

灌木林地的水分平衡研究

杨新民 杨文治

(中国科学院 水土保持研究所 陕西杨陵 712100)
(水利部)

摘要 通过对黄土高原试验示范区的多年定位观测试验,并结合调查数据,分析了黄土丘陵区灌木林地的土壤水分循环过程,大气降水分配特点,揭示了灌木林蒸腾耗水特征,以及土壤水分动态趋势,总结了沙棘、柠条灌木林地土壤水分平衡的规律,从而为黄土高原绿化、灌木林的合理布局 and 经营提供了一定的科学依据。

关键词 灌木林 降水分配 蒸腾耗水 土壤水分平衡

Study on the Water Balance in Shrub Land

Yang Xinmin Yang Wenzhi

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

Abstract By the long period case studied in the Loess Plateau demonstration district, combining with the investigation data analysis, results indicated the basic procedures of soil moisture recycle, rainfall distribution characteristic. The water consumption and transpiration properties and soil moisture dynamic trend was explored in shrub land. Some basic principles of soil moisture balance in the shrub land of *Hippophae rhamnoides*, *Caragana korshinskii* were reviewed. Such a study could be able to provide scientific bases for afforestation Loess Plateau, shrubbery rational arrangement and management.

Key words shrubbery rainfall distribution evapotranspiration soil moisture balance

灌木林不仅可以充分利用农业上难以利用的土地,进行第一性生产,提供一定量的燃料、饲料和肥料,而且可有效地防治土壤侵蚀,控制水土流失。因此,灌木林建设,是黄土高原绿化、改善其生态环境的重要组成部分,灌木树种的生态适应性较强,用途较广,一般是黄土高原,特别是干旱半干旱区、水土流失区和风蚀区,林草植被建设的先锋树种。

本文主要以黄土高原分布较广泛的柠条 (*Caragana korshinskii*) 和沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 为代表树种,对灌木林地的水分平衡与养分变化进行初步的分析研究。

1 黄土高原绿化中的土壤养分与水分背景

多年来,我们在黄土高原绿化建设和自然植被保护方面取得了很大成效,特别是在一些重

点治理区,如无定河流域林草植被覆盖率已由 15.6% 提高到 52.7%,但是从总体上看,生态环境恶化的趋势还没有得到控制。在黄土高原绿化建设中,造林成活率低、保存率低的问题,一直没有得到解决,据不完全统计,建国 40 多年来,包括灌木林在内,黄土高原共造林 1 000 万 hm^2 左右,保存率仅为 25%~30%。一些典型地区的调查结果,保存率仅为 20%~25%,大大影响了植被的生态和防护效益的发挥。这既有人为因素,也有客观原因。

1.1 土壤养分背景

黄土高原土壤资源丰富,土层深厚,质地适中,通透性良好,对林草植被和农作物生长并无障碍性病因。但是,由于该区水土流失严重,造成土地资源破坏和土壤肥力退化,土壤瘠薄,养分缺乏,成为我国主要低产区之一。据余存祖等研究,以分布于黄土高原的 11 个综合治理试验区为例,六盘山以东丘陵区 5 个试区,土壤有机质多在 0.8% 以下,全氮在 0.06% 以下,有效磷 $3 \times 10^{-6} \sim 7 \times 10^{-6}$;六盘山以西 3 个试区土壤有机质在 1% 左右,全氮在 0.07%~0.09%,有效磷 $5 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$;渭北旱原 3 个试区土壤养分略高于六盘山以西。但总的来看,各试区所在县土壤养分均处于缺乏状态。土壤中 C/N 比例偏低, N/P 比例偏高,前者表明土壤有机质积累少,分解强烈,后者表明在土壤氮磷具缺的情况下,磷的缺乏更甚(见表 1)。

表 1 各试区所在县坡地土壤养分状况^①

试区所在县	土壤类型	有机质 (%)	全氮 (%)	全磷 (%)	碱解氮 $\times 10^{-6}$	有效磷 $\times 10^{-6}$	有效钾 $\times 10^{-6}$	C/N	N/P
准格尔旗	黄绵土	0.67	0.041	0.101	36.0	4.2	79.4	9.4	8.6
河曲	黄绵土	0.46	0.036	0.123	33.0	5.1	103.4	7.4	6.5
离石	黄绵土	0.44	0.043	0.128	20.2	5.0	113.0	5.9	4.0
米脂	黄绵土	0.36	0.029	0.130	30.0	4.3	122.0	7.2	7.0
安塞	黄绵土	0.49	0.039	0.123	31.7	2.7	98.7	7.3	11.7
固原	细黄土	0.76	0.047	0.110	42.8	5.8	143.0	9.4	7.4
西吉	细黄土	0.85	0.069	0.169	43.4	7.5	164.0	7.1	5.8
定西	黄绵土	0.80	0.078	0.135	84.8	3.8	148.0	5.9	22.3
长武	黄壤土	0.85	0.078	0.110	40.0	3.9	168.0	6.3	10.2
淳化	黄壤土	1.01	0.062	0.153	38.0	4.0	144.0	9.4	9.5
乾县	黄壤土	0.86	0.075	0.134	44.0	5.4	177.0	6.6	8.1

表 1 资料虽然说明的是一般农耕地的养分状况,而对灌木林地来说,在其立地条件下,土壤养分状况要差一些。据宋桂琴等^[2]按“限制指数和法”提出的土地评价结果,黄土高原的灌木林地主要分布于 V 等地以下,阴阳坡梁峁孤地和沟坡地,以及陡坡塌地和崖孤地等土地类型上。在这些土地类型上,地面坡度多在 25° 以上,其土壤侵蚀强度为强度或极强度,土壤养分状况很差,土壤有机质多在 0.5% 以下。

由此可见,在黄土高原的绿化中,灌木林地的立地条件是处于十分不利的土壤养分状况之下。

1.2 土壤水分背景

黄土高原地区土壤水分循环过程是比较单纯的降水入渗和水分上行蒸发(蒸腾)过程。在土层深厚、地下水埋藏很深的黄土高原大部分地区,降水入渗大部分被截留储存于土体之中,形成土壤水。据测定^[3]以植物需水的主要供水层 200cm 土层计算,黄土性土壤的储水能力可

① * 据余存祖资料,1992 年。

达 450~600mm。这样深厚的土层宛如一个巨大的蓄水库,不断地供给植物以水分营养,林草植被才得以繁衍生长。但是这种土壤蓄水库效应在黄土高原并不是处处相同的。它既受降水状况的影响,又受土壤特性的制约。研究表明^[4],黄土颗粒具有高度的均一性,即以粗粉粒(粒径为 0.05~0.01mm)为主,而粗砂粒(>0.25mm)含量甚少,同时颗粒组成在地域上有明显的方向性变化,大致从西北向东南逐渐变细。我们知道,随着土壤颗粒粒径变细而产生的表面积的不断增大,会不断地改变土体中水分的物理特性。

再从黄土高原水分条件来看,降水量由东南向西北逐渐减少,而干燥度逐渐增大,其气温由东南向西北随纬度增加和海拔高度升高而降低。正是在这种土壤气候条件影响下,区内土壤水分物理特性与土壤水分状况呈现出明显的地域分异特征。在黄土高原南部和东南部,降水充沛,土壤持水性能强,因而土壤水库一经蓄满,土壤深层储水对植物需水具有较强的调节作用,而在黄土丘陵区,据调查^[5],占面积很大的梁峁地土壤深层均处于低湿状态,其值一般小于田间稳定湿度。在此低湿状态下,由于灌木林根系对水分的吸收、消耗和水分的负补偿效应,进一步促进了土壤向干燥化发展,因此梁峁地深层储水对灌木林生理需水的调节作用,明显减弱。据大面积调查及生长状况测定结果表明,不同立地条件、不同生长年限和不同生长密度,柠条林地的生长状况及土壤水分状况明显不同(见表 2)。

表 2 不同立地条件柠条生长及土壤水分状况

调查地点	大通	榆中	通渭	环县	同心	海原
立地类型	台地	梁坡	梁峁顶	梁顶	川滩地	梁坡
海拔高度	2440	2230	1900	1428	1260	1950
坡向	ES10	W	SW40	SW20		SE70
坡度		27	5	13.5		5
林龄(a)	10	12	12	17	3	15
郁闭度	0.99	0.5	0.4	0.9	0.2	0.95
平均枝长(cm)	228	138	93	99	42	138
地径(cm)	1.01	0.90	0.56	0.89	0.40	0.92
密度(株/hm ²)	28375	7575	10005	40020	1665	20010
5m 土层土壤水分含量(%)	6.3	5.0	9.2	5.0	6.5	4.8
调查日期(1986 年)	10-04	10-19	11-09	11-04	11-01	10-30
调查地点	西吉	神木	榆林	离石	五寨	和林
立地类型	坡塌地	梁坡	梁坡	沟坡	缓丘	缓坡
海拔高度	1840	1320	1100	980	1400	1113
坡向	SW70	S	N	SW50	E	SE30
坡度	16	5	16	37	5	15
林龄(a)	8	7	18	8	18	26
郁闭度	0.6	0.4	0.4	0.7	0.5	0.3
平均枝长(cm)	122	88	124	136	191	167
地径(cm)	0.71	0.72	1.02	1.22	1.16	1.46
密度(株/hm ²)	2505				3375	1725
5m 土层土壤水分含量(%)	5.7	6.9	6.5	11.32	8.3	7.7
调查日期	1986-10-27	1985-11-15	1985-11-19	1985-10-21	1985-10-30	1985-11-5

1.3. 水分平衡模型

灌木林的水量平衡包括水分的输入、水和水汽的转移、以及林分内存储水量的变化,土层

内储水量的变化。土壤水分平衡方程如下:

$$\Delta W = P + C + \Delta S + E_t - F \quad (1)$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (2)$$

$$E_t = E_1 + E_1' + E_2 + E_2' \quad (3)$$

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \quad (4)$$

式中: ΔW ——观测期间土层储水量的变化; P ——期间大气降水量; P_1 为林冠截留雨量, P_2 为穿透林冠的雨量; P_3 为树干径流量; C ——汽态凝结水量; ΔS ——林分蓄水变化量; E_t ——系统总蒸散量; E_1 和 E_1' 分别为林冠的物理蒸发和蒸腾量, E_2 为林下地面物理蒸发, E_2' 为林下草被的蒸腾量; F ——径流量; F_1 为地表径流量, F_2 为壤中径流量, F_3 为深层渗漏量。

黄土高原因其特殊的地理位置和土壤气候条件,基本上不存在水分的深层渗漏,因黄土的垂直节理性,土壤中的壤中径流量甚少; ΔS 与林分生长量和季节有关,就一年来说其变化只不过几毫米,与降雨量相比很小,同样 C 和 P_3 更小,它们在灌木林地水分平衡中都可忽略不计,因而(1)式可简化为:

$$\Delta W = P - E_t - F \quad (5)$$

其中: $P \approx P_1 + P_2, F \approx F_1$ 。

2 大气降水的分配

2.1 灌丛层作用面上降雨量的分配

大气降水到达灌丛上方,首先遇到的就是起伏不平的林冠,这里,降雨量将进行第一次分配。首先是林冠对其截留。林冠截留从其机理来看,导致灌丛的枝、叶、干等树体表面,由于张力和重力的均衡作用而被吸附着,或者积蓄于枝、叶的分叉处保留下来。

林冠的截留不是无限制的,随着降雨的继续,保留雨量逐渐加大,冠层不能承受更多的雨水,其中,一部分雨水从树上滴下;还有一部分从叶转移到枝干而流到林地地面;再有一部分大气降水直接穿过林冠的间隙而落到地面,这三部分合称为林内雨量,或称作林下净雨量。林内雨量与大气降雨量的差就为林冠截留量,林冠截留量与大气降雨量的比值为截留率。

表3 柠条林冠作用面上降水量的分配(1989~1992年)

月份	降水量(mm)	林冠截留量(mm)	穿透水量(mm)	树干茎流量(mm)	林下净雨量(mm)	截留量(%)
1	3.4	—	3.4		3.4	
2	6.8	—	6.8		6.8	
3	16.7	—	16.7		16.7	
4	30.7	—	30.7		30.7	
5	53.4	16.1	37.24	0.06	37.30	30.1
6	70.9	13.4	57.39	0.11	57.50	18.9
7	114.2	28.3	85.75	0.15	85.90	24.8
8	121.6	30.9	90.51	0.19	90.70	25.4
9	88.4	17.1	71.26	0.04	71.30	19.3
10	24.8	8.7	16.08	0.02	16.10	35.1
11	9.3	—	9.3		9.3	
12	2.1	—	2.1		2.1	
合计	542.3	114.5	427.23	0.57	427.8	24.2

大气降雨通过灌丛冠层之后,其降雨雨滴的大小分布、降落速度、动能等性质都发生了变

化,经树冠再分配后,其中冠层截留量只是暂时停滞在林冠层,然后通过蒸发,最后又返回到大气中,实质上是灌木耗水的一种方式,也是灌木对土壤入渗量和地表径流量影响的主要因素,它是研究灌木林地水分平衡的重要因子。

降雨量在不同时期内的分配是不均匀的,所以每次降雨的截留量所占总雨量的比例也有所不同,因各种因素而变化。表3反映了柠条林冠作用面上1989~1992年降水量分配的月变化(4年平均值)。从中可以看出,林内净降水量和冠层截留量的变化基本上是与降雨量的变化相一致,即降雨量大的月份,林内净降水和冠层截留雨量也大,反之亦然。但林下净降雨率和截留率则并非如此。5月和10月降水量少,而林冠月截留率却大,均超过30%(冬春季未测定),6~9月降雨量最大,林冠截留率反而最低,仅为20%左右。即截留量随着降雨量的增大而增加,但增加的速度越来越慢,而截留率是随着雨量的增加而减少的。这种变化规律,主要是由降雨的性质和季节变化共同决定的。7~9月,月降雨量最多,此期间多为大雨或暴雨,降雨强度和雨量都较大,进入系统内部的雨量较多,虽然截留的雨量也多,但与同期大的降雨量相比,其比例相对就较小了,加之降水频度较大,林冠层相对来说较为湿润,冠层截留雨水能力较低。冬春期间少雨,且以小雨为主,加之气候干燥,冠层相对较为干燥,其截留雨水的能力在此过程中能够充分表现。就年平均来说,林冠截留量为114.5mm(未包括冬春季),截留率为同期降水量的24.2%。到达林下的净降水427.8mm,为年降水量的78.9%,其中78.78%,即427.2mm水是以穿透冠层进入林内的,沿树干茎流进入的只有0.6mm,树干茎流如此之小,主要是由于灌木冠型所致。

2.2 灌木林地地面上水量的分配

净降水到达林地地面时,又进行第2次再分配。一部分渗入土体,形成土壤水;另一部分形成地表径流而流失。区内地表径流的年内变化深受降水状况影响,具有明显的夏雨型特征,其产流过程受地形、植被、土壤等因素的深刻影响。据1985~1990年实地观测,柠条林平均地表径流只占同期平均降水量的2%左右(表4)。

表4 不同年份(5~10月)降水量与柠条林地表径流

年份	1985	1986	1987	1988	1989	1990
降水量(mm)	652.8	326.6	317.9	679.7	414.9	445.9
地表径流(mm)	15.8	8.8	5.7	13.7	8.9	8.7
径流占降水(%)	2.4	2.7	1.8	2.0	2.1	2.0

另外,地表径流的产生与雨强密切相关,在雨强较大的暴雨时,地表径流明显增大,可达该次降雨的13%左右。从区内降水特征分析,降水常以暴雨形式降落,据测定,有时一次暴雨,其降水量可达全年降水总量的10%以上。在一次降暴雨过程中,短历时降雨强度可达2mm/min以上,常常引起严重的水土流失。由于降雨强度大,历时短,降雨强度超过了土壤的入渗速度,因而形成“超渗径流”。这时,虽然降水总量不大,但径流量却不小,如1986年8月4日一次降雨量11.2mm,其中5min降雨量达10mm,降雨强度达到2.0mm/min,柠条林地产流量为5195.67m³/km²;而1985年9月4日至16日连续降雨13d,降水总量达161.6mm,平均雨强0.53mm/min,柠条林地产流量仅为1671.6m³/km²。从过程分析看,久旱不雨,因土壤湿度降低,遇有强度较小的降雨,入渗加快,地表径流较小,甚至不产流,而当前期降雨较多,土壤湿度较高,遇有降雨上部土层极易呈现饱和状态,形成“蓄满径流”。上述产流过程,对土壤水分平衡的支出有着明显影响,总体来看,在黄土区,地表径流多以“超渗产流”形式发生,很少发生“蓄

满产流”。

由于没有在每次降雨过程中测定枯枝落叶层截留量,因此无法确定入渗到土壤内的水量。不过,从每月测定的土壤水分含量动态及地表径流的情况可以看出,降雨过程中的大部分水量入渗到林地土壤中去了。

2.3 降水的有效补偿能力

在黄土丘陵区这一特定条件下,土壤水分亏缺是区内一种特有的土壤水文现象。天然降水是黄土丘陵区土壤水分储量的唯一补给源,区内土壤水分亏缺的补偿和恢复,主要在雨季。此时,微雨和暴雨对土壤水分的补给意义不大,只有降雨强度适中,历时长而降雨量大的降雨过程才能有较大的降水入渗补给量。据我们多年观测(见表5),6~9月份多年平均降水次数多达42.8次,但若以降水量小于10mm为无效降水,则有效降水次数平均每月不足3次,有效降水量仅214.6mm,3~5月多年平均降水次数达19.9次,但有效降水平均每月不到一次。

表5 实验区有效降水状况(1987~1990年)

月份	平均月降水次数	平均月降水量(mm)	有效降水量(mm)	≥50mm/d暴雨	有效降水次数
1	1.6	3.6	0	0	0
2	3.8	6.8	0	0	0
3	5.2	16.7	3.1	0	0
4	6.4	30.3	17.2	0	0.89
5	8.3	53.2	28.7	6.2	1.67
6	9.1	70.9	50.4	0	2.56
7	12.0	116.4	63.6	34.8	3.22
8	11.0	121.7	44.5	54.8	2.33
9	10.7	88.9	56.1	5.1	2.56
10	5.4	24.8	19.4	0	1.11
11	2.5	9.3	3.9	0	0.33
12	1.3	2.1	0	0	0
合计	77.3	544.7	286.9	100.9	14.67

再是,土壤湿度的恢复程度与恢复深度,因各年降水量的丰、欠而存在明显的差异。如1987年为欠水年,年降水量402.5mm,5~10月降水量243.2mm,柠条林地0~500cm土层储水量增加不到10mm,其补偿深度仅为50cm;1988年为丰水年,年降水量729.2mm,5~10月降水量628.4mm,0~500cm土层的储水量增加了170.8mm,土壤湿度的恢复深度为320cm。

3 灌木林的蒸腾耗水特征

蒸腾是植物生理特性之一,它是植物水分支出的重要指标,灌木林通过根系从土壤中吸取水分送入植物体,然后通过叶表面气孔内部蒸发,从气孔将吸收的大量水分从水流的形态散逸至大气之中,这是一个连续系统。在通常情况下,土水势>根水势>叶水势,主要由于叶水势的作用,水由土→根→茎→叶→逸入大气。因此,植物蒸腾乃是土壤—植物—大气连续体系(SPAC)中重要环节。在一年之中,植物蒸腾因时间、季节而异。蒸腾既受蒸腾面上水汽饱和差的影响,又受土壤水储量丰亏的制约,同时也因植物的种类、年龄、生长速度等而有所不同。

据李代琼等人^[6]研究,1988~1989年,沙棘在生长季节中平均蒸腾强度分别为0.53, 0.637g/(g·h),柠条的平均蒸腾强度则分别为0.655, 0.693g/(g·h)(即1g鲜叶在1h内蒸腾掉水分的克数)。蒸腾强度具有明显的日变化和季节变化,据1988年测定,7:00~9:00,沙棘蒸腾强度为0.151~0.314g/(g·h),一般在13:00~15:00达最高值,为0.528~1.395g/(g·h),

17:00~19:00减弱到0.271~0.378g/(g·h);柠条7:00~9:00蒸腾强度为0.09~0.333g/(g·h),11:00~15:00达最高值,为0.638~1.414g/(g·h),17:00~19:00减低到0.072~0.271g/(g·h)。沙棘、柠条日蒸腾强度的节律变化与测定日的气温、大气温、风速及日照等因子变化有关。在一定范围内,蒸腾强度随温度的升高而增大,随着湿度的升高而减小。

沙棘在4月开花后即展叶,5月测定平均蒸腾强度为0.459g/(g·h),6~7月随气温增高,降雨量及土壤水分增大,蒸腾强度达最大值,为0.713~0.649g/(g·h),8~9月蒸腾强度降至0.400~0.457g/(g·h)。柠条与沙棘相似,在6~7月蒸腾强度亦达最大值,为0.714~1.046g/(g·h)(见图1)。

蒸腾强度的季节变化与植物生长发育节律有密切关系。在植物生长旺盛季节,蒸腾强度最大。另外与气候因子及土壤水分周期性变化密切相关。蒸腾耗水量是指植物蒸腾消耗水分的多少,它是蒸腾强度、叶量和时间的函数,与蒸腾强度大小并不完全一致,而与叶量密切相关。在沙棘、柠条的不同生育期,由于蒸腾强度和绿叶量的不同,其耗水量也就不同。根据不同月份典型日所测蒸腾强度值,估算出了灌木林各月的蒸腾耗水量(见图1),并与各月降雨量及5m土层土壤储水量的变化进行对比分析(表6)。蒸腾耗水量的计算公式为:

$$E_w = \sum_{i=1}^n E_i \times W_i \times T_i \times 10^{-7}$$

式中: E_w —— 某时段的蒸腾耗水量(mm); E_i —— 昼夜平均蒸腾强度[g/(g·h)]; W_i —— 每公顷灌木林的叶量(g); T_i —— 日蒸腾时数(h)(降雨时数除外); n —— 该时段蒸腾天数。

表6 沙棘、柠条蒸腾耗水量及土壤储水量

月份	树种	株高 (cm)	干物质月增 加重(t/hm ²)	5m土壤贮 水量(mm)	月降雨量 (mm)	总耗水量 (mm)	蒸腾耗水 量(mm)
5	沙棘	140	0.41	688.05	102.1	72.86	28.76
	柠条	74.3	0.43	614.64		115.11	20.00
6	沙棘	160.0	0.68	660.69	33.7	61.07	54.62
	柠条	80.2	0.47	600.78		47.57	31.32
7	沙棘	165.0	1.00	620.43	101.2	141.46	52.83
	柠条	83.5	0.88	603.13		98.85	43.74
8	沙棘	176.0	3.33	660.81	139.8	99.37	75.54
	柠条	87.6	-0.22	684.83		58.05	11.69
9	沙棘	176.0	-0.58	604.58	35.5	91.73	53.13
	柠条	87.6	-1.04	637.03		83.30	14.58

注:(1)1988年年降雨量为434.4mm;(2)干物质月增加量未包括枯落物量,因而产量偏低。

由表6可以看出,沙棘林在6~9月蒸腾耗水量的相对值均较高,变动在52.83~75.54之间,占同期降水量的76.1%,水分的相对利用率较高,其中在8月份生产率达到最高值,为3.36g/

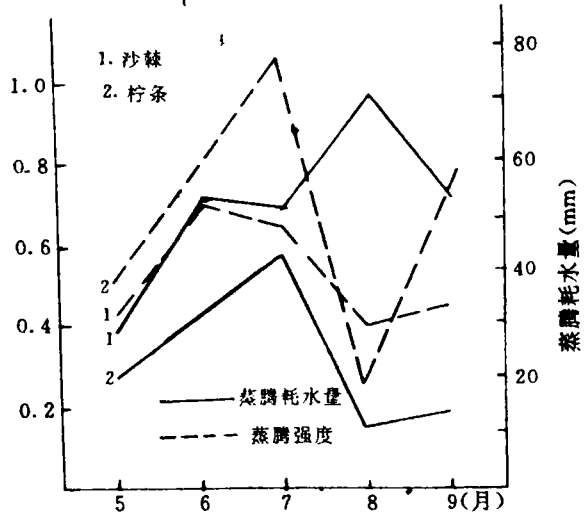


图1 沙棘、柠条蒸腾强度与月蒸腾耗水量曲线图

(* 据李代琼等资料 1990)

($\text{mm} \cdot \text{m}^2$);而柠条在5、6、7三个月蒸腾耗水量的相对值较高,变动在20.00~43.74mm之间,占同期降水量的40.1%,水分的相对利用率较沙棘低,6月和7月的水分生产率分别为0.98、0.89g/($\text{mm} \cdot \text{m}^2$)。由此可见,灌木林的蒸腾耗水量是其水分循环中的最大水分输出项。

4 土壤水分动态

研究表明,黄土颗粒具有高度的均一性,即以粗粉粒(粒径为0.05~0.01mm)为主,而粗砂粒(粒径>0.25mm)含量甚少。我们知道,随着土壤颗粒粒径变细而产生的比表面积的不断增加,会不断地改变土体中水分的物理行为。在黄土区,由于地下水埋藏很深,蒸发力大于降水量,因负补偿效应造成土壤水分经常处于亏缺状态。土壤水分亏缺系指田间持水量与实际土壤含水量之间的差值。黄土区土壤疏松多孔,一般总孔隙度要占到50%~55%,加之本区以干旱、半干旱气候类型为主,雨季降水所恢复的水分,有相当一部分很快又复蒸发到大气中去,土壤保持的水分减少很多。据我们多年对土壤水分定位动态的观测结果,土壤水分只能占到田间持水量的59.6%~76.2%。在北部土壤质地偏轻的地区,由于土壤水分整体运行强,能够比较稳定地保持在土壤中的水分只有田间持水量的41.2%~55.9%,甚至更少。

据我们1983~1990年观测结果,除个别丰水年外,裸地200cm土层,雨季后期都存在明显的土壤水分亏缺现象,如表7所示,其亏缺值在70.9~155.7mm之间,其中土壤水分亏缺量大于100mm的年份占到50%。由于灌木林植被的参与,植物蒸腾耗水强烈,土壤水分亏缺程度明显加强,据1981~1990年测定结果,柠条林下,200cm土层土壤水分亏缺量,大于200mm的年份亦占50%(表6)。

表7 柠条林地0~200cm土层土壤水分亏缺量 mm

年份	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	试验处理
6~9月降雨量	463.5	333.5	400.8	385.2	536.2	261.8	216.9	612.0	388.7	365.0	
田间持水量	478.4	478.4	478.4	478.4	478.4	478.4	478.4	478.4	478.4	478.4	
土壤储水量			382.1	322.7	560.9	407.5	337.6	395.6	351.5	363.5	裸地
土壤水分亏缺			96.3	155.7	-82.5	70.9	104.8	82.8	126.9	114.8	
田间持水量	485.8	485.8	485.8	485.8	485.8	485.8	485.8	485.8	485.8	485.8	
土层储水量	376.2	284.1	362.6	338.7	442.5	186.5	143.1	278.6	292.2	262.4	柠条林
土壤水分亏缺	109.6	201.7	123.2	147.1	43.3	299.3	342.7	207.2	193.6	223.4	

表8 几种不同植被下土壤水分垂直变化(%)

土层深度 (cm)	沙棘林		柠条林	荒草坡	坡耕地
	(阳坡)	(阴坡)	(阴坡)	(阴坡)	
0~20	10.33	14.22	13.69	16.75	13.22
20~40	11.69	14.11	14.00	16.79	13.60
40~60	11.01	13.24	13.19	14.42	12.29
60~80	10.06	12.12	11.89	12.12	10.98
80~120	9.22	10.65	10.61	10.20	9.76
120~160	8.12	9.95	9.14	9.44	8.55
160~200	7.95	9.70	8.67	9.02	8.11
平均	9.77	211.20	11.60	12.67	10.93

注:土壤水分含量为1989年4~10月平均含水量。

土壤水分是林木蒸腾耗水的直接来源,在植物蒸腾失水的同时,又不断地通过根系吸收土壤水分来补充。林木从土壤中吸收的水量约95%左右被蒸腾作用消耗,其余水分用于维持其生长和进行光合作用。在沙棘、柠条生长季节中,除降水供给蒸腾用水外,庞大的根系能充分吸收

土壤水分,特别是在干旱年份,根系能吸收更多深层贮水,增加其抗旱力。由表8可以看出土壤水分的垂直变化,随着土层深度的不断加深,土壤含水量呈减小趋势,土壤含水量最大值出现在20~40cm 土层内,这是由于该层毛管孔隙发达,又不容易被蒸发掉的缘故。另外,坡向直接影响到光、热的再分配,影响土壤形成速度,进而影响土壤水分状况。如表9所示,可以看出阴坡土壤水分含量明显高于阳坡,但荒草坡地土壤水分差异不明显,这是由于灌木林对土壤水分的利用与调节作用所致。

表9 阴阳坡200cm 土壤水分含量对比

植被	坡向	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	测定年份
沙棘	阳坡	10.54	9.99	9.72	9.72	9.72	9.93		1988
	阴坡	11.81	11.98	12.08	10.40	13.39	14.13		1988
	阴坡	9.08	10.64	11.02	9.46	14.03	13.34	12.80	1989
	半阳坡			8.34	8.46	8.12	9.74	11.12	1989
	半阴坡			8.30	12.01	9.14	11.82	11.79	1989
柠条	阳坡	9.61	10.24	11.37	9.90	11.19	12.54	13.42	1988
	阴坡	10.37	10.24	10.79	10.26	11.18	12.01		1988
	半阴坡			8.86	12.30	10.43	13.14	16.57	1989
	半阳坡			8.57	8.33	8.08	14.62	12.25	1989
荒草坡	阳坡	9.58	9.36	9.30	10.14	10.21	9.07		1988
	阴坡	9.73	9.39	10.34	9.93	9.64	9.97		1988

土壤含水量的变化主要取决于土壤性质、大气温度(光、热条件)、降水条件及植被利用情况,由于气候随季节呈周年变化,所以土壤水分也随季节呈周年变化。在年内气候上可划分为雨季和旱季,土壤水分状况也存在着湿季和干季,即蓄水 and 失水两个时期。但是土壤水分状况的干、湿季与气候上的雨季和旱季并不是同步的,其出现的季节有不吻合性。一般来说,土壤湿季从当年雨季的中、后期一直延续到翌年早春,但冬前至入春却是气候上的旱季;而从仲春进入夏季,气候上开始进入雨季,土壤湿度却降到一年之中的最低点,从我们多年定位观测的结果来看,6月下旬至8月上旬是一年中土壤含水量最低的时间,柠条林地200cm 土层平均含水量为8.3%,折合218.8mm,是土壤最干旱的时期。而这时也正是灌木林生长旺盛期,加之气温偏高,土壤水分蒸发量大,故对林木生长发育威胁较大。经过雨季降雨,土壤湿度虽可得到一定的补偿,但在大气干旱和生物利用的共同作用下,翌年6~7月土壤湿度又复下降到一年最低值。

5 水量平衡

根据实测大气降水、径流量和土壤储水量的变化,通过平衡方程(5),即可求得集水区的总蒸散量。

地表径流和蒸散量的支出是以液态或气态水的形式使水量散失在集水区外,而土壤储水变化如果是增量,水量仍可保存在集水区内的土壤中。

对不同土壤含水量情况下的水量平衡作具体分析,当土壤储水变化量为增量时,将它作为支出,其变化量为减量时把它看作收入项。其实这并不难解,储水量为增量时,增加的水量来源大于大气降水,是对收入的一种支付;若为减量时,土壤水分丢失,消耗在水量支出上,是支出水量的一种来源,应作为收入。也就是说,储水量为正值时,收入只有降水量,支出的水量并非全部流出集水区,土壤储水变量仍留在集水区,平衡是对降水量而言的;土壤储水变量为负值时,收入不仅是该时段的降水量,而且还有土壤水分提供的水量,支出的水量全部流出集水区,

其平衡是对支出而言的。这种平衡真实地反映了降水量支出后剩余水量的去向和支出超过降水量的那部分水量的来源,其次,这种平衡是部分径流与蒸散量对降水量的滞后性和收支中的可变性的一种动态平衡。在一次性或短期内的降雨中,只有地表径流和林冠截留这两种支出形式在降雨的过程中同时发生,加之还有一部分入渗到土壤内没有及时输出。对当时的降水量而言,入渗到土壤的水量可作为支出;经过一段时间后,入渗到土壤的水分有的成为土壤水储存在土体中,有的被植物根系吸收用于林木蒸腾。可见,从水量的收入到它的全部支出具有滞后性。同时,原入渗土壤的水量当初作为降水量的支出,到后期转变为收入,成为土壤水或蒸散量的来源,用于蒸散量的支出。

参考文献

- 1 杨文治,余存祖主编.黄土高原区域治理与评价.科学出版社,1992
- 2 宋桂琴等.黄土高原综合治理试验示范区土地分类研究.中国科学院西北水土保持研究所集刊,1989,(10)
- 3 李玉山.黄土区土壤水分特征及其对陆地水分循环的影响.生态学报,1983,3(2)
- 4 水利电力部西北水科所编.西北黄土的性质.陕西人民出版社,1959
- 5 杨文治等.黄土高原杏子河流域自然资源与水土保持.陕西人民出版社,1987
- 6 李代琼等.宁南沙棘、柠条蒸腾和土壤水分动态研究.中国水土保持,1990,(6)
- 7 杨新民,杨文治.安塞黄土丘陵区人工刺槐林地土壤水分状况研究.西北农业学报,1995,4(增刊)

(上接第78页)

个,占考种小麦总数的19.3%,大麦9个,占大麦考种总数的2.8%。每穗粒数在30~49粒的有320个,占考种总数的44.3%,其中小麦248个,占小麦考种总数的63.7%;大麦70个,占大麦考种总数的21.5%。每穗粒数在30粒以下的有299个,其中小麦53个,占考种小麦总数的13.6%;大麦248个,占大麦收获总数的76.1%。在小麦考种材料中,每穗粒数最高的达84粒(巴西),比红芒麦(对照)高出49.5粒,大麦的穗粒数最高达58粒,小黑麦穗粒数最高达86粒,比红芒麦多51.5粒。

2.6 每穗粒重

在收获考种的材料中,每穗粒重大部分都在1.1~2.5g之间,穗粒重在2g以上的材料共11份,占收获分析材料总数的1.52%,其中小麦87份,占收获考种小麦的22.4%;大麦24份,占收获考种数大麦的7.4%。穗粒重在1.0~1.9g之间的材料441份,其中小麦258份,总考种分析小麦的66.3%;大麦181份,占考种大麦材料的55.5%。小麦穗粒重最高的达3.3g(尼泊尔),比对照红芒麦高1.8g。小黑麦穗粒重最高的达3.7g,比红芒麦高2.2g。

3 结 论

(1)低据田间试验和室内考种结果,已筛选出在宁夏固原地区表现优良的品种,共计41份,占考种总数的5.68%。其中小麦25份(尼泊尔8份,东欧5份,巴拉圭12份),占考种小麦的6.4%;大麦14份(韩国1份,日本两份,东欧11份),占考种大麦的4.3%;小黑麦2份(巴拉圭),占收获考种小黑麦的28.6%。

(2)在我国黄土丘陵干旱区从日本湿润地区引种,小麦应引入成熟期和株高适中、穗中型的品种,大麦引入成熟期适当、高秆、大粒型的品种,小黑麦引入早熟、大穗、大粒型的品种和资源,这样可选择出适宜当地种植的优良品种。