

- 2 Asada K, Takahashi M. Production and scavenging of active oxygen in photosynthesis. In: *Photosynthesis*. Kyle D J, Osmond C B, Arntzen C J, eds. Elsevier Amsterdam, 1987, 227~287
- 3 林植芳等. 水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶及脂质过氧化作用的关系. *植物学报*, 1984, **26**(6): 605~615
- 4 Moran J F, et al. Drought induces oxidative stress in pea plants. *Planta*, 1994, **194**: 346~356
- 5 Kalir A, Poniakoff-Mayber A. Changes in activity of malate dehydrogenase, catalase, peroxidase and superoxide dismutase in leaves of *Halimione protulacoides* exposed to high sodium chloride concentration. *Ann Bot*, 1981, **47**: 75~85
- 6 Tanaka K, Sugahara K. Role of superoxide dismutase in defense against SO₂ toxicity and increase in superoxide dismutase activity with SO₂ fumigation. *Plant Cell Physiol*, 1980, **21**: 601~611
- 7 Sakaki T, et al. Breakdown of photosynthetic pigments and lipid in spinach leaves with ozone fumigation: Role of active oxygens. *Physiol Plant*, 1983, **59**: 28~34
- 8 Elstner E F. Oxygen activation and oxygen toxicity. *Ann Rev Plant Physiol*, 1982, **33**: 73~96
- 9 Kong G H, et al. The impacts of human activities in the forest and environment in Dinghushan Biosphere Reserve and our countmeasures. In: *Proceedings of the International Conference on Natural Resources Management and Conservation in Chinese Tropical and Subtropical Region*. Li X F, Chen C Y, eds. China Science and Technology Press, Beijing, China, 1993. 55~67
- 10 曾韶西, 王以柔. 低温胁迫对黄瓜子叶抗坏血酸过氧化物酶活性和谷胱甘肽含量的影响. *植物生理学报*, 1990, **16**(1): 37~42
- 11 Aebi H. Catalase in vitro. *Methods Enzymol*, 1984, **105**: 121~126
- 12 Chrispeels M J, Boulter D. Control of storage protein metabolism in the cotyledons of germinating mung beans: Role of endopeptidase. *Plant Physiol*, 1975, **55**: 1031~1037
- 13 Mitsubashi W, et al. Influence of axis removal on amino-, carboxy- and endopeptidase activities in cotyledons of germinating *Vigna mungo* seeds. *Plant Cell Physiol*, 1984, **25**(4): 547~554
- 14 Floyd R A, Lewis C A. Hydroxyl free radical formation from hydrogen peroxide by ferrous iron-nucleotide complexes. *Biochemistry*, 1983, **22**: 2645~2649
- 15 Halliwell B. *Chloroplast Metabolism*. Clarendon Press, Oxford, 1981. 179
- 16 郑荣梁等. 兰州市大气飘尘中自由基浓度动态规律的研究. *兰州大学学报*, 1985, **21**(3): 94~98
- 17 Tanaka K, et al. Accumulation of hydrogen peroxide in chloroplasts of SO₂-fumigated spinach leaves. *Plant Cell Physiol*, 1982, **23**(6): 999~1007
- 18 Storey R D, Wagner F W. Plant proteases: A need for uniformity. *Phytochemistry*, 1986, **25**(12): 2701~2709
- 19 梅传生等. 水稻叶片衰老过程中氨基酶活性的变化. *植物生理学报*, 1987, **13**(1): 58~63
- 20 Casano L M, et al. Oxygen- and light-induced proteolysis in isolated oat chloroplasts. *Plant Cell Physiol*, 1990, **31**(3): 377~382
- 21 Davies K J A. Protein damage and degradation by oxygen radicals. *J Biol Chem*, 1987, **262**(20): 9895~9901

松嫩草原两种碱茅群落水分生态的比较研究¹王仁忠 高琼^{**} 李建东

1 东北师范大学, 国家草地生态工程实验室, 长春, 130024

(** 中国科学院植物研究所, 北京, 100043)

Q 948-3

S 812

摘要 采用自行设计的蒸散仪和加拿大产的自动气象设备测定了松嫩草原星草群落和朝鲜碱茅群落的蒸散、蒸腾量及其环境因子, 分析结果表明, 同种环境条件下, 两种碱茅群落及不同环境条件下同种群落的蒸散、蒸腾速率差异显著, 两种群落蒸散、蒸腾速率与太阳辐射强度、空气温度、相对湿度、风速等因子紧密相关, 其中太阳辐射强度起主导作用, 生长季降雨和土壤含水量在两种碱茅群落水分循环与平衡的过程中起重要的调节作用。在1992年5~8月的生长季中, 除降雨量较大的7月份两种碱茅群落水分盈余外, 其它月份水分均亏缺。在整个生长季中星草和朝鲜碱茅群落的蒸散耗水量(分别为235.0mm和208.1mm)均大于同期降雨量(159.7mm), 其结果是两种群落水分亏缺严重, 其中星草群落水分亏缺较多。

关键词: 松嫩草原, 两种碱茅群落, 蒸散、蒸腾速率, 水分生态。

THE COMPARISON STUDY ON WATER ECOLOGY OF TWO
Puccinellia COMMUNITIES IN SONGNEN GRASSLANDWang Renzhong Gao Qiong^{**} Li Jiandong

1 National Laboratory of Grassland Ecological Engineering, Northeast

Normal University, Changchun, 130024, China

(** Institute of Botany, Academia Sinica, Beijing, 100093, China)

Abstract Evapotranspiration (ET) and transpiration (Tr) of *Puccinellia tenuiflora* and *Puccinellia chinamopensis* communities were recorded by using artificial lysimeters in growing season in Songnen grassland, together with climate data, such as air temperature, air relative humidity, radiation, wind speed, soil moisture and canopy water storage. The results show that the ET and Tr of each community varied significantly in different months, the ET and Tr of two communities were different in the same month. The diurnal variations of ET and Tr had strong relations with radiation, air temperature, air relative humidity and wind speed. Solar radiation played a leading role. The precipitation, ET , soil water storage and canopy water storage were main parts of soil-vegetation-air water flow system at Songnen grassland. During growing season, the water deficits were very serious in May, June and August, but the rainfall was much more than community evapotranspiration in

* 国家自然科学基金资助重大项目。

收稿日期:1995-11-17, 修改稿收到日期:1996-09-05。

July. Owing to the precipitation was much less than *ET* in the whole growing season, water deficits were very serious in two *Puccinellia* communities in 1992.

Key words: evapotranspiration and transpiration, water ecology, two *puccinellia* communities, Songnen grassland.

星星草(*Puccinellia tenuiflora*)和朝鲜碱茅(*Puccinellia chinampoensis*)是碱茅属的两种植物,主要分布于低湿盐碱地和碱湖周围的低湿地上。这两种植物是优质盐生牧草,可以人工种植改良盐碱地。目前在西北、华北水分充足地区均有种植,取得了良好的生态效益和经济效益^[1]。但是,由于松嫩草原盐碱地干旱缺水,是否应大面积种植碱茅一直是人们争论的焦点。因此这两种植物群落水分生态的研究成为重要的课题。

近年来,由于测试仪器和方法的不断进步,植物水分生态的研究不仅可以在个体水平上进行,而且可以在群落水平上测定。这些工作加深了人们对土壤-植被-大气系统水分循环过程的认识^[2-4]。我们在总结前人工作的基础上,于1992年采用自行设计的蒸散仪和加拿大产自动气象设备测定了松嫩草原星星草群落、朝鲜碱茅群落5~8月份的蒸散、蒸腾速率及空气温度、相对湿度、风速、太阳辐射等环境因子,比较研究了两种碱茅群落水分生态的特点,为进一步认识群落水分生态规律、制定合理的种植与灌溉计划提供依据。

1 自然概况和研究方法

本研究工作在吉林省长岭种马场东北师范大学草原生态研究站进行,其地理位置为:北纬 $44^{\circ}30' \sim 44^{\circ}45'$;东经 $120^{\circ}31' \sim 124^{\circ}10'$,该地区为松嫩草原南部低洼冲积平原,地势平坦,草地辽阔,海拔高度138~145m,水路网极不发达,属温带半湿润草原区气候^[5],年降水量300~500mm,且分布不均匀,年蒸发量为降水量的2~3倍,土壤基本为碱化草甸土,植被类型为羊草草甸,但有大片星星草和朝鲜碱茅群落分布。

1992年5~8月,选择地势平坦、土壤类型基本一致,植被密度和盖度基本均匀且有代表性的大片星星草群落和朝鲜碱茅群落进行了测定。

1.1 群落蒸散、蒸腾的测定 采用自制蒸散仪测定群落的蒸散、蒸腾速率,其基本工作原理见文献^[5]。该蒸散仪主要是由不锈钢架和透明有机玻璃板密闭构成的内壁为 $50 \times 50 \times 80\text{cm}^3$ 的立体箱(底部另加一圈5cm高的不锈钢板)。其中有两个相对的侧壁为带封闭胶条且可以开闭的侧门,底部为可以抽动的封闭底板。干、湿球温度计并列固定在蒸散仪顶部的有机玻璃板上。测定时将底板先抽掉,用蒸散仪将群落罩住,迅速把底部钢板压入土中,防止内部水汽外溢,同时记录时间及蒸散仪内干球和湿球温度计的值。每隔1min记录1次,记录5~6次,根据两组温度计算群落蒸散速率。测完后,迅速将蒸散仪两侧门打开,使其内外温度与湿度调节一致,同时将蒸散仪内植物齐地面剪下,放入蒸散仪内,迅速将侧门和底部密闭,记录时间和干、湿球温度计的值,每分钟记录一次,记录5~6次,据两组温度计算群落蒸腾速率。从8:00开始,每小时测1次,一般可在20~25min内将两种碱茅群落的蒸散、蒸腾速率测完。下午17:00结束。每月测定4~5d。

1.2 测完蒸散、蒸腾后,在剪草后的样方内,取0~30cm深层土样,测土壤含水率。

1.3 将测完蒸腾的草样放入塑料袋内,带回实验室分别测鲜重和干重,求植物含水率。

1.4 空气温度、相对湿度、太阳辐射、风速等因子取每小时的平均值,由自动气象设备自动测定。

2 结果与分析

2.1 两种碱茅群落蒸散、蒸腾速率的日变化

植物群落间蒸散、蒸腾速率的差异,是外在环境条件和构成群落的植物种的生理遗传因素相互作用的结果,同一环境条件下,群落蒸散、蒸腾的差异,则能够体现两群落间植物种的各自生理遗传特点。本实验各月份测定的结果表明,各时期晴天条件下两种碱茅群落的蒸散、蒸腾速率的日变化为双峰曲线。但不同时期同种碱茅群落及同时期两种碱茅群落的蒸散、蒸腾速率的日变化差异显著,这里以7、8月份全天晴无云条件下的两个日进程为例加以比较说明(图1),7月份星星草群落的最大蒸腾速率(3.106mm/d)和日

平均蒸腾速度(2.241mm/d)都显著高于8月份,8月份平均蒸腾速率下降了1/2。8月份星星草群落的最大蒸散速率却显著高于7月,但日平均蒸散速率差异不明显。7月朝鲜碱茅群落日平均蒸腾速率为2.135mm/d,8月下降到0.855mm/d。日平均蒸散速率(2.756mm/d)也显著高于8月(1.095mm/d)。7、8月份最大蒸散、蒸腾速率差异也非常明显。

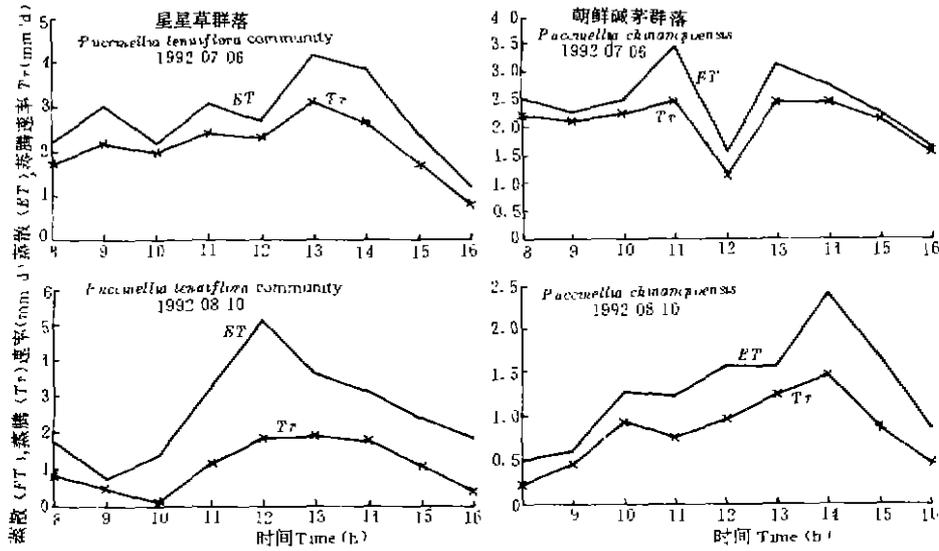


图1 两种碱茅群落蒸散、蒸腾速率的日变化

Fig.1 The diurnal variations of evapotranspiration (ET) and transpiration (Tr) of two *Puccinellia* communities

同一时期内,两种碱茅群落的蒸散、蒸腾速率的日变化差异很大。这里亦以7、8月份两个具代表性的日进程为例加以说明。7月份,起始测定时,星星草群落的蒸散、蒸腾速率都低于朝鲜碱茅群落,但其最大蒸散、蒸腾速率却分别比朝鲜碱茅高20%。两个群落日平均蒸散、蒸腾速率差异不大。8月份,起始测定时,星星草群落的蒸散、蒸腾速率分别比朝鲜碱茅高3倍和4倍。最大蒸散速率高2倍,但两群落日平均蒸腾速率差异不显著。

2.2 两种碱茅群落蒸腾速率与环境因子的关系

太阳辐射是影响植物蒸腾作用的主导因子。辐射强弱差别,不但影响植物的蒸腾作用,而且影响空气温度、相对湿度等环境因子。经相关分析表明,两种碱茅群落的蒸腾速率与太阳辐射的相关性达到显著水平(不包括午间低峰值), r 分别为0.694和0.670, $r^2 = 0.666$ 。由图2可以看出,上午随太阳辐射的增大,群落蒸腾速率逐渐增加,当辐射强度达到3049kJ/m²时,两群落蒸腾速率都出现一个高峰值,当辐射强度达到3231kJ/m²时,蒸腾速率均下降,出现低峰值,即所说的“午休”现象,朝鲜碱茅群落的低峰值远远小于星星草群落。午后,辐射强度稍降,蒸腾速率增大,并达到最大蒸腾速率。此时,星星草群落的

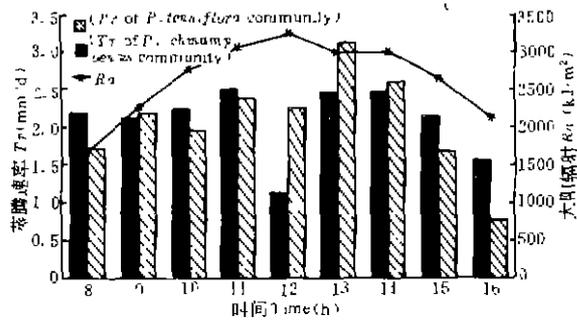


图2 两种碱茅群落蒸腾速率与太阳辐射的关系

Fig.2 Relationship between Tr of two *Puccinellia* communities and radiation (Ra)

蒸腾速率显著高于朝鲜碱茅群落。以后,随辐射强度下降,群落蒸腾速率逐渐下降。夜晚,蒸腾速率几乎为零。

空气温度、相对湿度是影响植物蒸腾作用的重要因子。自然条件下,这两个因子往往同时起作用,7、8月份气象资料分析表明,空气温度与相对湿度呈极显著负相关($r = -0.887, -0.981$)。由图3可见,上午随空气温度上升,相对湿度下降,群落蒸腾速率增加。下午,温度持续上升,相对湿度继续下降,但群落蒸腾速率却已随太阳辐射强度下降而下降了。

风速对群落蒸腾速率有着重要的影响。由图4可见,上午随风速的增加,群落蒸腾速率也增加。下午随风速的下降,群落蒸腾速率也逐渐下降,如排除群落“午休”时的低峰值,群落蒸腾速率与风速可达到显著正相关水平。

2.3 两种碱茅群落的水分平衡与循环

2.3.1 两种碱茅群落蒸散、蒸腾耗水量的季节动态

根据植物群落的蒸散、蒸腾速率可以计算出各阶段群落的蒸散耗水量和蒸腾耗水量^[4,5]。本文根据常杰等^[4]提出的群落蒸散、蒸腾耗水量计算方法计算两种碱茅群落在生长各月份的蒸散耗水量和蒸腾耗水量(表1)。从表1可以看出两种碱茅群落的蒸散耗水量和蒸腾耗水量均在6月份迅速增加,7月份达到最大,8月份下降。在各月份中星星草群落蒸散、蒸腾耗水量基本大于朝鲜碱茅群落。除降雨量较大的7月份两个群落水分平衡(降雨量-蒸散量)有盈余外,其它各月份水分亏缺显著,尤其以6月和8月更为严重。在7月份,两种碱茅群落蒸腾耗水量变化不大,但朝鲜碱茅群落水分盈余比星星草群落多9.1mm。在两个群落中,星星草群落水分亏缺大于朝鲜碱茅群落,这主要是由于星星草群落土壤水分含量大,蒸发耗水量(蒸散量-蒸腾量)大的缘故。5月份星星草群落蒸发耗水量是朝鲜碱茅群落的1.6倍,7、8月份约为1.3倍。各月份中星星草群落土壤水分含量显著高于朝鲜碱茅群落,4个月平均高1.35倍。

2.3.2 两种碱茅群落水分平衡与循环

松嫩草原地势平坦,草场海拔高度低,排水系统极不通畅,且降雨量又不高,地表径流很小或几乎没有。

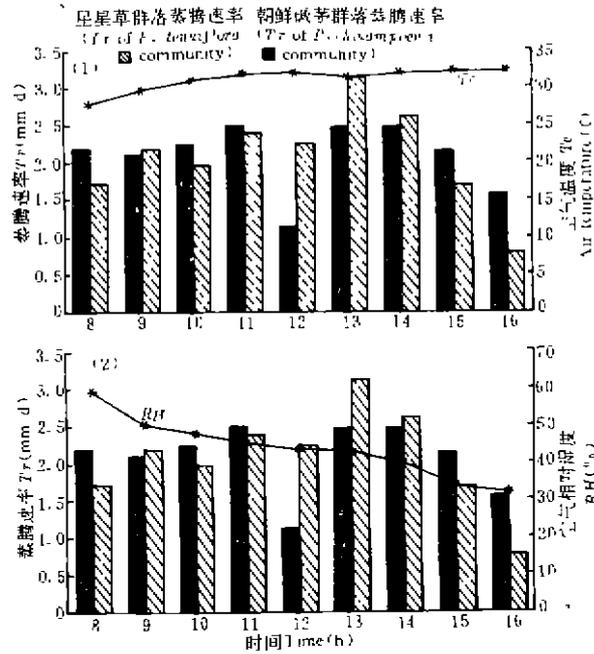


图3 (1)~(2)两种碱茅群落蒸腾速率与空气温度、空气相对湿度的关系

Fig. 3 The relationship of T_r of two *Puccinellia* communities with air temperature (T_c) and air relative humidity (RH)

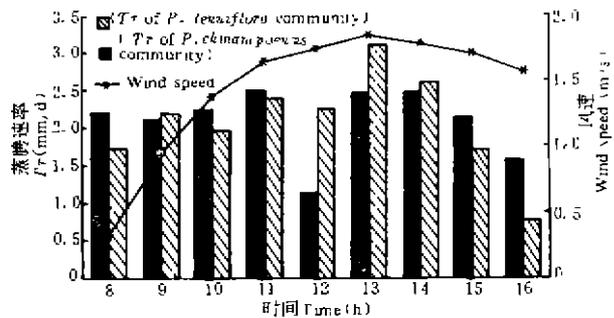


图4 两种碱茅群落蒸腾速率与风速的关系

Fig. 4 Relationship between T_r of two *Puccinellia* communities and wind speed

表1 两种碱茅群落水分平衡的季节动态

Table 1 Seasonal dynamic of water balance in two *Puccinellia* communities

月份 Month	降水 Precipitation (mm)	星星草群落 <i>P. tenuiflora</i> community				朝鲜碱茅群落 <i>P. chinamopensis</i> community			
		蒸散量 ET (mm)	蒸腾量 Tr (mm)	水分平衡 Water balance (mm)	土壤水分 Soil water (%)	蒸散量 ET (mm)	蒸腾量 Tr (mm)	水分平衡 Water balance (mm)	土壤水分 Soil water (%)
5	15.6	35.4*	26.5*	-19.8	21.2	30.8	26.7	-15.2	15.3
6	20.0	53.7	45.6	-33.7	23.4	32.8	43.7	-32.8	15.6
7	96.7	80.4	58.3	+10.3	22.5	77.3	55.4	+19.4	17.8
8	27.4	59.5	25.2	-32.1	23.8	47.2	21.0	-19.8	18.1
总和 Total	159.7	235.0	157.9	-75.3	—	208.1	146.8	-48.4	—

注:带*号部分的数据由东北师范大学生物系九二届毕业生程培恒、金坐协助完成,这里一并表示感谢。

由于该地区地下水之上有较厚的粘土层(20~60m),渗透性极差,所以地下水对浅根系(0~30cm)碱茅群落的水分影响较弱,因此在研究两种碱茅群落水分循环与平衡时,可以忽略地表径流和地下水的影响。图5表示群落水分循环的基本过程。根系吸收土壤水分,输送到群落的冠部和地表,经蒸腾、蒸发作用释放到大气中,大气水分经降水返回土壤。群落水分平衡式可表达为:

$$P = ET - \Delta W + \Delta B$$

其中, P ——降水量, ET ——蒸散耗水量, ΔW ——土壤含水量的增加量, ΔB ——群落生物储水量,根据1992年气象资料,5~8月共降雨159.7mm,同期星星草群落和朝鲜碱茅群落土壤平均含水率分别为22.6%和16.7%,群落生物储水率分别为67.1%和61.4%,星星草群落4个月总蒸散、蒸腾耗水量分别为235.0mm和157.9mm,朝鲜碱茅群落总蒸散、蒸腾耗水量分别为208.1mm和146.8mm,这一时期星星草群落水分亏缺75.3mm,朝鲜碱茅群落亏缺48.4mm,星星草群落水分亏缺比朝鲜碱茅群落严重。群落水分亏缺部分主要由土壤水分供应。星星草群落水分亏缺大的原因一是其土壤生境比朝鲜碱茅潮湿,4个月土壤蒸发量

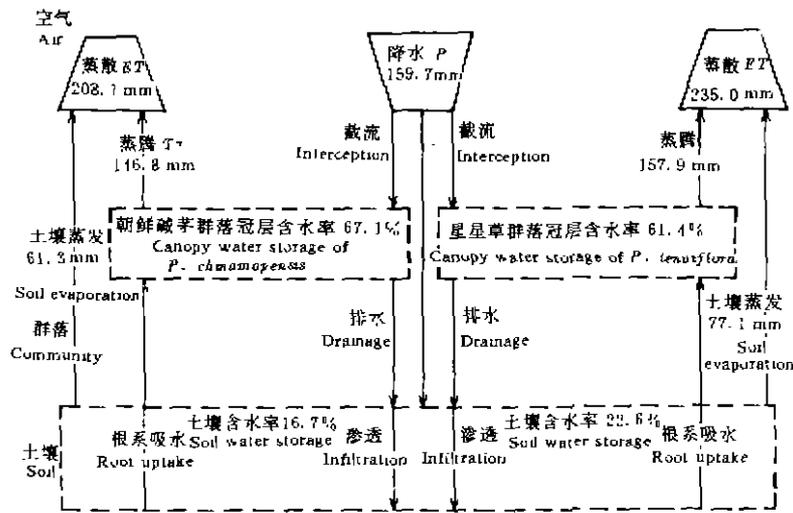


图5 松嫩草原两种碱茅群落水分循环图

Fig. 5 The water flow of two *Puccinellia* communities in Songnen grassland

(77.1mm)比朝鲜碱茅群落(61.3mm)大15.8mm,二是由于物种自身的生理特点决定的,星星草群落1个月的总蒸腾耗水量比朝鲜碱茅群落多11.1mm。

3 讨论

3.1 在生长季的全天晴天无云条件下,碱茅群落的蒸散、蒸腾速率的日进程呈双峰型曲线。生长季的不同时期,由于环境因子和植物自身生理特点的差异,同种碱茅群落的蒸腾速率差异显著,星星草和朝鲜碱茅群落7月份日平均蒸腾速率分别为8月份的2.3倍和2.5倍。同一时期,星星草群落的日平均蒸散、蒸腾速率基本大于朝鲜碱茅群落。两种碱茅群落蒸腾速率的日变化与太阳辐射强度达显著相关水平,同时也与空气温度、空气相对湿度及风速等因子密切相关。各环境因子也密切相关,太阳辐射强度与空气温度呈显著相关($r=0.720$),与空气相对湿度呈显著负相关($r=-0.722$)。因此环境因子对群落蒸散、蒸腾作用的影响是综合的。

3.2 降水、土壤水分含量、群落生物含水量及群落蒸散耗水量是土壤-植被-大气系统水分循环的主体,降水和土壤水分对群落水分平衡起重要的调节作用。在1992年5~8月的生长季中,除降雨量较大的7月份两种碱茅群落水分盈额外,其它月份均亏缺,尤其以6、8月份水分亏缺严重。在整个生长季中,星星草和朝鲜碱茅群落蒸散耗水量分别为235.0mm和208.1mm,大于同期降雨量(159.7mm),其结果使两种群落水分分别亏缺75.3mm和48.4mm。群落水分亏缺部分主要由土壤水分供应。大量土壤水分的丧失,一方面导致草地干旱化,另一方面也会制约草地生产量的提高。

3.3 星星草和朝鲜碱茅是分布于松嫩草原碱化草地上的两种重要盐生牧草,用实验方法直接测定这两种群落的耗水量,研究其水分生态状况对于制定大面积种植碱茅改良盐碱地的计划无疑是十分重要的。基于两种碱茅群落水分生态的研究结果,在比较干旱少雨的松嫩草原大面积种植碱茅改良盐碱地应因地制宜。在水源充足地区,这种方法切实可行。在两种碱茅中,由于朝鲜碱茅群落蒸散耗水量比星星草群落少,种植朝鲜碱茅对水资源的利用会更经济些。但在水资源匮乏地区,则不宜采用大面积种植碱茅改良盐碱地。

参 考 文 献

- 1 郑慧莹,李建东. 松嫩平原的草地植被及其利用保护. 北京: 科学出版社, 1993
- 2 李博等. 内蒙古呼伦贝尔盟草原区羊草、丛生禾草群落水分生态的初步研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1964, 2(1): 70~80
- 3 黄子琛, 蒲锦春. 临泽北部绿洲玉米生育期的蒸发蒸腾试验研究. 植物学报, 1991, 33(8): 635~641
- 4 常杰, 祝廷成. 羊草群落水分状况的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(3): 220~228
- 5 周淑贞等. 气象学与气候学实习. 北京: 人民教育出版社, 1979, 15~21
- 6 宋炳煜, 尹晓青. 草原植物群落蒸腾耗水量的测定方法比较. 草原生态系统研究, 1988, (2): 224~232