

文章编号:1006 - 7639(2004) - 04 - 0051 - 05

# 黄土高原芨芨草土壤水分特征及水分利用效率研究

王 静<sup>1</sup>,程积民<sup>2</sup>,万惠娥<sup>2</sup>,方 锋<sup>3</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,甘肃 兰州 730020;

2. 西北农林科技大学,中国科学院水利部水土保持研究所,陕西 杨凌 712100;3. 兰州中心气象台,甘肃 兰州 730020)

**摘 要:**通过对芨芨草草地土壤水分状况及芨芨草水分利用情况进行初步分析,结果表明:芨芨草草地土壤贮水量呈明显的季节变化;土壤剖面可依含水量变化分为 3 层,即速变层、活跃层和稳定层。芨芨草群体水分利用效率以 6 月份为最高,而单叶水分利用效率 7 月份最高,具有较强的抗旱性。

**关键词:**芨芨草;土壤水分;群体;单叶;水分利用效率

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

## 引 言

芨芨草(*Achnatherum splendens*)为多年生草本植物,属于禾本科,芨芨草属。草秆坚硬,直立丛生,植株高大,株高可达 90~220 cm,直径 3~5 mm。根系发达,须根较多。芨芨草冬季残留性能好,是牲畜的一种御寒屏障。芨芨草耐旱、耐寒、耐盐碱、固沙保土且营养品质好,是一种优良的水土保持牧草<sup>[1]</sup>。黄土高原地处西北部的干旱和半干旱地区,在这一地区影响牧草生长发育的主要气象因子是降水。牧草生长的主要供水来源也依赖于自然降水,而自然降水对牧草的水分供应,又是依附于土壤来调节的。因此,研究草地土壤水分动态规律以及牧草对土壤水分的利用情况,对于合理灌溉、提高牧草生产潜力具有重要的作用。

植物水分利用效率原指植物消耗单位水量所产生的同化量<sup>[2]</sup>,随着研究的深入,水分利用效率的研究也逐渐从植物群体、个体向单叶、细胞等多层次发展。目前,主要集中于群体和单叶水平上研究植物的水分利用效率,即不仅研究整个生育期用水情况,也深入研究植物日用水情况。本文就试图从这两个层次研究芨芨草的水分利用情况。

## 1 材料与方 法

### 1.1 自然概况

试验在中国科学院宁夏固原生态试验站内进

行。该区海拔 1 750 m,年平均气温 6~8℃,最高气温为 33℃(7 月),最低气温为 -15℃,全年无霜期为 110~140 d,年均积温为 3 000~3 200℃,干燥度 1.2~1.6,年降水量 300~500 mm,分布不均匀,主要集中于 7、8 月。该区土壤为细黄土,有机质含量仅 0.5%~0.7%,全氮则在 0.05%以下,土层较薄,肥力低下,保肥能力较差<sup>[3]</sup>。

供试材料为生态站内 5 a 生人工芨芨草草地。

### 1.2 测定项目及试验方法

#### 1.2.1 土壤水分测定

试验前测定表层土壤的容重(环刀法),从 3 月份开始每月下旬测定芨芨草种群的土壤含水量。取样深度 200 cm,0~100 cm 每 10 cm 取样一层,100~200 cm 每 20 cm 取样一层。称湿重后,在 105℃恒温下烘 8 h 至恒重,称干重,计算土壤含水量。

土壤贮水量表达式<sup>[4]</sup>为: $S_w = d \times r \times w / 10$ ,式中  $S_w$  为土壤贮水量(mm), $d$  为土层厚度(cm), $r$  为土壤容重( $g/cm^3$ ), $w$  为土壤含水量(%)。

#### 1.2.2 植物水分利用状况

每月随机选取 1 丛,先称取鲜重,然后烘干称重,计算其生物量。降水量采用当地气象资料。

从 6 月芨芨草生长盛期,每月选取晴朗无风标准日<sup>[5~8]</sup>,对正常生长的植株从上部数第 2 片完全展开叶采用 ADC 便携式光合仪测定生理指标,重复 3~5 次。每次测定均从早 8 时开始,至晚 18 时结束,每隔 2 h 测定 1 次,最后用平均值表征各项生理

收稿日期:2004 - 10 - 13;改回日期:2004 - 11 - 02

作者简介:王静(1978 - ),女,陕西汉中,助理研究员,硕士,主要研究方向为草地生态学。

指标。

植物耗水量用农田水分平衡法计算,简化的水分平衡方程式<sup>[9]</sup>为:  $ET = P - W$ , 式中  $ET$  为作物耗水量,  $P$  为降水量,  $W$  为时段末与时段初土壤储水量之差(单位均为 mm)。

植物群体水分利用效率为植物消耗单位水量生产出的经济产量或生物产量,其表达式为:  $WUE = Y/ET$ , 式中  $WUE$  为植物水分利用效率( $kg/mm \cdot hm^2$ ),  $Y$  为生物产量( $kg/hm^2$ ),  $ET$  为生育期内耗水量(mm)。

单叶水分利用效率为光合速率和蒸腾速率之比,其表达式<sup>[10]</sup>为  $WUE = Pn/Tr$ 。式中  $Pn$  为光合速率( $\mu mol/m^2s$ ),  $Tr$  为蒸腾速率( $mmol/m^2s$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤水分变化动态

草地土壤含水量和贮水量的变化主要受气候条件和牧草生长情况的影响。气候条件主要指降水量、大气温度、光照强度等;另外牧草地上、地下部分的生长状况及植物本身对降水的拦截、吸收和土壤物化性质对降水的入渗、蓄存等方面也显著影响土壤的贮水量。

芨芨草草地土壤含水量的垂直变化见图1。从图上可以明显看出,土壤剖面水分分布在不同季节虽有差异,但变化趋势基本一致,大体可以分为3层:速变层(0~20 cm);活跃层(20~120 cm);稳定层(120~200 cm)。

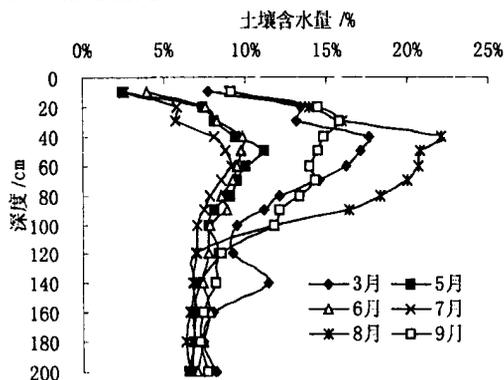


图1 芨芨草地土壤含水量的垂直变化

Fig. 1 Soil moisture profile in *Achnatherum splendens* grassland

速变层。该层直接接触大气,主要靠大气温、湿度及天然降水调节土壤水分。表层土壤含水量与降水关系密切,随着降水的增减而增减,同时受光照和

大气温度的影响,在光照较强、温度较高时,土壤表面蒸发加剧,土壤水分严重消耗,土壤含水量较低,对牧草生长作用不大。

活跃层。该层既受到降水的向下入渗,又受到下层水分向上蒸发运输,是土壤下层水分和上层水分运动的交界面,而且因为没有和大气接触,所以没有受到大气温、湿方面的直接影响。芨芨草根系主要分布在该层,是植物根系的主要吸收层,该层土壤水分变化受气象因子和牧草生长的共同影响。

稳定层。该层同大气降水与温度间的关系较小,而且由于芨芨草根系在1 m以下分布极少,根系消耗水分很少。入渗降水首先在速变层和活跃层分配,到达该层量很少,加之地下水较深,所以基本不受地下水影响。因此,整个生长季土壤含水量变化不大。

芨芨草草地土壤贮水量季节变化见图2,同时结合表1,经过分析,芨芨草整个生育期土壤贮水量变化可以划分为3个阶段。

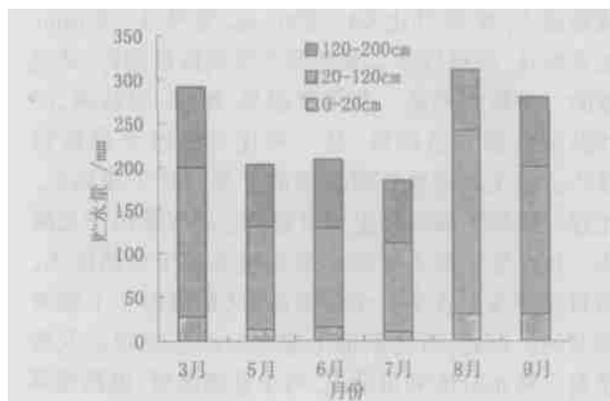


图2 芨芨草地土壤贮水量的季节变化

Fig. 2 Seasonal change of soil water storage capacity of *Achnatherum splendens* grassland

土壤水分缓慢蒸发期。3月份土壤刚刚开始解冻,经过了一个冬天的蓄水保墒阶段,土壤贮水量较高,这一时期降水38.2 mm,但由于该时期牧草刚刚返青,叶面积系数小,通过叶片蒸腾耗水较小,并且气温低,光照弱,风速小,大气蒸发力较小,因此土壤表面蒸发也不强,土壤水分消耗不大,土壤贮水量较高,达到了291.3 mm。

土壤水分大量损耗期。5月初牧草进入分蘖期,地上和地下部分都开始旺盛生长,土壤内的水分被根系吸收,向上输送,通过叶表面大量蒸腾散失。但是这一时期降水较少,风速较大,气温也逐渐升高,地表尚没有形成较大的植被覆盖面,加上土壤中

大量的水分同时又通过地表蒸发散失,没有大量降水的补充,因此,此时的土壤贮水量迅速下降,仅为 203.5 mm,从图 1 也可以看出这一时期表层 10 cm 土壤含水量由 7.7% 减少到 2.5%,减少了 67.5%。6 月芨芨草进入拔节期,叶片数也较 5 月增长了几倍,地上地下生长旺盛,土壤中水分主要通过叶面被大量蒸腾散失,但这一时期降水较多,达到了 82.1 mm,加上芨芨草已形成了较大的覆盖面,地面蒸发较弱,土壤贮水量略有回升。7 月芨芨草进入开花期,同时不断从根基分蘖出新枝,营养生长加上生殖生长,土壤水分被严重消耗,7 月份降水量比较少为 28.1 mm,这一时期土壤贮水量仅为 183.9 mm。

土壤水分恢复期。8 月末虽然还继续有新枝生成,但生长已逐渐减慢,加之这一时期降水量多,达到了 186.1 mm,常以暴雨形式出现,观测期间一次降水甚至超过了 50 mm,这一时期的降水充足,降水强度较大,对土壤水分有充分的补给作用,且通过地表向下入渗,对土壤蓄水保墒起重要作用。这一时期土壤贮水量大大增加,达到了 310.8 mm。9 月芨芨草进入枯黄期,地上部分生长几乎停止,叶片变黄,此时气温下降,光照减弱,地表蒸发减小,土壤水分消耗较小,但由于这一时期降水量小,仅为 35.4 mm,所以土壤贮水量较 8 月份略有降低,为 279.6 mm。

## 2.2 芨芨草生育期水分利用情况

### 2.2.1 群体水分利用效率

表 1 芨芨草生育期水分利用情况

Tab. 1 Water utilization in growth period of *Achnatherum splendens*

项 目	3 月	4~5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
降水量(mm)	38.2	50.0	82.1	28.1	186.1	35.4
贮水量(mm)	291.3	203.5	208.4	183.9	310.8	279.6
耗水量(mm)		137.8	77.2	52.7	59.1	
生物产量 (kg/hm <sup>2</sup> )		999.2	5636.7	7439.5	9633.8	
水分利用效率 (kg/mm·hm <sup>2</sup> )		7.3	60.1	34.2	37.1	

芨芨草生育期降水及水分利用情况见表 1。整个生育期共降水 346.3 mm,主要集中在 8 月份,该月的降水量达到了整个生育期总降水量的 53.7%。土壤贮水量在生育期变化较大,增减幅度达到了 -87.81~127.0 mm,生育期末土壤贮水量相比初期增加了 19.6 mm,从整个生育期看,芨芨草耗水量同降水量基本持平,但是从各生育时期看,其耗水量

和降水量是不同步的。生长初期和中期,此时主要是叶生物量占很大的比例,生长旺盛,蒸腾较强,但是此时降水较少,芨芨草不得利用土壤中的水分,土壤贮水量急剧减少,土壤干旱较为严重,直接影响牧草的生长。生长后期,植物和土壤水分消耗逐渐减少,再加上后期降水较为丰富,土壤水分得到恢复,缓解了土壤干旱,使牧草生长进入高峰期,该月牧草产量达到了最大值。整个生育期各时段的群体水分利用效率也有显著差异,群体水分利用效率在 6 月份最高,这同牛海山等在其它牧草上的研究结果<sup>[11]</sup>较为相似。从这也说明了芨芨草生长初期和中期的天然降水无法完全满足芨芨草的生长需要,该时期适时补水有助于牧草的高产。

### 2.2.2 单叶水分利用效率

不同时期芨芨草单叶水分利用效率及其相关影响因子见图 2、3、4、5。单叶水分利用效率从气孔水平反映植物对水分的利用状况,能较深入的研究植物在一天当中对水分的利用情况。

从图 6 可以看出,同群体水分利用效率结果有一定差异,芨芨草单叶水分利用效率在 7 月份最高,6 月居中,8 月份则比较低。单叶水分利用效率反映的主要是叶片蒸腾所引起的耗水,主要反映的是蒸腾耗水量。而群体水分利用效率中的耗水量即包括土壤蒸发和植物蒸腾耗水,结合单叶水分利用效率考虑,可以认为,在 7 月份,虽然降水较少,但是植物本身对于环境的抗旱能力促使植物充分利用降水和土壤有限水分,减少了土壤的无效消耗,从这一点也充分说明了芨芨草本身具有较高的抗旱性。

另外从影响单叶水分利用效率的其它生理特征也可以揭示芨芨草对水分的积极利用情况(图 3、4、5)。光合速率反映植物吸收 CO<sub>2</sub> 的量,蒸腾速率则反映水分向外扩散的能力,其气体交换均通过气孔进行,植物通过气孔调节水分散失以适应环境的变化。相比 6 月和 8 月,由于 7 月降水少,干旱加剧,芨芨草光合速率、蒸腾速率及气孔导度等生理指标均受到气孔调节,明显下降,从而影响单叶水分利用效率,其中尤以蒸腾速率和气孔导度对干旱环境反应最为敏感,限制了水分的散失,使有限的水分更多用于干物质的生成,提高了单叶水分利用效率,从这也可以说明芨芨草适应环境能力强,具有较强的抗旱性。8 月份虽然降水较多,耗水量也较 7 月份高,但是其单叶水分利用效率较低,较多的水分通过土壤蒸发散失了。

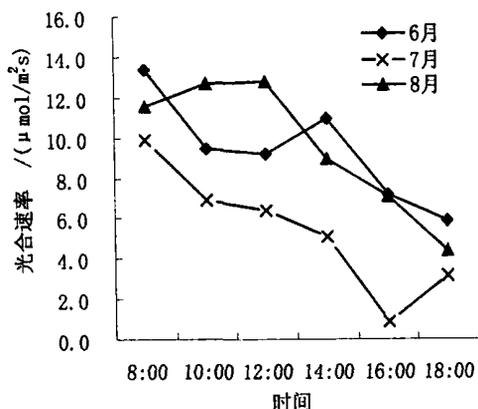


图3 不同时期芨芨草光合速率

Fig.3 Photosynthetic rate in different month

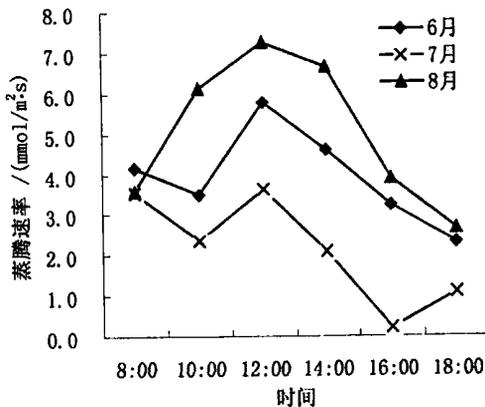


图4 不同时期芨芨草蒸腾速率

Fig.4 Transpiration rate in different month

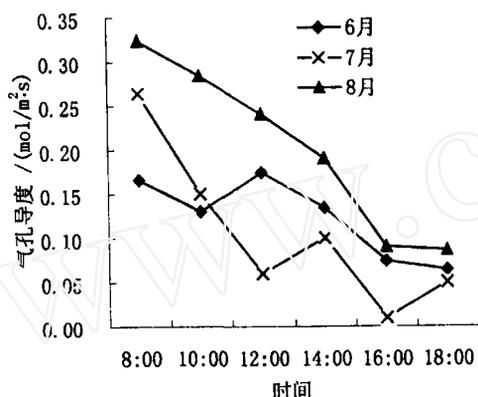


图5 不同时期芨芨草气孔导度

Fig.5 Stomatal conductance in different period

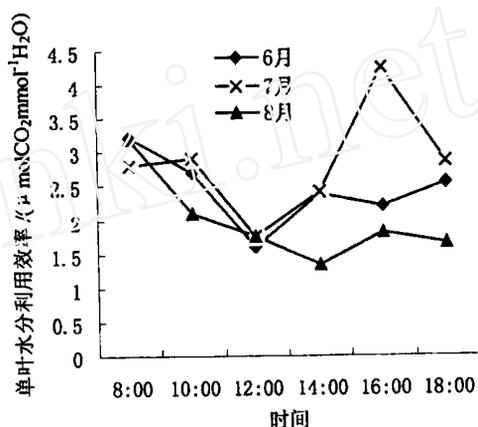


图6 不同时期芨芨草单叶水分利用效率

Fig.6 Simple leaf water use efficiency in different period

### 3 结论

(1) 芨芨草草地土壤水分变化动态具有明显的特征,其土壤剖面依据土壤含水量的变化可分为速变层、活跃层和稳定层;土壤贮水量存在明显的季节变化,可依次划分为土壤水分缓慢蒸发期、大量损耗期及土壤水分恢复期。

(2) 芨芨草整个生育期耗水量同降水量基本持平,但降水量分布严重不均,其群体水分利用效率在6月份最高,达到  $60.1 \text{ kg/mm} \cdot \text{hm}^2$ ,7月份降水较少,天然降水无法满足生育期耗水,须从土壤中吸收水分以满足其生长需要。

(3) 通过气孔调节水分散失量,芨芨草叶片能充分利用水分,其单叶水分利用效率在较为干旱的7月份最高,反映了较强的抗旱性。

#### 参考文献:

[1] 程积民. 优良水土保持牧草 - 芨芨草[J]. 水土保持学报, 2000,

14(4):117 - 117.

- [2] 黄占斌,山仑. 水分利用效率及其生理生态机理研究进展[J]. 生态农业研究, 1998, 6(4): 19 - 23.
- [3] 邹厚远,陈国良. 固原县自然条件概况[J]. 水土保持研究, 1998, 5(1): 2 - 6.
- [4] 廖允成,韩思明,温晓霞. 黄土台塬旱地小麦土壤水分特征及水分利用效率研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 55 - 58.
- [5] 徐炳成,山仑,黄占斌,等. 黄土丘陵区柳枝稷光合生理生态特性的初步研究[J]. 西北植物学报, 2001, 21(4): 625 - 630.
- [6] 崔晓勇,杜占池,王艳芬. 内蒙古半干旱草原区沙地植物群落光合特征的动态研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 541 - 546.
- [7] 周海燕. 丘间滩地糜子和玉米光合蒸腾特性与内外影响因素的关系[J]. 中国沙漠, 1998, 18(2): 154 - 159.
- [8] 张景光,周海燕,王新平,等. 沙坡头地区一年生植物的生理生态特性研究[J]. 中国沙漠, 2002, 22(4): 350 - 353.
- [9] 张喜英,陈素英,裴冬,等. 秸秆覆盖下的夏玉米蒸散、水分利用效率和作物系数的变化[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 583 - 592.

- [10] 梁宗锁,康绍忠,李新有.有限供水对夏玉米产量及其水分利用效率的影响[J].西北植物学报,1995,15(1):26-31.
- [11] 牛海山,旭日,宋炳煜.羊草种群的水分利用动态[J].草地学报,2000,8(3):226-232.

## Study on Soil Moisture Characteristics and Water Use Efficiency of *Achnatherum splendens* Grassland in Loess Plateau

WANG Jing<sup>1</sup>, CHENG Ji - min<sup>2</sup>, WAN Hui - e<sup>2</sup>, FANG Feng<sup>3</sup>

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster, Lanzhou 730020, China; 2. Northwest Sci - Tech University of Agriculture & Forestry, Institute of Soil and Water Conservation of CAS, Yangling 712100, Shaanxi China; 3. Lanzhou Center Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** Soil moisture characteristics and water use efficiency of *Achnatherum splendens* grassland were analyzed. The results show that soil water storage capacity has obvious seasonal change and soil profile can be divided into three layers, fast - change, active and stable layer. Community water use efficiency is highest in June, while simple leaf water use efficiency in July.

**Key words:** *Achnatherum splendens*; soil moisture characteristics; leaf; community; water use efficiency

(上接第 45 页)

## A Case Study on Microphysical Structure of Stratus during A Cold Front in Spring

LI Zhao - rong, LI Rong - qing, CHEN Tian - yu, LI Bao - zi, YANG Zeng - zi, PANG Chao - yun

(Gansu Provincial Weather Modification Office, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** Based on the data measured by PMS and GPS during a cold front process on April 24, 2002, the horizontal and vertical distributions and spectrum characteristics of microphysical quantities of cloud drop and ice crystal were analyzed in this paper. And the optimum parameters of simulated functions were given out, the possible microphysical mechanism which involved were discussed. On these facts, the potential ability of enhancement rainfall was discussed and estimated.

**Key words:** particle density; particle spectra type; vertical distribution; N order type function