

黄土高原丘陵沟壑区不同植被类型土壤水分动态

蔡 燕, 王会肖

(北京师范大学水科学研究院 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875)

摘 要: 在黄土丘陵沟壑区选择典型植被油松林 (*Pinus tabulaeformis*)、柠条 (*Caragana microphylla*)、人工草地 (*Clover*)、农田、荒地和裸地, 对其土壤水分进行观测分析。得出结论: 观测期内林地和草地的土壤储水量最低, 农田和灌木的储水量较高。与荒地和裸地相比, 灌木的耗水量少, 其次是草地、农田, 林地最次。灌木和草地的水分补偿程度较高, 其次是农田, 而林地是负补偿。这些结果为该地区植被恢复中的植被选择提供了科学依据。

关键词: 黄土高原丘陵沟壑区; 典型植被; 土壤水分动态; 耗水量

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0079-03

Soil Water Dynamics of Different Vegetation in Gully and Hilly Regions of the Loess Plateau

CAI Yan, WANG Hu-xiao

(College of Water Sciences, Beijing Normal University, Key Laboratory for Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, Beijing 100875, China)

Abstract: The typical vegetation, such as *Pinus tabulaeformis*, *Caragana microphylla*, grassland (*Clover*), farmland, wasteland and bare-land, were selected in gully and hilly region of Loess Plateau. And the soil water of the vegetation was observed and analyzed. The results show as follow. The soil water storage of woodland and grassland is the least; that of farmland and shrub is more; the water consumption of shrub is less than bare-land and wasteland in observation period, then grassland, farmland and woodland in turn; the degree of water compensation of shrub and grassland is higher, then is farmland, that of woodland is minus. And the results can be the science basis of choosing plantation to renew the vegetation in this district.

Key words: gully and hilly regions of Loess Plateau; typical vegetation; soil water dynamics; water consumption

黄土高原丘陵沟壑区位于我国的干旱半干旱区, 植被破坏和水土流失十分严重。但该地区的水分条件是制约植被生长和发育的重要条件, 而土壤水是其水资源的重要组成部分。充分认识各种土地利用条件下土壤的水分状况和水分利用情况是科学利用土地资源和治理该地区生态环境的前提。通过研究, 人们对该地区的土壤水分背景^[1,2]有了一定的认识。黄土高原的深厚土层像巨大的蓄水库, 可形象的成为“土壤水库”^[3], 其总库容相当于土壤饱和持水量所容纳水量; 但由于气候干燥和土壤结构难以持水, 这部分水分一方面上行蒸发, 另一方面向深层渗漏, 致使土壤经常处于水分亏缺状态, 甚至土体中出现“土壤干层”^[4]。因而如何选择适宜的植被类型, 以降低水分的无效损耗和利用深层土壤水分并可以发挥水土保持的功效是合理有效的利用土壤水分的关键。

针对这种情况, 各种土地利用类型下的土壤水分状况和变化规律得到较系统和充分的研究, 杨文治 (1985) 指出林草植被强化了土壤水分亏缺^[4]; 孙长忠等人^[5]研究指出林地年际土壤储水量增加, 荒坡的则减少; 王志强等人^[6]的研究表明农田土壤含水量及其有效性大于人工油松、天然灌木和荒坡草地, 并且灌木在土壤上层存在低于 6% 的极低湿层; 原焕英等^[7]研究了黄土高原半干旱丘陵沟壑区人工林土壤水分动态后指出, 人工林的生长主要依靠当年的降水, 甚至上年的储水。但这些研究多是以同种或两种植被类型为对象, 很少全面的将试验区内的各种植被类型进行对照研究。本文选取黄土高原丘陵沟壑区的几种典型的植被类型, 其中包

括树龄达 20 年的油松及柠条和很少研究的裸地, 对其土壤水分进行观测分析, 以了解该地区不同植被类型土壤水分状况和土壤水分利用情况。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

试验区设在陕西省绥德县无定河流域内的辛店沟试验场, 地理位置介于 110°16' ~ 110°26' E, 37°33' ~ 37°38' N, 属典型的梁峁状丘陵沟壑区, 土壤类型为黄绵土, 土壤质地为轻-砂壤。沟壑密度为 7.26 km/km², 海拔 820~1180 m。气候属暖温带半干旱气候, 气候干燥, 年平均气温 10.7℃, 日均气温 ≥10℃ 的活动积温为 3499.2℃, 多年平均降雨量 475.1 mm, 降雨分布不均, 集中在 7~9 月。植被地带属森林草原带, 植被缺乏, 土壤侵蚀严重, 植被覆盖率低。田间持水量 19.75%, 土壤凋萎湿度 4.78%。

1.2 研究方法

根据不同土地利用类型, 在试验场内选取 6 块典型样地 (灌木、林地、农田、荒地、裸地、草地)。6 块样地南北方向宽均为 5 m, 东西长为 19~22 m 不等, 坡度分别依次为 29°、25°、25°、25°、32°、32°。人工油松林是黄土高原森林草原区最典型的人工林之一, 柠条是黄土高原大面积营造的灌木树种, 苜蓿是常选择的牧草之一, 而荒地、林地和裸地是黄土高原面积大、分布广的土地利用类型。所以灌木树种选柠条, 林地的树种为油松, 农田的作物为马铃薯, 荒地的植被主要

* 收稿日期: 2005-11-10

作者简介: 蔡 燕 (1982-), 女, 山东东营人, 硕士生, 主要研究方向为水资源水环境; 通讯作者: 王会肖。

是以麻黄为主的杂草,草地的植被主要以苜蓿为主。

试验是利用便携式时域反射仪(TDR, time domain reflectometry)采用 A 型探针(长为 120 cm)埋设于 6 块样地中于 2002 年 8 月- 10 月进行了两个月的连续观测,土壤含水量为容积含水量,测层分别为 0~ 15 cm、15~ 30 cm、30~ 60 cm、60~ 90 cm、90~ 120 cm。

2 结果与分析

2.1 不同植被类型的土壤水分条件

2.1.1 土壤水分亏缺状况

表 1 不同植被类型的土壤水分条件

土层 /cm	裸地				荒地			
	土壤含水量/%	储水量/mm	相对含水量/%	亏缺量/mm	土壤含水量/%	储水量/mm	相对含水量/%	亏缺量/mm
0~ 30	11.2	33.6	56.7	25.6	12.8	38.3	64.6	21.0
30~ 60	7.4	22.2	37.6	37.0	6.0	18.0	30.4	41.2
60~ 90	7.4	22.2	37.5	37.0	5.3	15.8	26.6	43.5
90~ 120	8.2	24.7	41.8	34.5	6.4	19.3	32.5	40.0
合计		102.7		134.1		91.4		145.7

土层 /cm	草地				农田			
	土壤含水量/%	储水量/mm	相对含水量/%	亏缺量/mm	土壤含水量/%	储水量/mm	相对含水量/%	亏缺量/mm
0~ 30	9.6	28.6	48.3	30.7	10.3	30.9	52.1	28.4
30~ 60	6.2	18.7	31.5	40.6	8.3	24.9	42.1	34.3
60~ 90	6.2	18.5	31.3	40.7	6.8	20.4	34.5	38.8
90~ 120	6.00	18.0	30.4	41.2	6.6	19.7	33.3	39.5
合计		83.81		153.2		95.9		141.0

土层 /cm	灌木				林地			
	土壤含水量/%	储水量/mm	相对含水量/%	亏缺量/mm	土壤含水量/%	储水量/mm	相对含水量/%	亏缺量/mm
0~ 30	12.9	38.7	65.4	20.5	10.4	31.1	52.5	28.2
30~ 60	6.1	18.3	30.9	40.9	5.3	16.0	27.0	43.2
60~ 90	4.7	14.0	23.7	45.2	4.9	14.7	24.7	44.6
90~ 120	5.3	16.0	27.0	43.3	5.5	16.4	27.6	42.9
合计		87.0		149.9		78.2		158.9

将观测期内土壤水分的数据按植被类型平均,以不同深度汇总比较,结果列于表 1。其中,土壤含水量为测期内的平均土壤含水量。土壤水分亏缺量为土壤储水量低于田间持水量的值^[1]。从表中可以看出各种类型植被的 0~ 120 cm 的土壤储水量在观测期都较低,处于亏缺状态,在 78.1~ 102.8 mm 之间变动,相当于田间持水量的 33.0%~ 43.3%,即亏缺量达 56.7%~ 67.0%。从图 1 可以看出亏缺次序为林地> 草地> 灌木> 荒地> 农田> 裸地,与裸地的水分亏缺量相比较,植被的参与,蒸腾耗水强烈,加剧了土壤水分亏缺。

2.1.2 垂直剖面上不同植被类型的土壤水分特点

若以土壤相对湿度,即土壤含水量与田间持水量之比作为评价土壤水分对植物有效性的指标,根据杨文治等人^[1]的土壤水分有效性分级,土壤相对湿度> 80% 为极易效水,60%~ 80% 为易效水,25%~ 59% 为中效水,< 25% 为难效水。可以看出各种植被类型的各层土壤水分基本能达到中效水以上,尤其表层含水量较高。因为观测期内降雨 11 次,共计 57.7 mm,其中大于 10 mm 的有效降雨 2 次,分别为 26.6 mm 和 10.4 mm 可以补充土壤水分。

测期内,与裸地相比,荒地在表层有少量稀疏植被覆盖,蓄水能力优于裸地,说明该地区气候干旱,土壤蒸发潜力很大。农田和草地表层含水量较高,其余各层稳定。灌木在 0~ 30 cm 的储水量最大,为 38.74 mm,占田间持水量的 65.38%,说明该地区灌木地表覆盖较好,利于储水;其余各

层含水量较低。除表层含水量较低外,林地各层含水量均略低于灌木。

该结论与王志强^[6]的类似,不同之处在于灌木的亏缺量小于草地,即储水量大于草地,与之相反。可以看出,二者的差别主要在 0~ 30 cm,原因是观测期内降雨充分,灌木林地表覆盖好,减少了降雨径流和地面蒸发,本试验中草地的种植期较短,根系相对较浅,主要消耗上层水分。

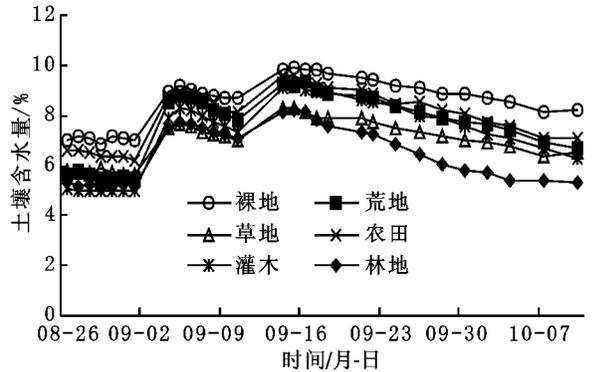


图 1 不同植被的土壤水分状况

2.2 不同植被类型的耗水量

表 2 不同植被类型的储水变化量及耗水量

	裸地	荒地	草地	农田	灌木	林地
测期始含水量/%	7.0	5.6	5.8	6.6	5.1	5.4
测期始储水量/mm	84.4	67.6	69.1	79.6	61.1	64.5
测期末含水量/%	8.2	6.7	6.5	7.1	6.3	5.3
测期末储水量/mm	98.6	79.9	78.5	85.1	75.6	63.6
有效水储量/mm	29.5	12.7	14.2	24.7	6.2	9.6
储水变化量/mm	14.3	12.3	9.4	5.4	14.5	- 0.9
降水量/mm	57.7	57.7	57.7	57.7	57.7	57.7
总耗水量/mm	43.4	45.4	48.6	52.3	43.2	58.6

观测期处于雨季末,期间有 57.7 mm 的降水量。由表 2 (有效水的下限是凋萎湿度)可以看出,除了林地,各种植被类型的土壤水分都有不同程度的补偿。灌木的储水增加量最大,为 14.5 mm,补偿程度(补偿的水量与亏缺量的比例)达 8.2%。测期内各种植被在 0~ 120 mm 的耗水量大小次序:林地> 农田> 草地> 荒地> 灌木> 裸地。

首先林地的耗水量最大,即乔木的蒸腾耗水量大,土层平均含水量无大变化。由上面结论可见在黄土丘陵区,土壤水分条件有限,并且土壤水分的正、负补偿主要取决于同期降水量,土壤调节水分能力较弱,难以满足其植物生理需水。有研究指出在黄土丘陵区很难建成乔木林系^[3]。其次,尽管农田土壤含水量较高,耗水量也大。

再者,草地与荒地总耗水量相当,并且测期始末的土壤含水量均接近,但是一般苜蓿地的水分利用效率要高于荒坡草地的。有研究指出,相同自然条件下,人工苜蓿草地的干草产量较荒地提高 6.5 倍^[1];在黄土丘陵区,改变单一种植粮食的生产方式,在大面积坡地进行人工种草或草粮轮作,可提高该地区水分利用效率和土地生产力^[8]。

最后,灌木尽管土壤含水量较小,60~ 90 mm 甚至达到凋萎湿度,但总耗水量与裸地相似,远小于林地的耗水量。主要由于灌木林在该地区有较好的群落结构、枝叶繁茂、郁闭度高,能形成较密的林冠层和枯枝落叶层和发达的根系层,有利于减少水分的无效消耗。

2.3 各植被不同深度水分利用情况

由表 3 可以看出经过观测期间的降雨(有效降雨两次)裸地、荒地、草地、农田和灌木在 0~ 60 cm 土壤水分都有所补偿,林地仅在 0~ 30 cm 得到补偿。60~ 90 cm 各植被类型土壤有效储水量均减少;90~ 120 cm 水分变化量小,该层在观测期内含水量稳定。

表3 各植被不同深度有效水变化量

土地利 用类型	土层深度 /cm	测期始实际 储水量/mm	测期始有效 储水量/mm	测期末实际 储水量/mm	测期末有效 储水量/mm	不同土层有效 水变化量/mm
裸地	0~30	18.5	4.8	26.9	13.2	8.4
	30~60	19.4	5.7	25.5	11.8	6.1
	60~90	22.0	8.3	21.1	7.4	-0.9
	90~120	24.5	10.8	25.1	11.4	0.6
	合计	84.4	29.5	98.6	43.7	14.3
荒地	0~30	18.2	4.4	25.9	12.2	7.8
	30~60	14.2	0.5	20.1	6.4	5.9
	60~90	16.3	2.6	14.5	0.8	-1.8
	90~120	19.0	5.2	19.4	5.7	0.4
	合计	67.6	12.7	80.0	25.1	12.3
草地	0~30	14.9	1.1	21.5	7.8	6.6
	30~60	17.9	4.2	20.1	6.4	2.2
	60~90	18.7	5.0	18.6	4.9	-0.1
	90~120	17.7	3.9	18.3	4.6	0.7
	合计	69.1	14.2	78.5	23.6	9.4
农田	0~30	18.4	4.7	21.8	8.1	3.4
	30~60	20.3	6.5	25.3	11.5	5.0
	60~90	21.1	7.3	17.8	4.1	-3.2
	90~120	20.0	6.2	20.2	6.4	0.2
	合计	79.7	24.8	85.1	30.2	5.4
灌木	0~30	16.8	3.1	26.8	13.1	10.0
	30~60	14.2	0.5	18.0	4.3	3.8
	60~90	15.0	1.2	14.4	0.6	-0.6
	90~120	15.2	1.5	16.4	2.7	1.2
	合计	61.2	6.3	75.6	20.7	14.4
林地	0~30	16.5	2.8	18.5	4.8	2.0
	30~60	15.9	2.2	15.4	1.6	-0.6
	60~90	15.7	2.0	13.1	-0.6	-2.6
	90~120	16.3	2.5	16.6	2.8	0.3
	合计	64.5	9.6	63.6	8.7	-0.9

裸地和荒地 60~90 cm 土壤储水量减少说明二者地表尽管很少植被蒸腾消耗,但由于气候干旱土壤蒸发潜力较大,土壤水分作用深度达 90 cm。经过雨季也很少得到补偿维持在较低的水平。

草地 60~90 cm 土壤储水量减少,90~120 cm 水分变化量小,说明土壤水分作用深度达 90 cm,能得到测期内降水的补偿。与裸地和荒地相比,根系吸水使 0~60 cm 的土壤水分补偿量均小于裸地和荒地;而草地的降水入渗条件优于荒地和裸地,到 60~90 cm 草地减少的有效储水量小于荒地和裸地。总的土壤水分补偿条件较好。

农田水分活跃层达 90 cm,与草地相同,因为草地的生长年份较少,农作物与其相比具有较强的耗水能力,60~90 cm 土壤水分减少的有效储水量较多,主要供给根系吸水;但表层的补偿程度不高,则水分多为土壤无效消耗。

参考文献:

- [1] 杨文治,邵明安.黄土高原土壤水分研究[M].北京:科学出版社,2000.
- [2] 李玉山.黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响[J].生态学报,1983,3(2):91-101.
- [3] 李玉山.土壤水库的作用[J].水土保持通报,1983,3(5):27-30.
- [4] 杨文治,韩仕峰.黄土丘陵区人工林草地的土壤水分生态环境[J].中国科学院西北水土保持研究所集刊,1985,2:18-28.
- [5] 孙长忠,黄宝龙.黄土高原荒坡与林地土壤水分变化规律研究[J].应用生态学报,2000,11(4):523-526.
- [6] 王志强,刘宝元.晋西北黄土丘陵区不同植被类型土壤水分分析[J].干旱区资源与环境,2002,16(4):53-58.
- [7] 原焕英,许喜明.黄土高原半干旱丘陵沟壑区人工林土壤水分动态研究[J].西北林学院学报,2004,19(2):5-8.
- [8] 李代琼,姜军.安塞黄土丘陵区人工草地水分有效利用研究[J].水土保持研究,1996,3(2):66-74.
- [9] 卜崇峰,蔡强国.黄土丘陵沟壑区狼牙刺灌木林地的土壤水分动态[J].自然资源学报,2004,19(3):379-385.
- [10] 李玉山.崂山水分状况与作物生长[J].土壤学报,1962,10(3):289-304.
- [11] 彭祥林.黄土高原草地土壤生态[M].西安:世界图书出版公司,1997.
- [12] 杨海军,孙立达.晋西黄土区水土保持林水量平衡的研究[J].北京林业大学学报,1993,15(3):42-50.

灌木在 0~30 cm 土壤水分的增加明显大于荒地和裸地,与前面结论类似,灌木浅层的保水能力较好。60~90 cm 的水分减少量小于荒地,90~120 cm 的水分增加量大于荒地。尽管蒸腾耗水量大,但灌木对土壤水分的总的恢复能力仅略次于裸地。与卜崇峰^[9]的结论类似,观测深度内灌木并未使土壤水分亏缺程度加大。

而林地 0~30 cm 有少量土壤水分补偿,60~90 cm 土壤水分均减少。由于林地一般根系分布较深,耗水层也较深,则浅层的土壤水分减少多用于无效的消耗。在雨季末期土壤水分未得到有效的补偿则会加剧土壤水分的亏缺程度,对林木的生长不利,并会造成土壤的干燥化。

3 结论与讨论

(1) 不同植被类型的土壤水分在观测期间一直处于亏缺状态,亏缺次序为林地>草地>灌木>荒地>农田>裸地。其中灌木地表覆盖和群落结构较好,在 0~30 mm 的含水量最高;农田和草地各层的含水量较稳定;30~120 mm 林地和灌木含水量较低。

(2) 观测期内不同植被类型的耗水量次序为林地>农田>草地>荒地>裸地>灌木,其中林地的土壤储水变化量为负,农田种植秋季作物在观测期耗水量较大,草地和灌木与林地和农田相比,耗水量少。

(3) 灌木在观测期各层的水分补偿都优于裸地和荒地;草地和农田的主要耗水层分别为 30~60 cm 和 60~90 cm,草地各土层的水分补偿程度较好;林地仅在 0~30 cm 有少量水分正补偿,30~90 cm 为负补偿。

以上分析可见,试验中的苜蓿尚以消耗上层水分为主,但水分补偿程度较好。根据李玉山研究,紫花苜蓿根系很深可达 5 m 以下^[10],而 2 年生苜蓿主要消耗 2 m 以上土层水分,4 年以上者深层耗水比重大,在 3~5 m 土层低湿^[11]。灌木和乔木也以利用深层的土壤水分为主;并且试验区灌木生长状况良好,地表覆盖度大,降水入渗能力强,可有效补偿土壤水分;而乔木林地地表长势不容乐观,且雨季末土壤水分为负补偿,加剧土壤水分亏缺,限制其进一步生长,乔木就很难成材。再者草地和灌木林相对其它植被类型可提高土壤储水利用效率和土地生产力,尤其是草地,试验表明沙打旺草地的水分生产效率是柠条林的数倍^[1]。因此从降低水分的无效损耗和利用深层土壤水分起见,草地和灌木林是适合该地区的植被类型。

但林草可能使土壤深层强烈干燥,针对这个方面,有研究显示轮播禾本科牧草利于深层土壤水分恢复^[1];邹厚远在宁夏南部试验得到等隔离带种植牧草可减少深层土壤水分的亏缺。造林密度过大是造成林地蒸散发量过大的直接原因^[12],因此营造灌木林可选择水分条件较好的立地,调整种植密度,布设林地水土保持工程,增加土壤储水,满足植物生理需水。