

人工草地土壤水分周年变化规律的研究*

余优森** 林日暖 邓振镛 仇化民
(兰州干旱气象研究所, 730020) (甘肃省气象局) (西峰农业气象试验站)

摘 要

本文利用人工牧草地土壤水分试验测定资料,分析研究了草地土壤水分的周年变化规律,得出草地土壤水分周年变化可划分为春季失墒期、夏季增失墒交替期、伏秋增墒期;土壤水分动态曲线波动主要受降水补给量和牧草耗水量的影响而变化,雨季降水对旱作草地土壤水分的补给起着重要作用。

关键词 土壤水分,人工草地,耗水量

甘肃陇东和陇西黄土高原地区处于由半湿润向半干旱气候过渡和农牧过渡地带。年平均降水量为300—600mm,气候干旱,植被稀疏,水土流失严重,生态环境日趋恶化。从农业自然条件和优化农业结构的角度来讲,这里应该是农林牧结合的地区。因此,种草养畜,草田轮作,农牧结合,植树造林,对于发展这一地区的农村经济,控制水土流失,改善生态环境具有长远的战略意义。

据研究,在这一地区影响和限制旱作农业粮食产量和人工牧草产量的主要气象因子是干旱缺水^[1,2],产量因降水的多寡而波动。由于该地区的绝大部分农业耕地为雨养旱作农业,因而,作物和牧草生长的主要供水来源依赖于自然降水,然而,自然降水对作物和牧草的水分供应,又要依附于土壤来加以调节。为此,研究人工草地土壤水分动态规律,对于研究土壤-气候-牧草(或作物)生产潜力有其特殊的生产意义。

一、试验方法

关于作物土壤水分的研究国内外报道很多^[3-6]。但关于人工草地土壤水分动态规律的研究则不多。为了研究人工草地土壤水分变化规律,我们于1985—1987年,在甘肃陇东和陇西黄土高原地区的西峰农业气象试验站、通渭、定西、华家岭、华池气象站的旱地上,人工种植红豆草、紫花苜蓿、草木樨、沙打旺四种牧草。试验地段的面积0.067公顷左右,试验条件均一,为旱作耕地,无灌溉条件。试验区的自然条件见表1。

试验的方法:按照国家气象局统一制订的《农业气象观测规范》要求,从人工牧草播种(或返青期)开始至牧草停止生长时,连续观测四种人工牧草的发育期和生长状况,同时自3—11月,每旬逢8日及牧草发育普遍期,采用土钻法在四种牧草的试验地段上测定土壤湿度。测定深度为1—2m,共获取土壤资料(土湿农气报表)46份。试验期间1985年为降水正常偏多年,1986、1987年为干旱年。

* 本研究为国家气象局农业气象基金资助项目。

** 本文由余优森执笔。参加研究工作的还有刘养信、王斌、史学贵、李怀德等同志。

表 1 试验区自然条件

Table 1 Natural conditions in the test region

试验地点 Station	北纬 North latitude	海拔高度 Elevation (m)	气候分区 Climatic zone	年平均气温(°C) Mean annual temperature	年降水量 Annual precipitation (mm)	年蒸散量 Annual evapotranspiration (mm)	土壤类型 Soil type
西峰农气试验站	35°44'	1421.9	温和半湿润	8.3	561.5	1503.5	黑垆土 黄绵土
华池气象站	36°27'	1269.2	温和半干旱	8.0	501.7	1563.4	黄绵土
定西气象观测站	35°35'	1896.7	温凉半干旱	6.3	425.1	1354.6	黑垆土
通渭气象站	35°13'	1768.2	温凉半干旱	6.6	440.1	1526.2	黄绵土
华家岭气象站	35°23'	2450.6	温寒半湿润	3.6	514.7	1350.2	黑垆土 黄绵土

二、结果和讨论

(一) 土壤水分贮存量的计算

为了研究人工草地(以下简称草地)土壤水分的周年变化规律,我们用各站的土壤容量资料将全部土壤湿度测定资料,按下列公式计算出土壤水分贮存量。

$$W = r \cdot v \cdot h$$

式中W为某一土层的水分贮存量(mm);r为土壤湿度(%);v为土壤容重(g/m³);h为土层厚度(cm)。

依据上式分别计算出各层(10 cm)的土壤水分,然后累加计算出1m和2m土层的水分贮存量。

(二) 草地土壤水分周年变化的时段划分

草地土壤水分的周年变化与作物地有明显的不同。从图1可看出,西峰紫花苜蓿草地3—11月实测土壤水分的周年变化呈“W”型,1m土层水分在146—199mm之间波动,6月中旬和8月中旬分别出现两个土壤水分低谷期。采用谐波分析方法拟合的土壤水分动态曲线呈“V”型。

研究结果表明:在陇东黄土高原旱作紫花苜蓿草地土壤水分周年变化,与自然降水的补给作用和牧草耗水规律有极为密切的关系。每当有充裕的自然降水量补给土壤之后,即旬雨峰之后及牧草耗水量小的对应旬(分枝—现蕾期),土壤水分都伴随有波峰出现;而在相对干旱少雨时段,即旬雨量少及牧草耗水量大的水分临界期(开花期),土壤水分便出现低谷,这是旱作草地土壤水分变化的重要特征,红豆草地土壤水分周年变化规律与紫花苜蓿草地相似(图略)。

采用谐波分析方法拟合紫花苜蓿和红豆草地土壤水分周年变化的数学方程得表2。表中得出,紫花苜蓿草地土壤水分的谐波数为1个,红豆草地的谐波数为3个,其波数的变化均与牧草耗水规律及降水补给量有密切关系。

表 2 草地土壤水分周年动态谐波分析拟合方程
Table 2 Fitting equations derived from harmonic analysis of
the annual variation of sward soil water

草地类别 Sward type waves	谐波数 (k) No. of harmonic (k)	F 检验计算值 $F\alpha(k)$ Calculated value for F-test $F\alpha(k)$	方差贡献值 (sd) (k) Variance contribution (sd) (k)	方差贡献占 序列方差 % % of variance contribution in serial variance
紫花苜蓿	1	20.93	138.4	66
	数学方程	$\hat{y} = 170.8 + 16.6\sin[14 \cdot (T - 1) + 82]$		
红豆草	(1)	5.61	135.7	32
	(2)	2.29	68.3	16
	(3)	1.07	35.0	8
	数学方程	$\hat{y} = 147.6 + 16.5\sin[13 \cdot (T - 1) + 65] + 11.7\sin[26 \cdot (T - 1) + 245] + 9.5\sin[52 \cdot (T - 1) + 218]$		

* 式中: \hat{y} 为 1m 土层水分 (mm); T 为旬序号。

根据对陇东和陇西黄土高原草地土壤水分周年变化的研究得出, 牧草生长期的土壤水分变化大致可划分为三个时期:

(1) 春季失墒期: 时间 3—5 月, 从第一茬牧草返青至现蕾开花期。此时温度逐渐升高, 牧草生长日趋旺盛, 耗水量不断增大, 但由于天气气候背景处在春季干旱少雨时段, 降水补给量很少, 因而, 土壤中不断蒸散失水, 降蒸差为负值, 紫花苜蓿草地 1m 土层水分由 191 mm 下降到 168 mm, 净失墒 23 mm, 日均失墒量 0.28 mm。

(2) 夏季增失墒交替期: 时间 6—8 月, 处于第一茬草开花刈草至第二茬草开花刈草期。此时 6 月上中旬和 8 月上中旬正处于紫花苜蓿开花刈草期, 耗水量大, 故出现两个最大的土壤失墒低谷, 土壤水分动态曲线分别由 171 mm 和 169 mm 下降到 148 mm 和 146 mm, 净失墒量

23 mm, 日均失墒量分别为 1.15 mm 和 0.73 mm (图 1)。在 6 月下旬至 7 月, 由于夏季降水补给量大, 而牧草的耗水量又相对较少, 故出现了明显的增墒坡峰, 土壤水分动态曲线由 148 mm 升至 169 mm, 净增墒量 21 mm。该时期有失有增, 增失交替, 降蒸差以正值为主。

(3) 伏秋增墒期: 时间 8 月下旬至 11 月。此时由于雨季降水的补给量多, 气温逐渐

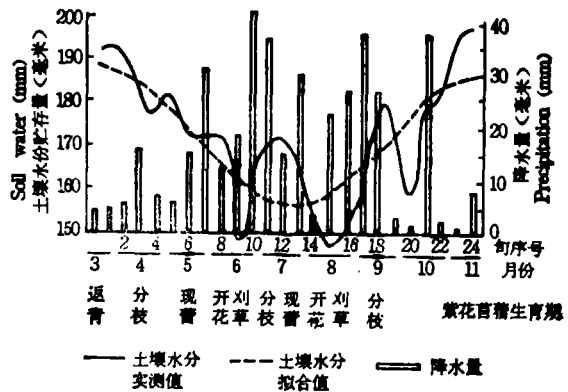


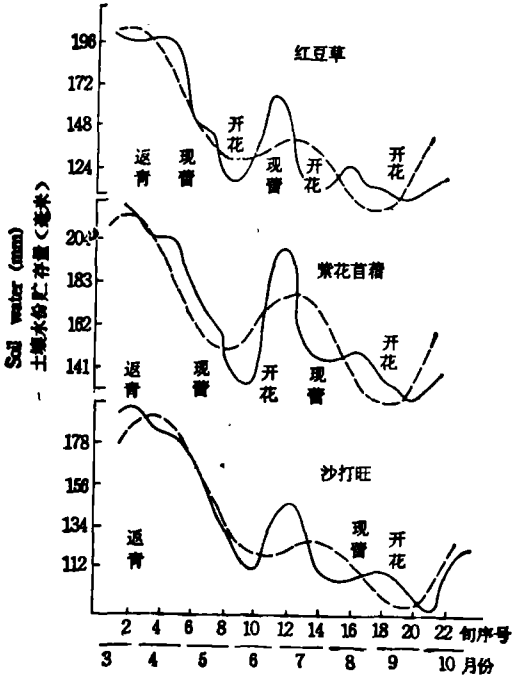
图 1 紫花苜蓿草地 1m 土层水分周年变化
(地点: 西峰, 时间 1985—1987)

Fig. 1 The annual variation of water in 1m soil layer of alfalfa sward at Xifeng station during 1985--1987

下降,牧草生长日益衰败,耗水量减少,故为增墒期。土壤水分动态曲线为上升增墒趋势,由 146mm 经过波动最终升至 199mm,净增墒量 53mm,日均增墒量 0.57mm,同时,由浅层向深层渗透收墒蓄水,降蒸差为正值。但是,9 月中下旬因连续两年秋旱少雨,故出现了一个小的失墒低谷,这属于特殊情况。在正常年分 9 月应为多雨时段。

(三) 不同草地土壤水分的周年变化

不同的人工草地由于所处的生育期和耗水量不相同,土壤水分的周年变化有所差异。



注: 实线为土壤水分实测值;虚线为拟合值

图 2 西峰不同草地 1m 土层水分周年变化 (1986 年)

Fig. 2 The annual variation of water in 1m soil layer of various swards at Xifeng(1986)

为了研究不同草地土壤水分的周年变化,下面选用西峰试验点同一试验地段的二年生红豆草、紫花苜蓿、沙打旺草地土壤水分资料作比较(图 2)。从图 2 看出,同一地点在土壤、耕作和气象条件相同的条件下,二年生人工草地土壤水分周年变化趋势是一致的,表现为“Z”型,与三年平均值略有差异,这主要是 9 月降水量有差异。不同人工草地的差异主要表现在动态曲线的量值上,以紫花苜蓿草地土壤水分最高,其次是红豆草、沙打旺草地。

从表 3 中看出,牧草返青期的 1m 土层水分,紫花苜蓿草地分别比红豆草、沙打旺草地多 17.2mm 和 13.5mm;停止生长时分别多 16.3mm 和 45.1mm。在降水集中时段,紫花苜蓿草地 1m 土层水分分别比红豆草、沙打旺草地多 30.9mm 和 48.4mm。

周年变化差异不仅表现在二年生的不同草地上,而且,三年生的人工草地

1m 和 2m 土层水分都是紫花苜蓿草地高于红豆草地和沙打旺草地,说明紫花苜蓿是最好的草田轮作和种草养畜的优良草种(表略)。

(四) 不同气候区草地土壤水分的周年变化

在甘肃陇东和陇西黄土高原不同气候区,由于降水补给的时间和补给量不相同,人工牧草生育的热量条件有差异,因而,草地土壤水分的周年变化有明显的差异。

1987 年属于伏秋干旱年型,年降水量比历年平均偏少 23—28%。从图 3 看出,位于温和半湿润区的西峰试验点,红豆草地 1m 土层水分的周年变化呈现为“W”型;处于温凉半干旱区的通渭试验点表现为“Z”型;而处于温寒半湿润区的华家岭试验点则表现为倒“八”型;在量值变化上就有显著的不同。造成红豆草地土壤水分这种变化的原因,主要是三个试验点的降水、温度条件及生育期不同所致。从图中还看出,不同试验点由于降水对草地土壤水分的补给时期、补给量以及牧草耗水量不尽相同,因而,草地土层水分贮

表 3 不同草地 1m 土层水分周年变化差异(西峰, 1986 年)
Table 3 Difference in the annual variation of water in 1m soil layer of various swards at Xifeng (1986)

生育期 Growing period	紫花苜蓿 Alfalfa		红豆草 Holy clover sward			沙打旺草 Erect milkvetch		
	日期 Date 旬/月	水分 Soil water mm	日期 Date 旬/月	水分 Soil water mm	差值 Difference mm	日期 Date 旬/月	水分 Soil water mm	差值 Difference mm
返青期	上/4	211.8	上/4	194.6	-17.2	上/4	198.3	-13.5
开花期 1 茬 2 茬 3 茬	中/6	130.9	下/5	146.4	+15.5	中/9	105.1	-25.8
	中/8	149.7	下/7	120.0	-29.7			
			上/9	116.9				
停止生长	中/10	132.9	中/10	116.6	-16.3	中/10	87.8	-45.1
降水集中时段	下/6—上/7	200.3	下/6—上/7	169.4	-30.9	下/6—上/7	151.9	-48.4

* 差值指紫花苜蓿与其他牧草的水分相差。

表 4 不同气候区三年生红豆草地 1m 土层水分周年变化差异(1987 年)
Table 4 Difference in the annual variation of water in 1m soil layer of triennial Holy clover swards in different climatic zones (1987)

试验地点 Location	气候分区 Climatic zone	年降水量/距平 Annual precipitation/Anomaly	生育期 Growing period	第一茬 1st cropping				第二茬 2nd cropping			第三茬 3rd cropping	
				返青	分枝	现蕾	开花	分枝	现蕾	开花	分枝	枯黄
西峰	温和半湿润	431.9	日期(日/月)	3/3	18/4	28/4	18/5	8/6		28/6	18/8	18/11
		-23%	水分(mm)	119.0	107.5	119.1	105.8	133.6		102.4	104.3	152.0
通渭	温凉半干旱	269.2	日期(日/月)	17/3	22/4	7/5	27/5	17/6	27/6	2/7	27/8	27/10
		-38%	水分(mm)	167.3	164.2	148.9	156.7	150.8	127.6	118.2	108.2	116.7
华家岭	温寒半湿润	389.4	日期(日/月)	16/4	4/5	16/6	4/7	25/7		22/8		25/9
		-24%	水分(mm)	194.4	196.6	226.5	268.0	196.5		161.0		156.9

存量变化亦不一样。从表 4 可以看出, 虽然西峰试验点红豆草生育期长, 耗水量多, 但后期的降水补给量大, 故枯黄期土壤水分仍与华家岭相近; 而通渭试验点红豆草因耗水量多, 降水补给量少, 故枯黄期土壤水分比西峰、华家岭均少。

(五) 不同气候年型草地土壤水分周年变化

在不同的气候年型下, 由于人工牧草的生长年度和年降水量不相同, 草地土壤水分的周年变化亦有明显差异。以通渭试验点的紫花苜蓿草地土壤水分为例, 1985 年是紫花苜

槽播种头一年,该年牧草生长不旺,耗水量少,而降水量为正常偏多年型,因此,草地 1m 土层水分周年变化随降水变化而波动,呈现“双峰”型,即春末初夏和伏秋期间有较多的降水量补给,土壤水分动态曲线分别出现了两个波峰,峰值分别达到 250mm 和 290mm (图略);而 1987 年是紫花苜蓿生长第三年,生长处于旺盛期,耗水量大,而该年降水量为伏秋干旱年型,年降水量比历年平均偏少 38%,因此,草地 1m 土层水分周年变化呈现“单峰型”,土壤水分动态曲线由返青期的 170mm,降到秋季的 100mm,失墒 70mm,伏秋降水对底层土壤水分的补偿作用随之消失。

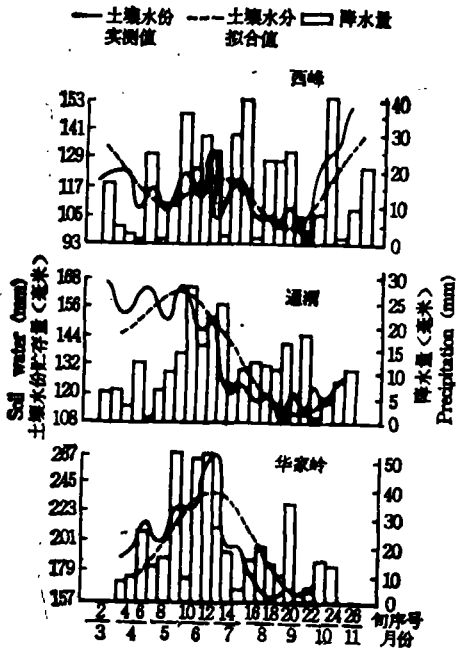


图 3 不同气候区三年生红豆草地 1m 土层水分周年变化(1987)

Fig. 3 The annual variation of water in 1m soil layer Holy clover swards in different climatic zones (1987)

分对表层的补偿作用相当显著。分析计算西峰试验点紫花苜蓿和红豆草草地春季不同土层水分的补偿作用得下列方程:

(六) 草地底层与中层水分对表层的补偿作用

研究草地土壤水分周年变化规律得出,在春季土壤失墒期,草地蒸散失墒主要是靠底层与中层水分对表层的输送补给作用,这是黄土高原旱地土壤水分周年变化的重要特征之一。

在甘肃陇东和陇西黄土高原,土层深厚,在春季大气干旱少雨时段,土壤严重失墒,这时供给牧草生育耗水的主要水分来源是中层和底层,中层和底层水分对表层的补偿作用相当显著。

分析计算西峰试验点紫花苜蓿和红豆草草地春季不同土层水分的补偿作用得下列方程:

春季草地表层土壤水分与中层、底层土壤水分的关系为:

$$W_1 = -16.125 + 1.002W_2$$

$$n = 26, r = 0.897, \alpha = 0.001$$

$$W_1 = -19.628 + 0.544W_3$$

$$n = 30, r = 0.905, \alpha = 0.001$$

$$W_2 = -5.255 + 0.540W_3$$

$$n = 30, r = 0.964, \alpha = 0.001$$

上式中 W_1 为表层 (0—50cm) 土壤水分贮存量 (mm); W_2 为中层 (60—100 cm) 土壤水分贮存量 (mm); W_3 为底层 (110—200cm) 土壤水分贮存量 (mm)。上式表明,春季草地中层与底层土壤水分对表层的土壤水分的输送补偿作用是极其显著的,信度水平为 0.001;从回归系数看,表层增减 1mm 水分,中层与底层分别增减 1mm 和 0.5mm;从相关系数来看,以底层对中层的相互补偿更加稳定。

(七) 伏秋降水对草地土壤水分的补偿作用

在甘肃黄土高原地区的旱作草地, 补给草地土壤水分的唯一源泉是大气降水。由于伏秋雨季降水的补偿作用, 从而使得草地土壤水分得以补充和恢复, 出现土壤的伏秋增墒期, 并使周年水分动态保持相对平衡, 这是草地土壤水分周年变化的又一特征。

分析计算西峰、通渭试验点伏秋雨季降水对草地土壤水分的补偿作用得下列方程:

红豆草草地:

$$W_9 = 35.296 + 1.031R(8-9月), n = 8,$$

$$r = 0.939, \alpha = 0.01$$

$$W_{10} = 54.806 + 0.702R(8-10月), n = 8,$$

$$r = 0.942, \alpha = 0.005$$

紫花苜蓿草地:

$$W_9 = 52.509 + 1.048R(8-9月), n = 8,$$

$$r = 0.936, \alpha = 0.01$$

$$W_{10} = 60.926 + 0.723R(8-10月), n = 8,$$

$$r = 0.969, \alpha = 0.005$$

上式中 W_9 、 W_{10} 分别为 9 月和牧草停止生长时 1m 土层水分贮存量 (mm); R 分别为 8—9 月和 8—10 月伏秋降水量 (mm)。

上述方程表明, 伏秋雨季降水量对红豆草、紫花苜蓿草地 9 月及停止生长时的土壤水分补偿作用是很显著的, 草地 1m 土层水分贮存量随着伏秋季降水量的增减而增减。从回归系数判别, 以 8—9 月降水量对 9 月底的土层水分补偿更显著, 自然降水几乎完全都能贮存到土壤中去; 而从不同草地的回归系数和相关系数来判别; 又以紫花苜蓿草地比红豆草草地效果更为显著。

上述结果表明, 在甘肃陇东和陇西黄土高原半干旱、半湿润地区, 雨季和伏秋降水对增墒期和冬前土壤水分的补偿作用, 在农田和草地周年土壤水分变化中起着极其重要的、不可忽视的作用, 这种补偿作用决定了土壤底墒的好坏, 同时, 也决定了来年春季土壤水分对牧草生长的供应。为此, 人们应该自觉地应用草地土壤水分周年变化规律, 抓住雨季土壤增墒期这一环节, 将伏秋降水量最大限度地拦蓄到“土壤水库”中去, 以提高自然降水的利用率, 并依赖于土壤对自然降水的调节作用, 供应给作物和牧草的需水要求, 以充分利用自然降水资源, 提高作物和牧草产量。

参 考 文 献

- [1] 余优森, 1984: 半干旱地区气候生产力评价。气象, 第 4 期, 34—36 页。
- [2] 余优森, 1985: 人工牧草气候适应性分析。农业气象, 第 6 卷 1 期, 32—34 页。
- [3] 李德广等, 1987: 旱地土壤水分的特征阶段、垂直类型和土壤水分预报。农业气象, 第 8 卷 4 期, 41—45 页。
- [4] 朱自筮等, 1988: 麦田水分平衡的动态分析。中国农业气象, 第 9 卷 2 期, 1—3 页。
- [5] 邓振镛、林日暖, 1989: 甘肃省土壤农业水文特性的研究。自然资源学报, 第 4 卷 2 期, 137—144 页。
- [6] Sharratt B. S., Bake D. G. and Sheaffer C. C., 1987: Climatic effect on alfalfa dry matter production part II, Summer harvest Vol. 39 No. 5, 2—3, february.

ANNUAL VARIATION OF SOIL WATER IN ARTIFICIAL SWARD

Yu Yousen Lin Rinuan

(Lanzhou Institute of Drought Meteorology, 730020)

Deng Zhengvong

(Meteorological Bureau of Gansu Province)

Chou Huamin

(Xijeng Agricultural Meteorology Station)

Summary

In this paper, the experimental data of soil water in artificial swards are used to discuss the annual variation regularities of soil water in sward. The dynamics of soil water in sward is mainly affected by precipitation and the water consumption of grass. Precipitation in the raining season plays an important role in the supplement of soil water in arid sward.

Key words Artificial sward, Soil water, Water consumption