

# 晋西北黄土丘陵沟壑区典型灌草植被 土壤水分动态变化规律研究

贾志清

(中国林业科学研究院 林业研究所, 北京 100091)

**摘要:** 以晋西北黄土丘陵沟壑区为背景, 以当地适生灌草种 (柠条、沙棘、紫花苜蓿等) 为主要研究对象, 通过野外定位定点观测, 应用谐波分析理论, 系统地其林草地及封育区与非封育区灌木土壤水分动态变化规律进行了分析。研究结果表明: 研究地区典型灌草植被土壤水分年内变化受降雨和蒸发散的影响, 可明显地划分为干湿两季和土壤水分变化的 4 个阶段; 通过标准差和变异系数将土壤水分垂直层次划分为速变层、活跃层和次活跃层, 且土壤水分层次剖面与降雨年型有关。通过分析土壤水分动态变化规律, 提出灌草地、灌木林地调节土壤水分的功能优于草地、农地和荒坡地, 封育区灌木植被的土壤水分状况优于非封育区等结论。上述研究成果将为同类地区植被恢复与生态工程建设提供重要的理论依据。

**关键词:** 黄土丘陵沟壑区; 土壤水分; 谐波分析; 植被恢复

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2006)01—0010—06

中图分类号: S152.75

## Soil Moisture Dynamic Variation Law of Typical Shrub-grass Vegetation in Loess Hill Area of Northwestern Shanxi

JIA Zhi-qing

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

**Abstract:** The suitable shrub-grass plants of *Caragana korshinskii* Kom., *Hippophae rhamnoides* L., *Medicago sativa* L. are the main research object. Soil moisture dynamic variation law of shrub-grass lands and the shrub in the closing area were studied by means of located observation and the harmonic analysis. Results show that the annual variation of soil moisture of the typical shrub-grass vegetation in the area affected by the annual variation of rainfall and evapotranspiration is remarkably divided into the arid and humid seasons, and four periods of soil moisture variation. The soil moisture profile is divided into the rapid change layer, the active layer and the second active layer by the two indexes of standard deviation and variation coefficient, and the relation of soil moisture profile with the precipitation in the same period is analysed. The adjusting function to soil moisture of shrub-grass lands, shrub forestlands is better than grasslands, farmlands and bare-lands, and the soil moisture condition of shrub in the closing area is better. The research results are important to the vegetation recovery and ecological engineering construction in a similar region.

**Key words:** loess hill area; soil moisture; harmonic analysis; vegetation recovery

以水分动态平衡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推广项目“辅助封山育林等植被快速恢复技术”于 2002—2003 年在山西省偏关县项目区对不同土地利用类型以及不同辅助措施的土壤水分进行了定位对比观测试验, 并围绕制约本地区灌草植被恢复的水分问题, 进行了较为系统

的研究和动态分析, 以便为该地区生态工程建设与林草植被恢复, 促进区域社会经济可持续发展提供必要的理论依据。

偏关县位于晋西北黄土丘陵沟壑区, 全县总面积 1 685.4 km<sup>2</sup>, 境内梁峁起伏, 沟壑纵横, 气候干旱且多风沙, 水土流失严重。海拔 900~1 800 m, 年平均降水量 409.7 mm, 降水年际差异比较大; 年平均气温 7.4℃, 最高 36.6℃, 最低 -27.3℃, 无霜期 140 d, 属大陆性气候。

收稿日期: 2005-06-20

资助项目: 国家林业局 100 项科技成果重点推广项目“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, 副研究员, 主要研究方向为水土保持与荒漠化防治工作。电话 (010) 62889638, E-mail: jiazq@forestry.ac.cn。

# 1 试验研究方法

## 1.1 土壤水分观测点布设情况

根据对土壤水分观测试验区地形、地貌部位、坡度、土壤、植被、土地利用现状等进行综合调查。在试验区典型流域内选取具有代表意义的灌草植被作为研究对象,并以农地、荒地及不同辅助措施作为对照,共布设 10 个水分点,进行土壤水分取样测定。土壤水分观测点布设情况详见表 1。

## 1.2 土壤水分动态规律观测方法<sup>[1]</sup>

土壤水分动态规律测定方法为人工定时定点取样,从每年的 4 月至 10 月每隔 5 d 取样品一次,每点 3 层(0~20 cm, 20~50 cm, 50~100 cm), 3 次重复,用烘干称重法测定土壤含水量。

## 1.3 谐波分析方法

许多研究表明,水文气象要素的变化过程与谐波过程十分接近,由此认为土壤水分的变化过程亦应具

备谐波的特征,可以采用谐波分析的方法来分析土壤含水量随时间的变化规律。谐波分析是波谱分析的一种,它是应用对周期函数或时间序列进行富里叶级数展开的方法得到离散,并据此确定主要周期的谐波因子,具体表达公式及其计算方法见文献[2]。

# 2 结果与分析

## 2.1 试验区土壤水分年内动态分析

2.1.1 土壤水分年内变化谐波分析结果 外业期间,共取得 2 a 水分数据,这里仅以 2003 年的数据加以分析,进行谐波分析的数据选择了 35 个序列,即从 4 月 10 日—10 月 10 日,5 d 一个序列,整个周期计算、周期性检验在计算机上采用 FORTRAN 程序一次完成。

不同地类 35 个序列的谐波周期和周期显著性检验见表 2,不同地类土壤水分季节动态变化规律见图 1,图 2。

表 1 土壤水分观测点布设结果

水分点	土地类型	利用现状	植物名称	坡向	坡位	辅助措施
1	坡地	林地	柠条( <i>Caragana korshinskii</i> Kom.)	阴	中	
2	坡地	林地	柠条( <i>Caragana korshinskii</i> Kom.)	阳	中	
3	坡地	林地	柠条( <i>Caragana korshinskii</i> Kom.)	阴	中	围栏封育
4	坡地	林地	沙棘( <i>Hippophae rhamnoides</i> L.)	阴	中	
5	坡地	林地	沙棘( <i>Hippophae rhamnoides</i> L.)	阴	中	围栏封育
6	坡地	草地	紫花苜蓿( <i>Medicago sativa</i> L.)	阴	中	
7	坡地	草地	紫花苜蓿( <i>Medicago sativa</i> L.)	阳	中	
8	坡地	林草地	柠条与紫花苜蓿 ( <i>Caragana korshinskii</i> Kom. and <i>Medicago sativa</i> L.)	阴	中	
9	坡地	农地	马铃薯( <i>Solanum tuberosum</i> )	阴	中	
10	坡地	荒坡		阴	上	

表 2 土壤含水量年内动态谐波分析结果

立地类型	土层厚度/ cm	一波			二波			三波			零波 $V_0$
		$C_1$	$1.0$	$C_1^2 - C_a^2$	$C_2$	$2.0$	$C_2^2 - C_a^2$	$C_3$	$3.0$	$C_3^2 - C_a^2$	
林地	0~100	2.00	63.66°	2.25	1.20	35.03°	-0.31	0.50	86.60°	-1.50	14.96
草地	0~100	3.00	62.61°	7.33	0.75	75.76°	-0.08	0.51	69.25°	-1.40	12.60
农地	0~100	3.14	16.17°	8.12	0.73	74.05°	-1.21	0.71	84.30°	-1.24	10.31
荒地	0~100	1.73	58.78°	1.80	1.73	25.97°	-0.08	0.83	86.69°	-0.51	8.70

注:  $C_k^2 - C_a^2$  值,正表示周期性显著,负表示周期性不显著。

(1) 周期显著性检验表明,典型点的 35 个序列的谐波分量中,只有一波的周期是显著的,二波、三波周期不显著。在水文气象的谐波分析中,一波、二波、三波分别称为年波、半年波、季波,这三波是构成序列年际变化的主要周期。以上分析结果表明土壤含水量年内变化受降雨和蒸发散的年内变化影响,明显分为干湿两季,而各季范围内并没有规律性变化,由降

雨在短期间的随机性决定。总的变化趋势是:土壤含水量在 6 月初至 7 月初达最低点,在 7 月初至 9 月底达最高点,然后土壤含水量有所下降并趋于稳定。

(2) 若提取一波为主的一至三波,可将土壤含水量的变化表示为拟合函数:

$$V(t) = v_0 + \sum_{k=1}^3 C_k \sin\left[\frac{2\pi k}{N}(J-1) + k_0\right]$$

式中:  $V(t)$  ——  $t$  时段的含水量;  $V_0$  —— 序列常数;  $C_k$  ——  $k$  波振幅;  $N$  —— 序列数;  $J$  —— 序列号;  $k, 0$  —— 初始相位。

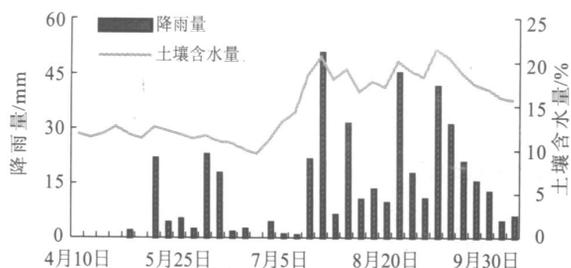


图 1 2003 年林地土壤水分季节动态变化图

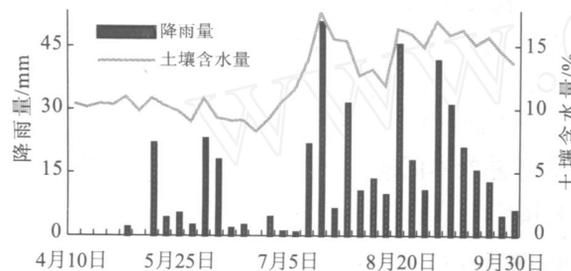


图 2 2003 年草地土壤水分季节动态变化图

2.1.1.2 土壤水分年内动态时段划分 在黄土丘陵沟壑区,大气降水几乎是土壤水分的唯一来源,同一季节的降水和蒸发不同,土壤含水量也随之变化。从表 2 及图 1,图 2 可以看出,土壤水分年内动态呈现低—高—低的趋势。据此,我们可将土壤水分年内变化过程分为 4 个阶段<sup>[3-8]</sup>:土壤水分缓慢蒸发期(4 月初—5 月底);旱季土壤水分严重亏缺期(6 月初—7 月初);雨季土壤水分补偿期(7 月初—9 月底);冬春土壤水分相对稳定期(10 月初—次年 3 月底)。

## 2.2 流域土壤水分垂直分布规律

### 2.2.1 土壤水分垂直变化层次划分

(1) 土壤水分垂直分层划分原则<sup>[9-10]</sup>。我们根据标准差、变异系数值来确定土壤水分垂直层次的划分,其分级标准为:标准差值大于 4,该土层内平均变异数达到 30%以上,为速变层;标准差值为 3~4,土层内变异系数达到 20%~30%为活跃层;标准值为 2~3,土层内变异系数为 10%~20%,为次活跃层;由标准值小于 2,土层内变异系数小于 10%,为相对稳定层。

(2) 流域土壤水分垂直分层划分结果。

降雨年型不同,土壤水分层次剖面不一样。平水年活跃层较深,速变层较浅,而干旱年速变层较深,活跃层变浅。

无论何种降雨年型水分都很活跃,且活跃程度差别不大。

不同剖面层次特点。a. 速变层:这一层受气流影响很大,调墒能力差,干湿变化十分剧烈。b. 活跃层:该层的土壤水分主要受降雨和植物耗水状况的影响。另外,土壤水分活跃程度还受土壤质地作用,土质越轻,土壤水分运动越激烈,反之,较慢。在黄土高原丘陵沟壑区,一般土层深度均匀,多系幼年黄土性土壤,在相同气候条件下,土壤质地占主导作用,这与土壤中毛管孔隙组成和毛管水上升高度有关系。该层是植物主要吸收利用层,例如及时采取一定保墒措施,可以趋利避害。c. 次活跃层:由于这一层进入了大气和土壤同时作用的水分层次,大部分情况下,水分运行速度受到限制,该层对植物水分吸收具有调节作用(见表 3)。

表 3 不同降雨年型土壤水分垂直分层结果

地类	土层深度/cm	2003 年(平水年)			2002 年(干旱年)		
		标准差	变异系数	活跃等级	标准差	变异系数	活跃等级
农地	0~20	4.06~4.08	31.03~39.46	速充层	4.82~5.84	32.89~38.35	速充层
	20~50	3.15~3.94	22.83~28.87	活跃层	4.07~5.30	30.94~34.51	活跃层
	50~100	3.04~3.78	20.41~26.94		3.10~3.78	22.50~27.46	
林地	0~2	4.03~4.41	30.51~39.94	速变层	4.28~5.34	32.30~41.84	速充层
	20~50	3.04~3.97	22.41~28.68	活跃层	4.11~4.84	30.74~34.82	活跃层
	50~100	3.03~3.78	22.15~27.80		3.07~3.56	22.03~27.86	
	100~120	2.13~2.61	10.64~16.25	次活跃层	2.10~2.82	13.37~19.89	次活跃层
草地	0~2	4.04~4.93	32.41~37.86	速变层	4.18~5.36	32.01~40.27	速变层
	20~50	3.18~3.87	20.77~27.47	活跃层	4.05~4.76	31.11~35.56	活跃层
	50~100	3.05~3.70	20.61~26.89		3.09~3.88	23.01~29.54	
荒地	0~2	4.01~4.53	30.40~36.70	速变层	4.21~4.84	32.89~36.78	速变层
	20~50	3.18~3.56	22.43~25.80	活跃层	4.10~4.47	31.32~35.64	活跃层
	50~100	3.05~3.27	20.93~24.51		3.22~3.54	21.11~27.56	

2.2.2 土壤水分垂直分布规律 从图 3—5 可以看出土壤水分的剖面分布规律,虽然土地利用方式不同,年际降水又有差异,但年内不同植被土壤水分均随土层深度增加而递减。灌草地、灌木林地土壤水分垂直下降趋势较平缓,而草、农、裸地下降趋势较快,荒坡地最快。由此可见,从调节土壤水分功能来看,灌草地、灌木林地调节能力最好,而荒坡地最差。

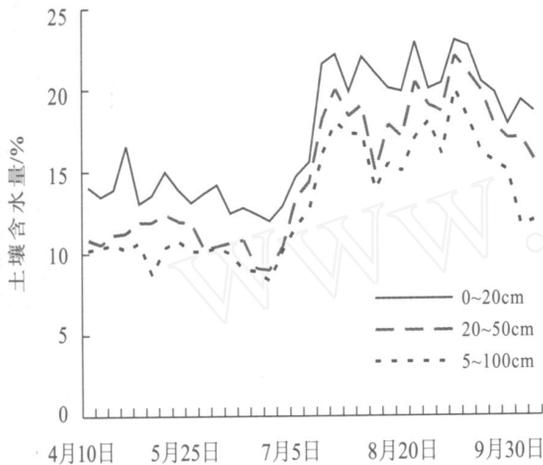


图 3 2003 年林地不同层次土壤水分季节动态变化

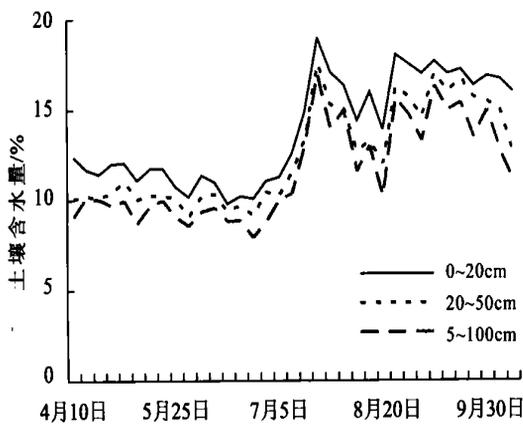


图 4 2003 年草地不同层次土壤水分季节动态变化

2.3 不同灌草植被土壤水分动态分析<sup>[11-14]</sup>

植被不同,土壤含水量不同,说明其对土壤水分动态影响不同(供试植被立地条件基本相同),随着植被的生长,植被不同的生物学特性表现出来,因此对土壤水分的利用和影响差异逐渐加大。从不同灌草植被土壤水分谐波分析结果可得出如下结论。

(1) 从表 4 的  $V_0$  值和图 3,图 4 可以看出,不同灌草植被的土壤含水量从大到小的排列顺序依次为:柠条与紫花苜蓿、沙棘、柠条、紫花苜蓿、马铃薯、荒地。灌草复合植被(柠条与紫花苜蓿)土壤平均含水量为 15.73%,而荒地仅为 7.97%,相差 7.76%。如果土壤容重按  $1.2 t/m^3$  计算,则可以计算出  $1 hm^2$  灌

草复合植被 0~100 cm 土层内总含水量比同等的荒地总含水量多 931.2 t。

(2) 从不同植被的  $C_k$  值来看,灌草复合植被的  $C_k$  值最小,说明灌草地土壤水分变化比较缓和,灌木林地、草地次之,农地居中,而荒地的土壤水分变化最剧烈。

(3) 从不同植被的  $k_{,0}$  值来看,林草地的  $k_{,0}$  值较小,尤其是灌草复合植被,它们推迟了土壤含水量极值到来的时间,具有较强抗旱和蓄水保墒能力。

据以上分析可知,灌草复合植被具有较好的蓄水、保水、调节土壤水分的作用,灌木林地、草地次之,农地居中,裸地最差,因此,在该地区应大力发展灌草混交或灌木林以调节改善土壤水分条件。

表 4 不同灌草植被土壤水分谐波分析结果

植被	$C_k$	$k_{,0}$	零波 $V_0$	$C_k^2 - C^2$
柠条	3.13	69.81	13.65	3.79
沙棘	2.90	69.47	14.96	1.83
紫花苜蓿	3.30	70.60	12.60	2.03
柠条与紫花苜蓿	2.00	63.66	16.31	2.25
马铃薯	4.15	74.64	10.31	1.01
荒地	5.12	77.05	8.70	1.87

2.4 不同坡向灌草植被土壤水分动态分析<sup>[14]</sup>

从不同坡向植被土壤水分谐波分析结果可以得出如下结论。

(1) 从表 5 的  $V_0$  值和表 6 的数据可以看出,无论何种地类,阴坡的  $V_0$  值均高于阳坡,只是地类不同,含水量的差异大小不同。

(2) 无论何种地类,阴坡的  $C_k$  值总是小于阳坡的,表明阴坡地土壤水分变化比较缓和;阴坡的  $k_{,0}$  值总是小于阳坡的,阴坡推迟了土壤含水量极值到来的时间,这对土壤水分的储藏及抗旱有积极的作用。

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。由表 6 知,无论何种地类,阴阳坡土壤含水量的差异都是显著的,差异幅度随地类不同而不同。林、草地平均土壤含水量阴坡分别高于阳坡 26%和 22%。

表 5 不同坡向灌草植被土壤水分谐波分析结果

植被	坡向	$C_k$	$k_{,0}$	零波 $V_0$	$C_k^2 - C^2$
柠条	阴	3.13	69.81	13.65	3.79
	阳	3.75	72.31	11.08	1.51
紫花苜蓿	阴	3.30	70.60	12.60	2.03
	阳	4.04	74.24	10.57	0.89

表 6 不同坡向灌草植被土壤水分季节动态变化

年份	地类	坡向	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	年平均
2002	林地	阴	11.46	11.06	10.36	13.36	16.13	16.87	14.41	13.38
		阳	8.81	8.43	7.72	10.61	12.48	12.50	11.46	10.29
	草地	阴	10.22	10.02	9.78	12.17	14.23	15.17	13.06	12.09
		阳	7.83	7.29	6.64	9.94	11.77	12.76	10.99	9.60
2003	林地	阴	11.45	11.33	10.67	14.56	16.76	16.27	14.48	13.65
		阳	9.95	8.95	8.16	10.91	13.82	13.79	11.96	11.08
	草地	阴	10.37	10.16	9.89	13.26	15.23	16.36	12.93	12.60
		阳	8.54	8.17	8.07	10.84	13.19	13.38	11.81	10.57

## 2.5 封育区与非封育区土壤水分动态变化规律

通过土壤水分谐波分析的结果,我们可以得出如下 3 个结论<sup>[15-16]</sup>。

(1) 从表 7 的  $V_0$  值和表 8 的数据可知,封育区与非封育区的土壤水分动态存在着明显的差异,干旱年及平水年均表现出封育区灌木植被的水分状况好于非封育区。

(2) 从表 7 的  $C_k$  值来看,封育区的  $C_k$  值小于非封育区,表明封育区林地土壤水分变化比较缓和。

(3) 从表 7 的  $k_{k,0}$  值来看,封育区的  $k_{k,0}$  值小于非封育区,表明封育区林地推迟了土壤含水量极值到来的时间,能聚集并保持更多的水分。

研究结果表明:对于环境条件较差的生态区,将易遭到破坏的灌木林地封禁起来,同时,根据不同的类型,施加人为的补植、补播、抚育管理等育林措施,可加速植被的恢复,增加物种多样性,改善土壤的肥力、水分状况,使纯林逐步形成人工—天然复合植被类型。

表 7 封育区与非封育区灌木植被土壤水分谐波分析结果

植被	辅助措施	$C_k$	$k_{k,0}$	零波 $V_0$	$C_k^2 - C^2$
柠条	无	3.13	69.81	13.65	3.79
	围栏封育	2.49	65.43	15.55	2.79
沙棘	无	2.9	69.47	14.96	1.83
	围栏封育	1.9	63.17	16.85	3.21

表 8 封育区与非封育区灌木植被土壤水分季节动态变化规律

年份	植被	辅助措施	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	年平均
2002	柠条	无	11.46	11.06	10.36	13.36	16.13	16.87	14.41	13.38
		围栏封育	13.96	13.27	12.88	14.76	16.98	18.01	15.18	15.01
	沙棘	无	12.02	12.26	11.23	14.86	16.98	17.98	15.33	14.38
		围栏封育	15.17	14.65	13.78	15.53	18.36	19.2	16.49	16.17
2003	柠条	无	11.45	11.33	10.67	14.56	16.76	16.27	14.48	13.65
		围栏封育	14.36	14.01	13.56	14.98	17.16	18.46	16.33	15.55
	沙棘	无	11.97	11.87	10.77	16.98	18.37	18.96	15.83	14.96
		围栏封育	15.01	14.98	13.86	17.48	19.95	19.67	16.98	16.85

注:2001年秋季开始实施围栏封育。

## 3 结 论

(1) 晋西北黄土丘陵沟壑区典型灌草植被土壤水分年内变化,受降雨和蒸发散的年内变化控制,以6月中旬至7月中旬期间达最低点为界,可明显地分为干湿两季,而季内无规律性变化。土壤水分的年过程呈现低—高一低的趋势。据此可将其分为4个阶段:春季土壤水分缓慢蒸发期(4月初至5月底);旱季土壤水分严重亏缺期(6月初至7月初);雨季土壤水分补偿期(7月初至9月底);冬春土壤水分相对稳定期(10月初至次年3月底)。

(2) 根据标准差和变异系数可将土壤水分垂直层次划分为速变层、活跃层和次活跃层,而且土壤水分层次剖面与降雨年型有关。平水年活跃层较深(20~100 cm),速变层较浅(0~20 cm);而干旱年速变层较深(0~50 cm),活跃层变浅(50~100 cm)。

(3) 土壤水分随土层深度增加而递减。灌草地、灌木林地的水分垂直下降趋势较平缓,而荒坡地最快。由此可见,从调节土壤水分功能来看,灌草地、灌木林地调节能力最好,而荒坡地最差。

(4) 不同灌草植被的土壤含水量从大到小的排列顺序依次为:柠条与紫花苜蓿、沙棘、柠条、紫花苜

藎、马铃薯、荒地。灌草复合植被具有较好的蓄水、保水、调节土壤水分的作用,灌木林地、草地次之,农地居中,裸地最差。因此,在该地区应大力发展灌草复合植被或灌木林以调节改善土壤水分状况。

(5) 无论干旱年,还是平水年,封育区与非封育区的土壤水分动态存在着明显的差异,封育区灌木植被的土壤水分状况优于非封育区。

因此,对于环境条件较差的生态区,我们应该采取封造育相结合的植被建设技术,以加速荒山植被的快速恢复与重建,提高物种多样性,形成人工—天然复合植被类型。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 《土壤水分测定方法》编写组编著. 土壤水分测定方法[M]. 北京:水利电力出版社,1986.
- [2] 黄忠怒. 波谱分析方法及其在水文气象中的应用[M]. 北京:气象出版社,1983. 37—46.
- [3] 中科院西北水土保持研究所. 农林草地水分论文专集[J]. 水土保持通报,1990,10(6).
- [4] 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.
- [5] 杨新民. 干旱地区人工林地土壤水分平衡的探讨[J]. 水土保持通报,1998,5(3):26—32.
- [6] 韩仕峰. 黄土高原土壤水分特征[J]. 水土保持通报,

- 1996,10(1):9—17.
- [7] 寇志强. 内蒙古西部黄土丘陵区土壤水分动态初探[J]. 水土保持通报,1999,6(3):21—26.
- [8] 杨文志,韩仕峰. 黄土丘陵地区人工林草地的土壤水分生态环境[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1985.
- [9] 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.
- [10] 李德广. 旱地土壤水分的特征阶段、垂直类型与土壤水分预报[J]. 水土保持通报,1999,10(1):36—42.
- [11] 周择福. 太行山低山区不同植被条件下土壤水分动态变化规律的研究[M]. 北京:北京林业大学出版社,1994.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 史敏华,王棣,等. 太行山石灰岩山地封山区植被水土保持功能的研究[J]. 北京林业大学学报,1996,18(3):93—97.
- [16] 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.

(上接第5页)

在水分条件相对较好的地区,可以选择俄罗斯沙棘,一方面可有效地利用土壤水分,同时获得比较好的经济效益;在土壤水分条件较差的地区,可以选择适应性强、蒸腾速率较低的土著种或沙棘雄株。从水土保持和生态系统恢复和重建的角度来讲,可以考虑先引进土著种改善生态环境,当土壤水分条件较好时再大面积栽培俄罗斯沙棘。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 罗晶,张玉圣,陈引珍. 沙棘生态功能的再认识[J]. 中国水土保持,1990(12):28—31.
- [2] 孟雷,李磊鑫,陈温福,等. 水分胁迫对水稻叶片气孔密度、大小及净光合速率的影响[J]. 沈阳农业大学学报,1999,30(5):475—480.
- [3] 李岩,潘海春,李德全. 土壤干旱条件下玉米叶片内源激素含量及光合作用特点[J]. 植物生理学报,2000,26(4):301—305.
- [4] Cornic G, Briantais J M. Partitioning of photoinhibition electron CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> reduction in C<sub>3</sub> leaf at different CO<sub>2</sub> concentrations and during drought stress[J]. Plant, 1991, 183: 178—184.

- [5] Chaves M M. Effects of water deficits on carbon assimilation[J]. J Exp Bot, 1991, 42: 1—4.
- [6] Saccardy K, Cornic G, Brulfert J, et al. Effect of drought stress on net CO<sub>2</sub> uptake by Zea leaves[J]. Plant, 1999, 589—595.
- [7] 毛明策,郭东伟,梁银丽. 水分处理对油菜叶位光合速率、蒸腾速率及水分利用效率的影响[J]. 中国生态农业学报,2001,9(1):49—51.
- [8] 郭连生,田有亮. 4种针叶幼树光合速率、蒸腾速率与土壤含水量的关系及其抗旱性研究[J]. 应用生态学报,1994,5(1):32—36.
- [9] 马成仓,高玉葆,王金龙,等. 小叶锦鸡儿和狭叶锦鸡儿的光合特性及保护酶系统比较[J]. 生态学报,2004,24(8):1594—1601.
- [10] 杨劭,李国强,曹云. 皇甫川流域中国沙棘光合特征分析[J]. 水土保持学报,2004,18(2):1—4.
- [11] 阮成江,李代琼. 半干旱黄土丘陵区沙棘的光合特性及其影响因子[J]. 植物资源与环境学报,2000(1):16—21.
- [12] 阮成江,李代琼. 半干旱黄土丘陵区沙棘气孔导度及其影响因子[J]. 西北植物学报,2001,21(6):1078—1084.