

兰州北山侧柏人工林地土壤水分研究^①

马维伟, 王 辉*, 连树清

(甘肃农业大学林学院, 兰州 730070)

摘要: 对兰州北山区 4 个不同造林年限 (4、7、10、13 年) 侧柏人工林地表层土壤水分性质进行观测研究, 结果表明: 不同造林年限的侧柏人工林地涵养水源量存在较大差异, 13、10、7、4 年生侧柏林地水源涵养量比无造林荒山地分别增加 201、268、251 和 208 t/hm²; 土壤最大持水量、毛管持水量、田间持水量和最佳含水量随林龄的增大而增加, 其大小均是 13 年生侧柏林地最大, 无造林荒山地最小; 0~30 cm 层土壤水分有效性在 4 年生林地表现为中效水, 其他林地大致都为难效水; 与无造林荒山地相比, 不同造林年限的侧柏人工林地土壤持水量均有一定程度增加。说明侧柏人工林能够改善土壤表层水分状况。

关键词: 兰州北山; 侧柏人工林; 不同林龄; 土壤水分特征

中图分类号: S152

侧柏 (*Platycladus orientalis* (L) Franco.) 原产中国, 是我国分布区最辽阔的针叶树种之一, 集中分布在淮河以北、黄河流域, 以河北南部、河南、山西、山东、陕西和甘肃东部最多。侧柏栽培范围几乎遍及全国, 也是兰州市南北两山的主要造林树种。侧柏对气候条件适应性很强, 既喜温暖湿润, 又耐干燥寒冷, 喜光, 对土壤要求不严, 但对土壤湿度的变化比较敏感^[1]。近年来有关侧柏人工林地研究主要包括生物量、水分生理、生态和根系的分布特征等^[2-6]。但关于不同栽植年限的人工侧柏林地的土壤水分动态研究报道却很少。本文以兰州北山侧柏人工林地研究对象, 对不同幼林阶段表层土壤水分性质的变化状况进行了研究, 以探讨人工侧柏林地表层土壤水分变化规律, 为系统性阐明侧柏林地土壤水分特征、功能以及为兰州市郊黄土丘陵区侧柏林的培育提供科学依据。

1 研究区自然概况

研究区位于兰州市北山九州台区, 地理位置 35°58'54"~36°11'20" N, 103°12'47"~103°58'09" E, 属北温带半干旱大陆性季风气候, 年均温度 5~9℃, >10℃ 的积温 3385.4℃, 平均海拔 1710 m, 年降雨量 211 mm, 年蒸发量 1446 mm, 蒸发量是降雨量的 7 倍。土壤为黄土母质上发育起来的灰钙土, 有机质含量在 5~15 g/kg 之间, pH 8~9。区内造林树种主要有: 刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*)、山桃 (*Prunus davidiana*)、油松 (*Pinus*

tabulaeformis)、柠条 (*Caragana korshinkii*)、红砂 (*Reaumuria soongorica*) 等, 人工林实行补充灌溉, 一般漫灌水量 900 m³/hm², 喷灌水量 600 m³/hm²左右, 林木生长良好。

2 材料与方法

2.1 样地的选设

于 2007 年 8 月在兰州市北山九州台区, 选取半阳坡、立地条件相似、林龄分别为 4、7、10、13 年生的人工侧柏林地 4 块, 并选择相近的无造林荒山地为对照, 在侧柏林地设置标准地 (10 m × 10 m), 对标准地的每株侧柏进行检测, 测定盖度、平均高、平均胸径等林分特征, 并对林下植被作生物学调查。各样地的基本况见表 1。

2.2 土壤采样与测定

分别对各样地的每株侧柏进行检测, 找出平均木, 并在平均木下按土层深度 0~10、10~20、20~30 cm 三个层次逐层取样, 重复 3 次, 用环刀采集土样并密封后带回实验室待用。

土壤水分物理性质的测定参照中华人民共和国林业行业标准 (见《森林土壤分析方法》^[7])。采用环刀法测定最大持水量 (饱和持水量)、毛管持水量、最小持水量 (田间持水量)、最大蓄水量和水源涵养量及最佳含水率下限; 凋萎含水量用最大吸湿量倍数法, 最大吸湿量采用尼古拉耶夫的硫酸钾饱和溶液法^[7]; 同时用烘干法测定土壤含水量。各指标计算公式如下:

①基金项目: 甘肃省教育厅项目“兰州市南北两山生态恢复评价研究 (0502-07)” 资助。

* 通讯作者 (wangh@gsau.edu.cn)

作者简介: 马维伟 (1980—), 男, 甘肃靖远人, 硕士研究生, 主要从事水土保持与荒漠化防治方面的研究。E-mail: mww-007@163.com

表 1 样地基本概况

Table 1 General condition of the plots

样地类型	海拔 (m)	坡度 (°)	平均株高 (m)	平均胸径 (cm)	冠幅 (m)	盖度 (%)	灌木平均高度 (m)	草本平均高度 (m)
13 年生侧柏林地	1651	36	3.58	5.80	1.42 × 1.47	56.55	0.418	0.192
10 年生侧柏林地	1699	35	2.45	2.12	0.45 × 0.47	38.72	1.047	0.271
7 年生侧柏林地	1730	38	1.97	1.95	0.34 × 0.35	26.44	0.951	0.263
4 年生侧柏林地	1786	32	1.34	1.49	0.43 × 0.37	23.73	1.474	0.440
荒山地	1709	35	-	-	-	-	0.256	0.231

最大蓄水量 (t/hm²) = 土壤总管孔隙度 × 10000 m² × 土壤深度

水源涵养量 (t/hm²) = 土壤非毛管孔隙度 × 10000 m² × 土壤深度

最佳含水量下限 (g/kg) = 最小持水量 (g/kg) × 0.7

凋萎含水量 (g/kg) = 1.5 × 最大吸湿量 (g/kg)

有效水分 (g/kg) = 田间持水量 (g/kg) - 凋萎含水量 (g/kg)

有效水含量 (g/kg) = 土壤含水量 (g/kg) - 凋萎含水量 (g/kg)

3 实验结果与分析

土壤是森林的载体，林木不断从土壤中吸收水分和养分，以维持其生长。土壤性状的变化是森林生态系统中的一个极为重要的环节，它影响着土壤水分的

存在形式和运移状况。而土壤水分特性是土壤的重要物理参数，它对于植物生长、存活、净生产力等具有极其重要的意义^[8-9]，同时土壤水分状况也是气候、植被、地形及土壤因素等自然条件的综合反映。

3.1 侧柏林地土壤含水量的变化

土壤是林地水分贮藏的主要场所，土壤水分贮藏量和贮藏方式受其物理性质的影响。从表 2 可以看出，不同林龄的侧柏林地土壤最大蓄水量存在差异，但差异不明显，以 7 年生林地最小，其他林龄都基本在 15000 t/hm² 左右。林地各层次的最大蓄水量由于受造林整地、地表腐殖质及植物生长等多种因素影响而表现出一定的差异性，13 年和 10 年生林地随土壤深度的增加呈下降趋势，而其他各林龄林地和荒地随土壤深度的增加，最大蓄水量的变化不大。林地与荒山地相比，最大蓄水量的差异不大。

表 2 侧柏林地土壤含水量的变化状况

Table 2 Changes of soil water conditions of the plots in *Platycladus orientalis* plantation

样地类型	土层 (cm)	土壤含水量 (g/kg)		土壤最大蓄水量 (t/hm ²)		水源涵养量 (t/hm ²)	
		各层	合计	各层	合计	各层	合计
13 年生侧柏林地	0~10	107.1	323.3	5523	15770	515	1385
	10~20	99.1		5218		470	
	20~30	117.1		5029		400	
10 年生侧柏林地	0~10	84.3	261.4	5336	15772	527	1452
	10~20	73.1		5158		455	
	20~30	104.0		5278		470	
7 年生侧柏林地	0~10	67.7	238.1	4949	10457	580	1435
	10~20	83.8		5009		427	
	20~30	86.6		4999		428	
4 年生侧柏林地	0~10	94.9	262.0	4717	14442	448	1389
	10~20	85.2		4845		509	
	20~30	81.9		4880		432	
荒山地	0~10	10.5	36.3	4851	14499	332	1184
	10~20	12.8		4820		435	
	20~30	13.0		4828		417	

由表 2 可知,不同林龄林地的水源涵养量都显著高于荒山地,具体表现为:13、10、7、4 年生林地水源涵养量比荒山地分别增加 201、268、251 和 208 t/hm²,说明林地涵养水源能力远远大于荒山地。林地不同土壤深度的水源涵养量,除 4 年生林地和荒山地外,均是表层含量远远大于其它层。根据我国每建设 1 m³库容的成本花费 0.67 元^[10],可计算出 13、10、7 和 4 年生侧柏人工林的林分单位面积水源涵养总价值依次为 927.95、972.84、961.45 和 930.63 元/hm²,分别比荒山地增加 134.67、179.67、168.17 和 137.35 元/hm²。此外,随着侧柏林林龄的增加,将有更多的枯枝落叶和林下植被出现,这将对减少兰州北山的水土流失,减少土壤养分流失、净化当地空气产生重要的影响。

土壤含水量的变化与灌溉方式有明显的相关关系,有灌溉的林地其土壤含水量显著地高于荒山地。从表 2 中可以看出,林地含水量在垂直空间的变化无一定的规律性,可能是由于林地靠人工补灌措施,且补灌的周期不是定期的,同时,所测的是幼林地,其

郁闭度较小,林地间还存在较大的空隙地,导致土壤蒸发量还相对较大,同一林龄的不同层土壤含水量随土壤深度变化无一定的规律性。但随林龄的增大,林中空隙地变小,林地表层土壤蒸发减小,土壤含水量就有所增大。

3.2 侧柏林地土壤的持水状况

兰州九州台区土壤缺水,而改善土壤的持水性能是提高土壤肥力的一个重要方面,这对于南北两山植树造林有着积极的作用。从表 3 以看到,林地的持水能力都高于荒山地。在不同深度土层中,最大持水量、毛管持水量、田间持水量和最佳含水量下限的均值都是 13 年生侧柏林地最大,荒山地最小。各林龄林地间存在较大的差异,主要原因可能是侧柏人工林在生长过程中,由于林木根系能产生大量腐根,进而形成粗大孔隙、动物孔隙和其它非毛管孔隙,同时由于一定量枯枝落叶的分解,使林地土壤有机质逐步聚积,改善了土壤结构和物理性状,形成较多水稳性团聚体,使得侧柏林地表土层土壤常常属于海绵状的疏松多孔结构,从而有较强的持水能力。

表 3 侧柏林地土壤持水状况

Table 3 Conditions of soil moisture capacity of *Platycladus orientalis* plantation

样地类型	土层 (cm)	最大持水量 (g/kg)		毛管持水量 (g/kg)		田间持水量 (g/kg)		最佳含水量下限 (g/kg)	
		各层	均值	各层	均值	各层	均值	各层	均值
13 年生 侧柏林地	0~10	502.8 Ad	432.4	455.7 Ac	394.2	276.8 Ac	242.7	193.8	169.9
	10~20	416.6 Bab		379.0 Bc		236.5 ABc		165.6	
	20~30	377.8 Bb		347.8 Bb		214.8 Bb		150.4	
10 年生 侧柏林地	0~10	428.6 Ac	418.7	385.9 Ab	379.9	199.6 Ab	171.5	139.7	120.1
	10~20	414.7 Ab		378.1 Ac		166.0 Ab		116.2	
	20~30	412.8 Aab		375.8 Aab		149.0 Aa		104.3	
7 年生 侧柏林地	0~10	401.7 Abc	395.2	355.0 Aa		166.4 Aab	147.3	116.5	102.9
	10~20	392.4 Aab		358.9 Abc	357.3	150.9 Bab		105.6	
	20~30	391.5 Aab		358.0 Aab		123.8 Ba		86.7	
4 年生 侧柏林地	0~10	381.4 Aab	377.1	347.7 Aa		134.9 Aa	138.8	94.4	97.2
	10~20	378.8 Aab		338.8 Aab	340.70	138.2 Aab		96.7	
	20~30	371.1 Aab		335.6 Aab		14.34 Aa		100.4	
荒山地	0~10	361.9 Aa	354.1	337.1 0Aa	325.2	128.4 Aa	125.7	89.8	86.2
	10~20	350.1 Aa		318.5 Aa		125.6 Aa		87.9	
	20~30	350.3 Aa		319.9 Aa		123.2 Aa		86.2	

注:同一林龄,不同深度土层不同大写字母表示差异显著 ($p < 0.05$);同一土层,不同林龄不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

Duncan 多重比较结果显示(表 3),同一林龄不同深度土层,同一深度土层不同林龄土壤的最大持水量、毛管持水量和田间持水量的差异显著。

侧柏林地的最大持水量基本表现为随深度的增加而降低趋势。13、10、7、4 年生林地与荒山地相比,在 0~10 cm 分别增加 38.93、18.43、11.00、5.39 百

分点，在 10~20 cm 分别增加 18.99、18.45、12.08、8.20 个百分点，在 20~30 cm 分别增加 7.85、17.84、11.76、5.94 个百分点。但随深度增加林龄间最大持水量的差异显著性降低。

侧柏林地的田间持水量基本也是随深度增加而降低。13、10、7、4 年生林地与荒山地相比，在 0~10 cm 分别增加 115.57、55.45、29.60、5.06 个百分点，在 10~20 cm 处分别增加 88.30、32.16、20.14、10.03 个百分点，在 20~30 cm 处分别增加 74.35、20.94、0.49、16.40 个百分点。方差分析表明，各层田间持水量随林龄变化显著。有研究表明，土壤有机质含量与田间持水量呈正相关，原因是表层中大量的腐殖质使土壤变得疏松多孔。

3.3 侧柏林地的土壤水分有效性

土壤水分有效性是评价植物对土壤水分的利用程度，以及水分胁迫对植物生长影响的主要指标，也是干旱、半干旱地区造林的重要问题^[11]。土壤水的有效性是指土壤水能被植物吸收利用及其难易程度。不能被植物吸收利用的水称为无效水，能被植物吸收利用的水称为有效水。从表 4 可以看出，各林龄林地间的土壤有效水含量存在较大的差异，不同林龄土壤有效水含量由大到小依次为：13、4、7 及 10 年生林地，最大的 13 年生林地的有效水含量是最小的 10 年林地的 2.3 倍。有效水分由大到小依次为：13、10、4 及

7 年生林地，最大的 13 年生林地是最小的 7 年生林地的 2.06 倍。总体来说，林地的有效水分和有效水含量都大于荒山地。

根据植物对土壤水分利用的难易程度，对土壤中的水分进行划分和评价，分为 3 个等级：即难效水（凋萎湿度到生长阻滞持水量，约为田间持水量的 60%，此层的水分植物虽然能够利用，但生长会受到明显阻碍而停滞）、中效水（约为田间持水量的 60%~80%）、易效水（约为田间持水量的 80% 以上）^[12]。

根据以上划分标准，对不同林龄林地和荒山地的土壤水分进行分析和评价，分析结果（表 4）表明：除了 4 年生侧柏林地的前两层和 10 年及 7 年生侧柏林地的第 3 层土壤水分有效性为中度以外，其它各林地各土层水分都属难效水。这说明在半干旱的兰州北山地区，土壤水分成为植物生长的主要限制因子，而土壤水分的严重亏缺影响着林木的生长。因此，在造林时要选择抗旱性强的树种，同时，在现有人工林中，应不断间伐调整林分密度，减少树木蒸腾，加强人工补灌措施和保水措施。尤其对栽植年限较长的林地要加强灌溉频率，防止由于土壤水分长期处于难效状态，侧柏林大片死亡。另为，3—5 月，春季造林时如不采取有效保水措施，幼苗是很难成活的。由于栽植年限较小的林地水分处在中效水状态，所以，选择较小幼苗造林成活率较高。

表 4 土壤水分有效性评价

Table 4 Evaluation of available soil moisture

样地类型	土层 (cm)	最大吸湿水 (g/kg)	凋萎含水量 (g/kg)	有效水含量 (g/kg)		有效水分 (g/kg)		占田间 持水量 (%)	有效性
				各层	合计	各层	合计		
13 年生侧柏林	0~10	25.2	37.8	69.3	208.6	239.0	613.3	38.7	难
	10~20	25.4	38.1	61.0		198.4		41.9	难
	20~30	25.9	38.9	78.3		175.9		54.5	难
10 年生侧柏林	0~10	35.8	53.7	30.6	89.5	145.9	342.7	42.2	难
	10~20	41.4	62.1	11.0		103.9		44.0	难
	20~30	37.4	56.1	47.9		92.90		69.8	中
7 年生侧柏林	0~10	30.1	45.2	22.6	95.8	121.2	298.7	40.7	难
	10~20	34.0	51.0	32.8		99.9		55.5	难
	20~30	30.8	46.2	40.4		77.6		70.0	中
4 年生侧柏林	0~10	24.6	36.9	58.0	171.0	98.0	325.4	70.4	中
	10~20	24.0	36.0	49.2		102.2		61.6	中
	20~30	12.1	18.2	63.8		125.2		57.1	难
荒山地	0~10	23.6	35.4	-24.9	-82.0	93.0	268.9	8.2	难
	10~20	25.9	38.9	-26.1		96.7		10.2	难
	20~30	29.3	44.0	-31.0		79.2		10.6	难

4 结论

不同林龄的侧柏人工林的土壤最大蓄水量没有差异, 而涵养水源量存在着明显的差异。不同林龄的侧柏林地土壤涵养水源量 (0 ~ 30 cm) 都显著地高于荒山地, 其中, 13、10、7、4 年生侧柏林地水源涵养量分别比荒山地高 201、268、251 和 208 t/hm², 说明侧柏林地有较高的水源涵养功能。

不同林龄侧柏林地最大持水量、毛管持水量、田间持水量和最佳含水量下限均是 13 年生林地 > 10 年生林地 > 7 年生林地 > 4 年生林地 > 荒山地, 侧柏人工幼林地土壤最大持水量、毛管持水量和最小持水量, 随深度变化, 除 13 年差异显著外, 其余不显著。

不同林龄侧柏林地土壤有效水含量存在着较大的差异, 由大到小依次为: 13、4、7、10 年生林地及荒山地, 有效水分由大到小依次为: 13、10、4、7 年生林地和荒山地。对不同林龄林地和荒山地的土壤水分进行分析和评价, 结果表明: 除了 4 年生侧柏林地的前两层和 10 年及 7 年生侧柏林地的第三层土壤水分有效性为中度以外, 其它各林地各土层水分都属难效水。

参考文献:

- [1] 鲁法典, 韩峻, 李超. 泰山侧柏林下幼树分布规律及天然更新研究. 河北林果研究, 2006, 21(1): 29-32
- [2] 田晶会, 贺康宁. 黄土半干旱区侧柏气体交换和水分利用效率日变化研究. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 42-46
- [3] 田晶会, 贺康宁. 黄土半干旱区侧柏蒸腾作用及其与环境因子的关系. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 53-56
- [4] 韩若霜, 田有亮, 郭连生. 侧柏等四树种在不同水分亏缺下恢复吸力的研究. 内蒙古林业大学学报(自然科学版). 2005, 26(2): 48-50
- [5] 刘淑明, 孙长忠, 孙丙寅. 油松和侧柏人工林适宜灌溉定额的研究. 林业科学, 2004, 40 (6) : 85-90
- [6] 种芳, 王红赤, 李俊年, 段争虎. 兰州市南北两山水热条件对侧柏根系分布的影响. 中国沙漠, 2006, 26 (4) : 559-562
- [7] 张万儒. 森林土壤分析方法. 北京: 中国标准出版社, 1999
- [8] Salter PJ, Goode JE. Crop responses to water at different stage of growth. Research review No. 2 Farnham Royal. England: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1967
- [9] Noble PS. Root distribution and seasonal production in the northwestern Sonoran Desert for a C₃ shrub, a C₄ bunchgrass and a CAM leaf succulent. American Journal of Botany, 1997, 84: 9499-45
- [10] 李晶, 任志远. 秦巴山区植被涵养水源价值测评研究. 水土保持学报, 2003, 17(4): 132-134
- [11] 周择福, 李昌哲. 北京九龙山不同立地土壤蓄水量及水分有效性研究. 林业科学研究, 1995, 8(2): 182-187
- [12] 张敬平. 反季节储水灌溉土壤水分有效性分析. 山西水利, 2007(1): 66-67

Soil Moisture Physical Property of *Platycladus Orientalis* Plantation in Northern Mountain of Lanzhou City

MA Wei-wei, WANG Hui, LIAN Shu-qing

(Forestry College, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The measurements of soil surface moisture characteristics under *Platycladus orientalis* plantations with 4 different afforestation ages (4, 7, 10 and 13 years) were studied in northern mountain region of Lanzhou. The results showed that: The water conservation contents of *Platycladus orientalis* forestland varied significantly in different stand ages. The water conservation contents of 4 different afforestation ages increased by 201, 268, 251 and 208 t/hm² than that of slope wasteland respectively. Maximum moisture capacity, capillary water capacity, field water capacity and optimal-water-content all increased with the afforestation age. Soil water of 0 ~ 30 cm layer in 4 years of forestland was moderate available, but was hard available for other forestlands. Compared with the wasted land, to some degree, soil moisture content of different plantation stages all increased, and it proved that *Platycladus orientalis* plantations could improve soil surface water condition.

Key words: Northern mountain of Lanzhou, *Platycladus orientalis* plantation, Different age, Soil water characteristics