土壤水分特征曲线。按照常规方法测定标地内的土壤物理性质、机械组成和有机质含量。

表1 标准地基本情况

植被类型	平均树高(m)	平均胸径 (地径) (cm)	密度 (林/hm ²)	郁闭度 (盖度)	林龄 (a)	坡度 (°)	坡向	坡位
阴坡油松林	4.1	9.5	2 145	1.0	29	22	N	中下部
阳坡侧柏林	4.6	7.5	2 355	0.9	29	23	SW	下部
阴坡灌木	1.4	(3.2)	—	0.9	—	30	N	中上部
阳坡灌木	0.9	(2.1)	—	0.9	—	32	S	中部
阴坡裸地	—	—	—	—	—	30	N	中上部
阳坡裸地	—	—	—	—	—	32	S	中部

3 结果与分析

3.1 不同植被土壤水分特征曲线的数学模型

土壤水分特征曲线反映土壤水分的数量与能量之间的关系，也反映土壤保持水分的状况，所以又叫土壤持水曲线^[1,2]，是研究土壤水分特征的重要曲线。由于不同植被的改良土壤作用，在同一生态环境下形成的土壤具有不同的理化特性，因而，它们的蓄水性能不同，反映了不同的土壤水分特征曲线。由实测的不同植被的土壤水分特征曲线（略）也充分说明了这一点，实测的水分特征曲线反映了土壤含水量和土壤吸力之间存在着幂函数关系，选用的土壤水分特征曲线的数学模型为：

$$\theta = aS^b$$

式中：S——土壤吸力； θ ——土壤重量含水量， a 、 b 为参数。

用最小二乘法整理实测的土壤含水量—土壤吸力的数据，拟合的参数及数学模型如表2。

从表2可以看出，土壤含水量随着土壤吸力的变化而变化，从而换算出土壤含水量。参数 a 值也随着植被类型的不同，呈现出有规律的变化，无论是乔木林地，还是灌木林地和裸地，都是阴坡的 a 值高于阳坡；在同一坡向中，灌木林地的 a 值高于乔木林地，裸地介于乔、灌木之间。

3.2 不同植被土壤的持水性

一般将土壤吸力范围划分为三段：① 吸力值小于1 bar为低吸力段；② 吸力值1~15 bar为中吸力段；③ 吸力值大于15 bar为高吸力段^[3]。15 bar以下的中、低吸力段相当于有效水的下限范围，是能被植物吸收利用的范围。根据土壤水分特征曲线的数学模型计算了标地内中、低吸力段的土壤含水量(表3)。计算结果表明，在同一吸力段范围内，由于地形和植被的

表2 土壤水分特征曲线的数学模型及相关系数

植被类型	土层厚度 (cm)	参 数		数学模型	相关系数
		a	b		
阴坡油松林	0~20	12.6	-0.305	$\theta = 12.6S^{-0.305}$	$r = -0.96982$
	20~50	11.5	-0.346	$\theta = 11.5S^{-0.346}$	$r = -0.98860$
阳坡侧柏林	0~20	11.1	-0.322	$\theta = 11.1S^{-0.322}$	$r = -0.98670$
	20~50	10.7	-0.314	$\theta = 10.7S^{-0.314}$	$r = -0.99085$
阴坡灌木林	0~20	14.5	-0.321	$\theta = 14.5S^{-0.321}$	$r = -0.98556$
	20~50	14.3	-0.254	$\theta = 14.3S^{-0.254}$	$r = -0.98526$
阳坡灌木林	0~20	11.8	-0.282	$\theta = 11.8S^{-0.282}$	$r = -0.99356$
	20~50	11.1	-0.327	$\theta = 11.1S^{-0.327}$	$r = -0.98916$
阴坡裸地	0~50	13.8	-0.329	$\theta = 13.8S^{-0.329}$	$r = -0.96716$
阳坡裸地	0~50	11.4	-0.209	$\theta = 11.4S^{-0.209}$	$r = -0.99037$

注：相关系数均为极显著。

影响,土壤的含水量都不同,阴坡的土壤含水量都高于阳坡,阴坡油松林大于阳坡侧柏林;阴坡灌木林大于阳坡灌木林;阴坡裸地大于阳坡裸地,这主要由于不同坡向的光热不同,影响了降水的再分配。在同一坡向中,是植被类型影响土壤含水量,灌木林地的含水量均高于乔木林地,裸地介于灌木与乔木之间。土壤含水量由高到低的次序为:阴坡灌木、阴坡裸地、阴坡油松林;阳坡灌木、阳坡裸地、阳坡侧柏林。灌木林地的枯枝落叶易于分解,能增加土壤肥力,改善土壤通气状况和蓄水性能,因而灌木林地有较好的持水性,而油松和侧柏林的枯枝落叶较难分解,改良土壤的作用较差。阴、阳坡土壤含水量的差值随着土壤吸力的降低而增加,当土壤吸力为1 bar时,阴坡灌木的含水量为14.5%,而阴坡油松林为12.6%,相差约2%;当土壤吸力都为0.1 bar时,阴坡灌木的含水量为30.36%,阴坡油松林为25.43%,相差4.93%。所有测试的土壤中,上层土壤(0~20 cm)的含水量比下层土壤(20~50 cm)高,在中吸力段中,阴坡灌木则相反。据测定(表4),上层土壤的有机质含量都高于下层。有机质含量的增加,改善了土壤的水分状况,增强了土壤的持水性。在有效水的范围内,以15 bar为下限^[3],不论是阴坡还是阳坡,灌木林地的有效水的下限比乔木林地的低,灌木林地的土壤持水性比乔木林地的好。

表3 不同吸力段的土壤含水量

(单位: %)

植被类型	土层厚度 (cm)	低吸力段(bar)						中吸力段(bar)			
		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	3.0	5.0	10	15
阴坡油松林	0~20	25.43	18.19	15.57	14.08	13.01	12.60	9.01	7.71	6.24	5.52
	20~50	25.51	17.44	14.62	13.01	11.93	11.50	7.86	6.59	5.18	4.51
阳坡侧柏林	0~20	23.30	16.36	13.88	12.45	11.48	11.10	7.79	6.61	5.29	4.64
	20~50	22.05	15.62	13.30	11.97	11.06	10.70	7.58	6.46	5.19	4.57
阴坡灌木林	0~20	30.36	21.34	18.11	16.26	15.00	14.50	10.19	8.65	6.92	6.08
	20~50	25.66	19.42	17.05	15.66	14.69	14.30	10.82	9.50	7.97	7.19
阳坡灌木林	0~20	22.59	16.57	14.35	13.05	12.16	11.80	8.66	7.50	6.16	5.50
	20~50	23.57	15.45	13.92	12.47	11.49	11.10	7.75	6.56	5.23	4.58
阴坡裸地	0~50	29.44	20.51	17.33	15.51	14.29	13.20	9.61	8.13	6.47	5.66
阳坡裸地	0~50	18.45	14.66	13.18	12.28	11.64	11.40	9.06	8.14	7.05	6.47

表4 不同植被的土壤物理特性

(单位: %)

植被类型	土层厚度 (cm)	土壤质地	土壤结构	土壤容重 (g/cm ³)	毛管孔隙度	非毛管孔隙度	总孔隙度	砂粒含量	粉粒含量	粘粒含量	pH	土壤有机质含量
阴坡油松林	0~20	粉砂壤土	团粒结构	1.17	37.59	13.14	50.73	35.00	50.50	14.40	7.23	2.41
	20~50	粉砂壤土	团粒结构	1.31	41.09	6.56	47.65	35.50	51.00	13.50	7.70	2.00
阳坡侧柏林	0~20	壤土	团粒结构	1.29	37.77	10.99	48.76	43.00	45.50	12.00	7.05	2.40
	20~50	壤土	团粒结构	1.31	33.60	8.39	41.99	42.83	44.47	12.70	6.94	1.34
阴坡灌木林	0~20	粉砂壤土	团粒结构	1.18	50.78	7.51	58.29	41.65	46.50	12.00	7.74	2.44
	20~50	粉砂壤土	团粒结构	1.28	45.98	8.45	54.43	35.83	49.13	15.03	7.63	2.11
阳坡灌木林	0~20	壤土	团粒结构	1.40	37.20	9.92	47.12	46.50	42.50	11.00	7.50	2.00
	20~50	壤土	团粒结构	1.51	34.85	8.85	43.70	44.50	42.50	13.10	7.65	1.52
阴坡裸地	0~50	粉砂壤土	团粒结构	1.28	46.41	7.35	53.76	32.48	54.60	12.90	7.57	2.32
阳坡裸地	0~50	壤土	团粒结构	1.46	35.32	13.05	48.38	40.17	47.33	12.50	7.68	2.13

3.3 不同植被土壤的容水度

为说明土壤容水度与土壤吸力的变化关系, 计算了不同植被土壤的容水度(表5)。表4表明, 在低吸力段中, 土壤容水度随土壤吸力的增大而变小, 说明在有效水的范围内, 提供给植物根系吸收的水量是不同的, 这与许多研究得出的“土壤水分的非有效性”的结论相一致, 他们认为: 土壤水对植物的有效性确实是随土壤湿度的降低而减少, 土壤湿度降低到萎蔫点之前植物就会出现水分亏缺, 生长受到严重抑制^[3,4]。在低吸力段中, 阴坡的土壤容水度高于阳坡, 灌木的高于乔木。容水度的变化与持水性相一致。即持水性能好的土壤, 释放的水分也多。土壤容水度随着土壤吸力的增大而增大, 阴坡灌木0~20 cm土壤的吸力为0.1 bar时, 容水度为4.84 mL/(bar·g); 吸力为0.9 bar时, 容水度为0.41 mL/(bar·g), 这说明, 在低吸力段的土壤中, 土壤水分愈好, 愈容易丢失, 在九龙山半干旱地区, 林木生长主要靠天然降雨。因此, 雨后及时采取土壤蓄水保墒措施, 对防止土壤水分的蒸发和下渗, 减少土壤水分的无效损失具有重大意义。

表5 不同植被土壤的容水度

[单位: mL/(bar·g)]

植被类型	土层厚度 (cm)	土壤吸力值 (bar)								
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
阴坡油松林	0~20	4.84	2.40	1.53	1.09	0.85	0.64	0.60	0.47	0.41
	20~50	5.44	2.63	1.65	1.17	0.90	0.71	0.59	0.49	0.43
阳坡油松林	0~20	4.66	2.28	1.45	1.03	0.50	0.63	0.52	0.45	0.38
	20~50	4.31	2.21	1.35	0.97	0.74	0.59	0.49	0.42	0.36
阴坡灌木林	0~20	6.05	2.97	1.88	1.35	1.03	0.82	0.68	0.58	0.50
	20~50	4.14	2.10	1.37	1.00	0.77	0.62	0.53	0.44	0.39
阳坡灌木林	0~20	4.01	2.01	1.29	0.93	0.72	0.58	0.46	0.41	0.36
	20~50	4.79	2.33	1.47	1.06	0.80	0.65	0.53	0.45	0.39
阴坡裸地	0~50	6.01	2.92	1.85	1.33	1.00	0.82	0.66	0.56	0.49
阳坡裸地	0~50	2.49	1.30	0.85	0.63	0.50	0.40	0.34	0.30	0.24

在低吸力段中, 容水度的变化在6.05~0.24 mL/(bar·g)之间, 以1 mL/(bar·g)为界, 根据定义可知, 当容水度的值大于1 mL/(bar·g)时, 土壤释放的水分较多, 植物不受水分

的胁迫,生长正常。当容水度的值小于 $1 \text{ mL}/(\text{bar}\cdot\text{g})$ 时,土壤释放的水分较少,植物虽能利用但比较困难,生长受到抑制。有的学者称此值为“生长阻滞临界湿度”,把高于此值的土壤含水量称为易效水,低于此值到土壤萎蔫含水量的土壤含水量称难效水,在难效水中,水分的运动性和有效程度显著降低,植物生长受到影响。通常把 0.8 bar 的吸力值作为临界湿度指标^[3,5]。该区临界湿度指标应是 $1 \text{ mL}/(\text{bar}\cdot\text{g})$ 出现时的土壤吸力值。阴坡灌木和阴坡裸地、阴坡油松林和阳坡侧柏林、阴坡裸地、阳坡裸地的生长阻滞临界湿度分别为 0.7 、 0.6 、 0.5 、 0.4 bar ,可见,该区的土壤持水性很差,渗透力很强,植物在比较低的吸力下就受到了水分的抑制,特别是阳坡裸地更低,只有理论值的 $1/2$,这也是多年阳坡林木生长不良和造林成活率低的原因之一。

3.4 影响土壤持水性的土壤因子

为找出影响同一植被类型土壤持水性的主要土壤因子,根据公式 $\theta = aS^b$,进行了多元回归分析,回归方程如下:

$$y = 401.9688 + 5.5708x_1 - 5.4800x_2 - 5.4302x_3 + 5.7036x_4 - 3.9829x_5 \\ - 4.0250x_6 - 3.7559x_7 - 2.5217x_8 + 0.8335x_9$$

复相关系数: $R = 0.9940^{***}$

x_1 为土壤容重; x_2 为毛管孔隙度; x_3 为非毛管孔隙度; x_4 为总孔隙度; x_5 为砂粒($1 \sim 0.05 \text{ mm}$)含量; x_6 为粉粒($0.05 \sim 0.005 \text{ mm}$)含量; x_7 为粘粒($0.005 \sim 0.001 \text{ mm}$)含量; x_8 为土壤的酸碱度; x_9 为土壤的有机质含量; y 为式 $\theta = aS^b$ 中的 a 。

自变量 y 与因变量 x 之间的相关系数序列如下:

$$r_{y4} = 0.9327 > r_{y2} = 0.9196 > r_{y1} = 0.5514 > r_{y9} = 0.5514 > r_{y8} = 0.5407 > r_{y7} \\ = 0.5392$$

即影响土壤持水性的土壤因子由大到小排序为:土壤总孔隙度、毛管孔隙度、土壤容重、土壤有机质、土壤粉粒含量、土壤粘粒含量。土壤的酸碱度和土壤砂粒含量对土壤持水性影响甚微。

4 结 论

(1) 不同植被的持水性不同,由高向低依次为:阴坡灌木、阴坡裸地、油松林地、阳坡灌木、阳坡裸地、阳坡侧柏。土壤表层的持水性比下层土壤的高。因此,制定水保措施时,应重视和发挥灌木的作用,保护好现有的植被,为保持水土,绝对禁止陡坡开荒。

(2) 该区土壤保水性差,渗透力强,生长阻滞临界湿度出现得较理论值早。并且,土壤蒸发与雨、热同期,土壤在低吸力段,土壤水分的损失最强烈,在雨季后,应加强对林木的抚育管理,防止土壤蒸发,增强土壤的蓄水保墒能力。

参 考 文 献

- 1 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学.北京:清华大学出版社,1988.19~24.
- 2 Willian A Jury. Soil Physics. Printed in the United State of America, 1991. 61~64.
- 3 庄季屏,王伟.土壤低吸力段持水性能及其早期土壤干旱的关系的研究.土壤学报,1986,23(4):309~312
- 4 希勒尔 D (华孟,叶和才译).土壤和水.北京:农业出版社,1971.223~224.
- 5 罗汝英编著.森林土壤学(问题和方法).北京:科学出版社,1983.247.

Study on Soil Moisture Characteristics of Different Forest Vegetations in Jiulongshan, Beijing

Zhou Zefu Li Changzhe

Abstract Soil moisture retention characters of different forest vegetations in Jiulongshan were analysed by measurement of soil water characteristics in the field. The result showed there was a high power function correlation between the soil moisture content and the potential of soil water. The mathematical model is, $\theta = aS^b$. Soil moisture retention of different forest vegetations were ranged in order from better ones to poor ones as follows: schattenseite shrubland, schattenseite bare soil, schattenseite *Pinus tabulaeformis* forest soil, endroit shrubland, endroit bare soil, endroit *Platycladus orientalis* forest soil. Slope orientation and vegetation type are the main factors affecting the soil moisture retention. On the same slope orientation, soil moisture retention of shrub forest land was better than that of the high-forest land. In all the forest land, the soil moisture retention of superficial soil (0~20 cm) was better than that of subsurface soil (20~60 cm). On the same site, the soil factors influencing the soil moisture retention characters in medium and low suction range are soil structure, organic matter content and soil texture.

Key words Beijing Jiulongshan, vegetation form, soil water, soil moisture retention character

Zou Zefu, Assistant Professor, Li Changzhe (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091).