

晋西北黄土丘陵沟壑区典型流域 不同植被土壤蓄水能力研究

贾志清

(中国林业科学研究院 林业研究所, 北京 100091)

摘要: 在对晋西北黄土丘陵沟壑区川河流域土壤蓄水量进行评价和计算的基础上, 分析了流域内不同植被条件下以及不同立地条件下的土壤蓄水能力。结果表明: 该流域内林草的土壤蓄水能力最好, 农地居中, 裸地最差, 尤其以阴坡乔木树种的蓄水能力最好; 立地条件不同, 土壤蓄水能力不同; 通过对不同降水年份的流域土壤储水量进行分析, 表明丰水年的储水量比平水年增加 9.2%, 干旱年比平水年减少 21.3%, 在相同降水年份内治理后的储水量是治理前的 1.5 倍。

关键词: 黄土丘陵沟壑区; 土壤蓄水能力; 晋西北

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)03-0029-05

中图分类号: S152.7

Soil Water Storage Ability in Typical Watershed in Loess Hill Area of Northwestern Shanxi Province

JIA Zhi-qing

(The Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: On the basis of evaluation and calculation on soil water storage capacity in the typical watershed of Chuanhe river in the loess hill area of northwestern Shanxi Province, soil water storage ability in different vegetation and site conditions in the watershed was analysed. The result shows that soil water storage ability in the forestland (especially arbor in shady slope) and grassland is the best, the farmland, the middle, and the wasteland, the worst. Soil water storage ability is different with different site conditions. The analyses of the soil water storage capacity in the different typical precipitation year show that the water storage capacity in ample flow year increases by 9.2% in comparison with that of the normal year, and the drought year decreases by 27%. The water storage capacity after management is 1.5 times the water storage capacity before management in same precipitation year.

Key words: loess hill area; soil water storage ability; northwestern Shanxi Province

在晋西北黄土丘陵沟壑区, 土壤水分是该地区植物生长的主要限制因子, 也是流域治理需解决的重要问题之一, 而大气降水是该地区土壤水分的主要来源。以土壤水分为基础的植被恢复和建设技术, 不仅是我国北方地区实施退耕还林、天然林保护和防沙治沙工程的一项关键技术, 也是黄土高原水土流失综合治理, 提高流域生产力的重要理论支撑。为此, 我们结合国家林业科技成果重点项目“辅助封山育林等植被快速恢复技术”在山西省偏关县以川河流域为试验基地, 研究了该地区不同植被、不同立地条件的土壤蓄水能力以及流域治理对土壤储水量的影响效果, 以便为今后黄土高原流域综合治理及开发中所面临的植被选择问题提供必要的理论依据。

1 试验区概况

试验流域位于晋西北黄土丘陵沟壑区偏关县内, 海拔 900 ~ 1500 m, 多年平均降雨量 409.7 mm, 降水年际差异比较大; 多年平均气温 7.4℃, 属于半干旱气候。长期以来一直作为水土保持综合治理典型试验示范区。

在对整个流域内地形、地貌部位、坡度、土壤、植被、土地利用现状调查的基础上, 我们在流域内上、中、下游共设 A, B, C, D 这 4 个断面, 选取了 24 个土壤观测样点 (见表 1), 这 24 个典型点包括同一植物不同立地条件以及同一立地条件不同植物种, 以反映土壤蓄水能力的时空变化规律^[1-3]。

收稿日期: 2006-01-16

资助项目: 国家林业局重点项目“辅助封山育林等植被快速恢复技术”

作者简介: 贾志清 (1968—), 女 (汉族), 北京市人, 博士, 研究员, 主要研究方向为水土保持与荒漠化防治工作。E-mail: jiazq@forestry.ac.cn。

表 1 流域内土壤测试样点基本情况

断面	测试点	土地类型	利用现状	植物名称	坡向	坡位
A	A1	梯田	农地	小麦	阳坡	坡上
	A2	坡地	农地	小麦	阳坡	坡中
	A3	梯田	农地	小麦	阳坡	坡下
	A4	坡地	林地	落叶松	阴坡	坡下
	A5	坡地	林地	刺槐 + 云杉	阴坡	坡上
	A6	坡地	林地	沙棘	阴坡	坡顶
B	B1	台地	农地	豌豆	阴坡	坡下
	B2	梯田	农地	小麦	阴坡	坡中
	B3	荒坡	未利用		阴坡	坡顶
	B4	坡地	农地	小麦	阴坡	坡下
C	C1	坡地	农地	豌豆	阳坡	坡顶
	C2	坡地	农地	胡麻	阳坡	坡中
	C3	梯田	农地	马铃薯	阳坡	坡下
	C4	坡地	林地	刺槐 + 杨树	阴坡	坡中
	C5	荒地	荒草坡		阴坡	坡中
	C6	坡地	人工草地	紫花苜蓿	阴坡	坡下
D	D1	台地	人工草地	紫花苜蓿	阳坡	坡下
	D2	坡地	林地	柠条	阳坡	坡中
	D3	坡地	林地	河北杨	阳坡	坡下
	D4	台地	农地	马铃薯	阳坡	坡底
	D5	梯田	农地	马铃薯	阴坡	坡下
	D6	坡地	农地	小麦	阴坡	坡上
	D7	坡地	林地	柠条	阴坡	坡中
	D8	坡地	林地	沙棘	阴坡	坡中

2 试验方法

2.1 土壤水分测定

据植物根系的分布特点,将所有土壤水分观测点划分为 3 个层次,分别为 0—20, 20—50, 50—100 cm。用于测定土壤水分的样本采自各层次从上至下鲜土的均匀混合,每层取 3 个重复。24 个水分观测点采样时间间隔为 5 d,含水率用 1 次烘干法测定。

2.2 土壤物理性质测定

相应流域内水分测点,采用环刀法取样并测定土壤容重等指标。取样深度分为 6 个层次,分别为: 0—20, 20—40, 40—60, 60—80, 80—100, 100—120 cm。每层 2 个重复,测定过程均采用《土壤物理性质测定》一书所提供的方法。

具体计算公式如下。

$$(1) \text{ 土壤容重 } D = \frac{G}{V} \quad (\text{g/cm}^3)$$

(2) 土壤总孔隙度 K :

$$K = \frac{F_{24} - (H + G)}{V} \times 100\%$$

(3) 土壤毛管孔隙度 K_1 :

$$K_1 = \frac{F_{4-12} - (H + G)}{V} \times 100\%$$

(4) 土壤非毛管孔隙度 K_2 : $K_2 = K - K_1$

(5) 土壤毛管最大持水量 = $\frac{F_{4-12} - (H + G)}{G} \times 100\%$

式中: G ——环刀内干土重; H ——环刀重; V ——环刀体积; F_{4-12} ——吸水 4~12 h 带土环刀重; F_{24} ——吸水 24 h 带土环刀重。

3 结果与分析

3.1 土壤蓄水量评价^[4-5]

雨水的蓄存主要取决于孔隙度的大小和性质,土壤孔隙度分为毛管孔隙度和非毛管孔隙度,土壤的蓄水形式主要以毛管和非毛管孔隙度为界划分为滞留贮存和吸持贮存两种形式。为此,土壤蓄水量计算也就分为毛管蓄水量和非毛管蓄水量,其计算公式为:

$$W_C = 10^4 \times h \times P_C \times r_W$$

$$W_O = 10^4 \times h \times P_O \times r_W$$

式中: W_C, W_O ——分别为毛管蓄水量和非毛管蓄水量 (t/hm^2); h ——为土壤厚度 (m); P_C, P_O ——毛管孔隙度,非毛管孔隙度 (%); r_W ——水容重 (t/m^3)。

土壤的饱和蓄水量为:

$$W_A = W_C + W_O$$

式中: W_A ——为土壤饱和蓄水量 (t/hm^2)。

土壤的蓄水性能与土壤的前期含水量关系密切,当土壤湿度很大时,即使降水量很小,也会产生地表径流。因此,我们把饱和蓄水量与土壤平均含水量之差作为衡量土壤涵蓄水量的指标。即:

$$W_T = W_A - W_n, \quad W_A = W_C + W_O$$

式中: W_T ——土壤涵蓄水量 (mm); W_A ——饱和蓄水量; W_n ——土壤平均含水量 (mm)。

3.2 流域内土壤蓄水能力分析^[6-9]

3.2.1 流域内不同植被土壤蓄水能力分析 根据上述试验方法所得数据,我们计算了不同植被条件下的土壤蓄水量,土壤涵养降水量及土壤有效涵蓄量见表 2。从表 2 可知,植被不同,土壤蓄水量不同,流域内不同植被土壤蓄水量由大到小的排列顺序为:阴坡落叶松 ($5\,937.51 \text{ t/hm}^2$) > 阴坡杨树林 ($5\,803.5 \text{ t/hm}^2$) > 阴坡沙棘 ($5\,654.56 \text{ t/hm}^2$) > 阴坡紫花苜蓿 ($5\,644.32 \text{ t/hm}^2$) > 阴坡柠条 ($5\,590.45 \text{ t/hm}^2$) > 阴坡梯田马铃薯 ($4\,891.3 \text{ t/hm}^2$) > 阴坡梯田豌豆 ($4\,764.8 \text{ t/hm}^2$) > 阴坡裸地 ($4\,414.8 \text{ t/hm}^2$),可见林

草的蓄水能力最好,农地居中,裸地最差,尤以乔木树种的蓄水能力最好,蓄水量大,阴坡落叶松比阴坡裸地高出 1 522.71 t/hm² (34.5%),有利于调节地表径流,增加土壤蓄水能力,减少降水的无效损失和表土流失。因此,在该流域内营造人工乔木林,可以改良土壤,减少地表径流。

3.2.2 流域内不同坡位土壤蓄水能力分析 从表 3 的数据可以看出:坡位对土壤蓄水能力的影响是显著的,不论何种土类,从流域的上部往下,土壤蓄水量依次增大,说明坡下部的土壤蓄水能力高于坡上部,这主要是由于坡下的立地条件优于坡上部造成,坡下部的土壤质地(土壤物理性质)好于坡上部。

3.2.3 流域内不同降水年份土壤储水量分析 试验小流域多年来,以控制水土流失,改善流域的生态环境和生产条件,提高土地生产力为中心进行综合治理,取得了显著的效益,流域内土地利用趋于合理,农

林牧用地比例由治理前的 60.1 1.7 36.4 调整到治理后 36.4 23.4 37.9。大面积造林种草和修筑水平梯田,使土壤储水能力明显提高。根据测定结果(见表 4)分析可知,在平水年流域内土壤储水量治理前为 451 711 t/hm²,治理后为 698 416 t/hm²,治理后是治理前的 1.5 倍。从不同降水典型年份的流域土壤储水量看,丰水年为 762 998 t/hm²,比平水年增加 9.2%;干旱年为 549 616 t/hm²,比平水年减小 21.3%。可见流域内土壤储水能力不仅与治理程度有关,而且随年降雨量多少发生变化。

3.2.4 流域内不同坡向土壤蓄水能力分析 表 3 所得数据表明,无论何种地类,阴坡的蓄水量高于阳坡,说明阴坡土壤蓄水能力好于阳坡,只是地类不同,差异大小不同。从表 5 中还可以看出,林地的阴阳坡差异明显高于农地和草地,这说明了阴坡林地的巨大水源涵养作用,而裸地的蓄水量阴阳坡差异不显著。

表 2 流域内不同植被土壤蓄水量比较

植被	土层深度/cm	毛管孔隙度/%	毛管蓄水量			非毛管孔隙度/%	非毛管蓄水量			饱和蓄水量			土壤含水量/mm	涵养降雨量/mm	有效涵蓄量/mm
			蓄水量/(t·hm ⁻²)	合计/(t·hm ⁻²)	折算水量/mm		蓄水量/(t·hm ⁻²)	合计/(t·hm ⁻²)	折算水量/mm	蓄水量/(t·hm ⁻²)	合计/(t·hm ⁻²)	折算水量/mm			
落叶松	0—20	53.2	1064.7			3.9	77.5			1142.2					
	20—50	56.1	1682.8			1.8	53.8			1736.6					
	50—100	59.1	2955.8	5703.2	570.3	2.1	103.0	234.2	23.4	3058.8	5937.5	593.8	175.0	418.8	395.4
杨树	0—20	50.1	1000.9			8.5	170.0			1170.9					
	20—50	56.0	1678.4			2.3	69.8			1748.1					
	50—100	55.6	2784.1	5463.4	546.3	2.0	100.4	340.1	34.0	2884.5	5803.5	580.4	149.3	431.1	397.0
紫花苜蓿	0—20	53.7	1073.0			2.4	46.9			1119.9					
	20—50	55.6	1667.0			2.2	65.0			1732.1					
	50—100	53.6	2680.1	5420.2	542.0	2.3	112.3	224.2	22.4	2792.4	5644.3	564.4	140.9	423.5	401.1
沙棘	0—20	52.4	1048.1			1.8	35.1			1083.2					
	20—50	56.4	1690.8			2.3	70.1			1760.9					
	50—100	54.5	2722.6	5461.5	546.2	1.8	87.9	193.0	19.3	2810.5	5654.6	565.5	129.5	428.2	408.9
柠条	0—20	51.6	1031.6			2.5	49.8			1081.4					
	20—50	55.5	1664.4			2.9	85.7			1750.1					
	50—100	52.9	2645.8	5341.8	534.2	2.3	113.3	248.7	24.9	2759.0	5590.5	559.1	144.7	429.6	404.7
马铃薯	0—20	53.1	1061.5			1.6	31.4			1092.9					
	20—50	48.0	1440.1			2.1	62.9			1503.0					
	50—100	44.3	2213.9	4715.5	471.5	1.6	81.5	175.8	17.6	2295.4	4891.3	489.1	140.2	348.9	331.4
碗豆	0—20	41.0	815.8			2.4	48.1			863.9					
	20—50	47.8	1433.0			1.7	52.2			1485.2					
	50—100	45.9	2296.4	4545.1	454.5	2.4	119.4	219.7	22.0	2415.8	4764.8	476.5	128.7	347.8	325.8
裸地	0—20	48.2	963.2			1.3	26.4			989.6					
	20—50	42.3	1267.6			0.8	23.9			1291.4					
	50—100	42.0	2101.0	4331.8	433.2	0.7	32.8	83.0		2133.8	4414.8	441.5	117.4	324.1	315.8

表 3 流域不同坡位土壤蓄水量比较表

地类	坡位	土层深度	毛管蓄水量			非毛管蓄水量			饱和蓄水量			土壤含水	涵蓄降雨	有效涵蓄	
			孔隙度/ %	蓄水量/ (t hm ⁻²)	合计/ (t hm ⁻²)	折算水量/ mm	孔隙度/ %	蓄水量/ (t hm ⁻²)	合计/ (t hm ⁻²)	折算水量/ mm	蓄水量/ (t hm ⁻²)				合计/ (t hm ⁻²)
林地	上	0—20	52.4	1048.1		1.76	35.1			1083.2					
		20—50	56.4	1690.8		2.34	70.1			1760.9					
		50—100	54.5	2722.6	5461.5	546.2	1.76	87.9	193.0	19.3	2810.5	5654.6	565.5	137.3	428.2
	下	0—20	52.8	1055.0		8.47	169.3			1224.3					
		20—50	59.3	1779.4		2.21	66.4			1845.8					
		50—100	56.4	2821.3	5655.6	565.6	2.05	102.6	338.3	33.8	2923.9	5993.9	599.4	160.2	439.2
草地	上	0—20	47.1	942.1		2.10	42.0			984.1					
		20—50	52.1	1561.6		1.61	48.2			1609.8					
		50—100	51.9	2595.1	5098.8	509.9	1.53	76.3	166.5	16.7	2671.4	5265.3	526.5	130.7	395.8
	下	0—20	52.5	1049.1		2.76	55.2			1104.3					
		20—50	53.1	1591.6		2.06	61.7			1653.3					
		50—100	52.8	2639.3	5279.9	528.0	1.72	86.0	202.9	20.3	2725.3	5482.9	548.3	143.7	404.6
农地	上	0—20	49.5	990.7		1.20	24.2			1014.9					
		20—50	50.1	1504.2		1.65	49.4			1553.3					
		50—100	52.9	2645.5	5140.4	514.0	0.81	40.3	113.8	11.3	2685.8	5254.2	525.4	139.8	385.6
	下	0—20	49.0	980.6		2.64	52.7			1133.3					
		20—50	50.2	1505.4		1.79	53.8			1769.0					
		50—100	51.7	2585.5	5071.5	507.2	2.72	135.9	242.4	24.2	2871.3	5313.9	531.4	145.4	432.0
裸地	0—20	48.1	962.2		3.01	60.2			1222.4						
	20—50	47.9	1435.5		2.52	75.5			1802.9						
	50—100	49.0	2449.0	4846.2	484.6	2.10	105.1	240.8	24.1	2754.1	5087.0	508.7	140.7	437.2	413.2

表 4 流域不同年份土壤储水量比较表

储水量等级/ mm	丰水年(治理后)		平水年				干旱年(治理后)	
			流域治理前		流域治理后			
	面积/ hm ²	储水量/ t	面积/ hm ²	储水量/ t	面积/ hm ²	储水量/ t	面积/ hm ²	储水量/ t
< 60	0	0	105.70	63 420	6.63	3 978	22.97	13 782
60~80	13.96	9 772	158.40	110 880	20.10	14 070	55.46	38 822
80~100	22.24	20 016	113.90	102 510	107.90	97 110	92.41	83 169
100~120	90.56	99 616	62.82	69 120	120.10	132 110	123.00	135 300
120~140	124.30	161 590	29.32	38 116	122.10	158 730	61.38	79 794
140~160	112.00	168 000	3.43	5 145	52.20	78 300	23.50	35 250
160~180	57.55	97 835	8.10	13 770	28.34	48 178	17.79	30 243
180~200	15.90	30 210	14.17	26 932	6.87	13 053	22.27	42 313
200~220	8.83	18 543	7.29	15 309	8.10	17 010	7.29	15 309
220~240	8.10	18 630	2.83	6 509	14.17	32 591	2.83	6 509
240~260	21.49	53 725	0	0	7.29	18 225	27.65	69 125
260~280	2.83	7 641	0	0	2.83	7 641	0	0
> 280	27.65	77 420	0	0	27.65	77 420	0	0
总计		762 998		451 711		698 416		549 616

注:测定的土壤深度为 100 cm;典型平水年降水量为 404.5 mm,典型丰水年降水量为 468.3 mm,典型干旱年降水量为 364.7 mm。

表5 流域内不同坡向土壤蓄水量比较

地类	坡位	土层深度/cm	毛管蓄水量			非毛管孔隙度/%	非毛管蓄水量			饱和蓄水量			土壤含水率/mm	涵蓄降雨/mm	有效涵蓄/mm
			孔隙度/%	蓄水量/(t·hm ⁻²)	合计/(t·hm ⁻²)		折算水量/mm	孔隙度/%	蓄水量/(t·hm ⁻²)	合计/(t·hm ⁻²)	折算水量/mm	蓄水量/(t·hm ⁻²)			
林地	阳	0—20	44.2	883.7		1.58	31.5			915.2					
		20—50	50.7	1520.1		1.50	44.9			1564.9					
		50—100	50.3	2513.5	4917.3	491.7	1.64	82.1	158.5	15.8	2595.6	5075.8	507.6	123.4	384.3
	阴	0—20	50.5	1009.0		2.21	44.2			1053.2					
		20—50	55.9	1675.5		1.61	39.8			1715.3					
		50—100	57.5	2872.3	5556.8	555.7	1.53	124.9	208.8	20.9	2997.2	5765.6	576.6	149.4	428.2
草地	阳	0—20	47.1	942.1		2.10	42.0			984.0					
		20—50	52.1	1561.6		1.61	48.2			1609.8					
		50—100	51.9	2595.1	5098.8	509.9	1.53	76.3	166.5	16.7	2671.3	5265.2	526.5	130.7	395.8
	阴	0—20	53.7	1073.0		2.35	46.9			1119.9					
		20—50	55.6	1667.0		2.17	65.0			1732.1					
		50—100	53.6	2680.1	5420.2	542.0	2.25	112.3	224.2	22.4	2792.4	5644.3	564.4	140.9	423.5
农地	阳	0—20	48.1	962.4		1.74	34.7			997.1					
		20—50	47.1	1413.6		1.91	59.1			1472.8					
		50—100	48.3	2418.9	4795.0	479.5	1.87	94.0	187.4	18.7	2512.5	4982.4	498.2	181.5	316.8
	阴	0—20	48.8	976.2		1.65	33.0			1009.2					
		20—50	48.5	1456.1		1.73	51.9			1508.0					
		50—100	52.9	2642.8	5075.1	507.5	1.88	94.0	178.9	17.9	2736.8	5254.0	525.4	196.3	329.1
裸地	阳	0—20	45.4	908.2		2.91	58.1			1026.2					
		20—50	46.8	1404.6		1.73	59.1			1636.4					
		50—100	47.6	2380.5	4693.3	469.3	1.95	97.3	207.2	20.7	2777.8	4900.5	490.1	107.9	436.1
	阴	0—20	48.1	962.2		3.01	60.2			1222.4					
		20—50	47.9	1435.5		2.52	75.5			1802.9					
		50—100	49.0	2449.0	4846.2	484.6	2.10	105.1	240.8	24.1	2754.1	5087.0	508.7	140.7	437.2

4 结论

(1) 流域内林草地的土壤蓄水能力最好,农地居中,裸地最差,尤其以阴坡乔木树种的蓄水能力最好。因此,在流域内营造合理密度的人工乔木或以灌草为主的防护林,可以改良土壤,减少地表径流。

(2) 立地条件不同,土壤蓄水能力不同。无论何种地类,阴坡的蓄水能力高于阳坡,坡下部土壤蓄水能力高于坡上部。

(3) 流域内土壤储水能力不仅与治理程度密切相关且随降雨量的多少发生变化。流域内丰水年土壤储水比平水年增加 9.2%。通过治理前后平水年流域储水能力比较发现,治理后是治理前的 1.5 倍。

[参 考 文 献]

- [1] 土壤水分测定方法编写组. 土壤水分测定方法[M]. 北京:水利电力出版社,1986.
- [2] 邱扬,傅伯杰,等. 黄土丘陵小流域水分时空分异与环境关系的数量分析[J]. 生态学报,2000,20(5):741—747.
- [3] 杨文治. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京:科学技术出版社,1992.
- [4] 万素梅,胡守林,等. 不同紫花苜蓿品种土壤水分动态变化研究[J]. 水土保持通报,2003,17(4):161—163.
- [3] 王军,傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[J]. 地理学报,2000,55(1):84—91.
- [4] 张志强,余新晓,赵玉涛. 森林水文过程影响研究进展[J]. 应用生态学报,2003(1):114—117.
- [5] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京:中国林业出版社,1993.
- [6] 何福红,黄明斌,等. 黄土高原沟壑区小流域土壤水分空间分布特征[J]. 水土保持通报,2002,22(4):6—9.
- [7] 贾志清,刘创民,等. 太行山石质砂岩区森林植被涵养水源效能研究[J]. 北京林业大学学报,1996,18(3):87—92.
- [8] 王春红,王治国,铁梅. 河沟流域土壤水分空间变化及植物分布与生物量研究[J]. 中国水土保持科学,2004(2):20—25.
- [9] 王孟本. 晋西北黄土区人工林土壤水分动态的定量研究[J]. 生态学报,1995,15(2):178—185.