

毛乌素沙地南缘赖草蒸腾速率与叶水势关系的初步研究

王兴鹏¹, 文卿琳², 张维江³

(1. 塔里木大学农业工程学院;

2. 塔里木大学植物学院, 新疆 阿拉尔 843300; 3. 宁夏大学土木与水利工程学院, 银川 750021)

摘要:通过野外观测, 利用统计分析对毛乌素沙地南缘的赖草蒸腾速率与叶水势的关系进行了初步的研究。结果表明: 赖草蒸腾速率呈现双峰变化; 6 月份的水势值要明显大于 7 月份, 说明赖草 7 月份受到的干旱胁迫要大于 6 月份; 通过相关性分析, 建立了赖草蒸腾速率与叶水势间的一元回归模型。

关键词:沙地; 赖草; 蒸腾速率; 叶水势

中图分类号: Q945. 172

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)01-0135-03

Study of Physiological Characteristic of *A. dasystachys* and Influence Factor in the South of Maowusu Sandland

WANG Xing-peng¹, WEN Qing-lin², ZHANG Wei-jiang³

(1. Agriculture Engineering College, Tarim University;

2. Plant Technique College, Tarim University, Alar, Xinjing 843300, China;

3. Civil Engineering and Hydraulic Engineering College, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: An elementary study to the relation of transpiration rate and leaf water potential of *A. dasystachys* is made through field survey and statistical analysis. The result indicate: transpiration rate of *A. dasystachys* takes on two peak; the leaf water potential is in June more than in July, accounting for *A. dasystachys* is subjected to drought stress that is stronger in July than in June; through coherence analysis, the regression model of transpiration rate and leaf water potential of *A. dasystachys* is set up.

Key words: sandland; *A. dasystachys*; transpiration rate; leaf water potential

蒸腾耗水是植物被动吸水的主要动力, 它的存在对于水分的吸收、矿质营养的运输和植物自身体温的调节等方面有积极的意义。水势是反映叶片水分状况的一个指标, 植物各个部分的水势差是植物体内水分移动的动力。在土壤植株交界面, 植物与土壤的水势差使得植株从土壤中吸水。在植株大气交界面, 叶水势与大气的水势差引起了植物蒸腾失水。

赖草是本地区天然草场主要建群种之一, 也是本地区天然优良牧草之一, 研究其蒸腾速率与叶水势的特性及其关系对改良和恢复天然草场具有指导意义。

1 研究区状况

试验区地处毛乌素沙地南缘, 属典型中温带大陆气候, 四季分明, 春季多风、夏季炎热、秋季凉爽、冬季寒冷, 多年平均温度为 7.6℃, 10℃ 的有效积温为 2 944.9℃, 年平均日照时数 2 867.9 h, 无霜期 128 d。多年平均降雨量 280 mm, 年际变化大, 时空分布不均, 降雨量主要集中在 7~9 三个月, 占全年的 62%, 其中大部分以局地暴雨形式出现。多年平均水面蒸发量为 1 330 mm (E601 型), 旱季 (4~6 月) 干燥度为 3.1。

2 供试材料与方法

2.1 供试材料

试验区内有灌木 92 种, 其中半灌木 22 种。灌木是本区各种灌丛植被的主要类型, 以人工灌木林居多, 非灌木以赖草为主。据 2003 年 9 月份调查数据, 赖草的盖度为 34%, 株高 0.286 m, 地面生物量 247.78 g。

实验样本均采自样方内自然生长的赖草叶片。采取两片长势基本相同的叶片, 一片用于测定蒸腾速率, 另一片用于测定叶水势。在赖草全生育期内, 每次测定相隔 2 h, 全天候进行。

2.2 研究方法

2.2.1 蒸腾速率测定

蒸腾速率的测定采用快速离体称重法, 仪器为 JNA-1000 型精密扭力天平 (上海第二天平仪器厂制造)。将采来的新鲜赖草叶迅速称重 (W_a), 然后将叶片放在室外, 自然风干 5 min 后, 立即称重 (W_b), 利用下式计算植物蒸腾速率:

$$T_{\text{a}} = \frac{(W_a - W_b) \cdot 3600000}{W_a \cdot t}$$

式中: T_{a} ——蒸腾速率, mg/(h·g); W_a ——蒸腾前重, mg;

* 收稿日期: 2006-02-13

基金项目: 国家“十五”重点科技攻关项目 (项目编号: 2002BA517A)

作者简介: 王兴鹏 (1978-), 男, 宁夏吴忠人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事农田水利方面的教学和科研工作。

W_b ——蒸腾后重,mg; t ——蒸腾时间,s。

2.2.2 叶水势测定

叶水势的测定采用压力室法,测定样本的三个重复样,叶片剪下后,迅速装入压力室,测定并记录压至出现水膜时的平衡压值。

3 结果分析

3.1 蒸腾速率的日变化

蒸腾作用是植物叶片或茎上的气孔向外界扩散水分,消耗水分的主要途径,也是水分关系中起主导作用的最重要的过程。蒸腾消耗土壤中蓄存的水分,引起土壤干旱,造成干旱对植物的胁迫,限制植物生长。因而,这是干旱、半干旱区沙地中植物能够生存的最致命的环节^[1]。

从图 1~5 可以看出,虽然赖草各月的蒸腾速率日变化存在差异,但呈现出较明显的双峰型变化。各月蒸腾速率日变化的一般规律是:清晨赖草蒸腾速率都较低,随后在气温

和光照的双重作用下,植物蒸腾进入全天的第一个峰值点,由于午后光照太强,植物气孔会出现适当的关闭现象,这也是为保护叶面由于温度过高而受到灼伤的自然反应,因此,午后植物蒸腾会有“午休”现象发生,此时蒸腾速率会下降到一个较小的值。在避开光照最强的时刻后,植物蒸腾速率复又升高,出现全天的第二个峰值点,但该值不会高过前一个峰值点。赖草蒸腾速率出现峰值点时间域分别为早晨 10:00~中午 12:00 和午后 16:00~傍晚 18:00。各月份赖草日蒸腾速率峰值和平均蒸腾速率分别为 5 月份峰值为 2 424.24 mg/(g·h),1 473.68 mg/(g·h),均值为 952.02 mg/(g·h);6 月份峰值为 853.66 mg/(g·h),826.60 mg/(g·h),均值为 438.54 mg/(g·h);7 月份峰值为 1 028.97 mg/(g·h),480.0 mg/(g·h),均值为 424.98 mg/(g·h);8 月份峰值为 1 476.92 mg/(g·h),1 007.48 mg/(g·h),均值为 611.87 mg/(g·h);9 月份峰值为 1 485.15 mg/(g·h),902.82 mg/(g·h),均值为 674.94 mg/(g·h)。

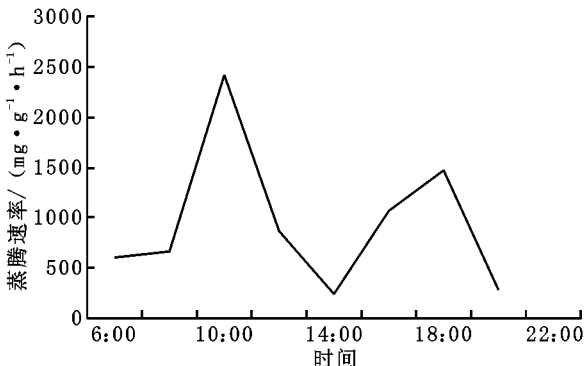


图 1 赖草 5 月份蒸腾速率

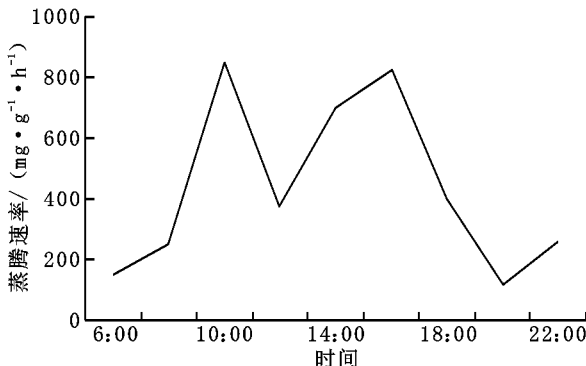


图 2 赖草 6 月份蒸腾速率

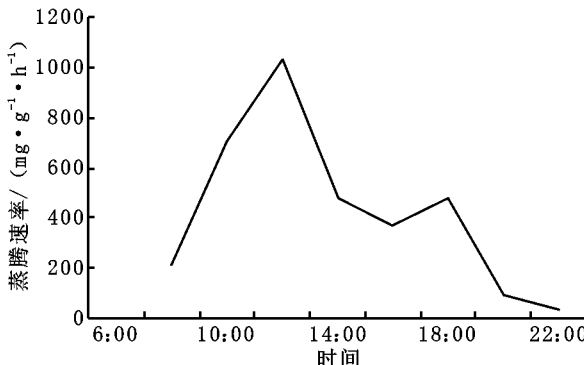


图 3 赖草 7 月份蒸腾速率

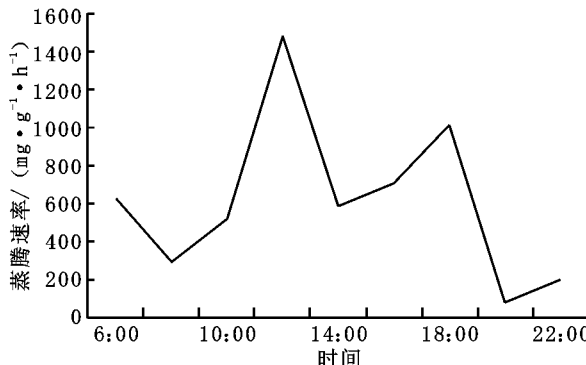


图 4 赖草 8 月蒸腾速率

赖草的蒸腾速率日平均值最高出现在 5 月份,9 月份次之,7 月份最小,蒸腾速率日平均值最大与最小之间相差 527.04 mg/(g·h)。赖草的高蒸腾期出现在 5、9 两个月,其蒸腾速率占到了整个生长季内蒸腾速率的 52.4%。在整个生长季内,赖草蒸腾速率平均值为 620.47 mg/(g·h)。

表 1 赖草逐月平均蒸腾速率 mg/(g·h)

	5 月份	6 月份	7 月份	8 月份	9 月份
赖草	952.02	438.54	424.98	611.87	674.94

3.3 叶水势的日、季变化

1914 年 Dixon 发明和应用压力室,这引入了与水分亏缺密切相关的能量参数——水势,这为 SPAC 理论的应用提供了野外定量测定植物水分能量的方法。压力室法可以确定植物任意时刻承受的水分胁迫^[3]。将待测的叶片置于压力室内,使叶柄伸出被封闭的压力室,然后密封。来自钢瓶中的压缩空气使室内压力逐渐增加,直到水分从叶柄的导管

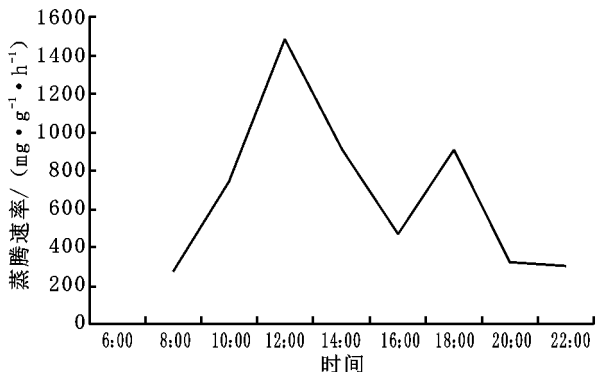


图 5 赖草 9 月份蒸腾速率

3.2 蒸腾速率的季节变化

由于气象因子的季节性变化特点和植物各生长季生理活动不同,植物的蒸腾速率也表现为较明显的季节差异^[2]。

中流出,此时压力计上的读数即为叶水势的绝对值。

叶片好似一个水库,其源流分别为蒸腾耗水和根系从土壤中吸收主要茎部到达叶片的水分,其变化主要随蒸腾速率与吸水速率的关系而变化。

干旱区水分含量少,沙生植物始终处于水分逆境中,因此植物水势的变化可以反映植物适应干旱环境的能力^[1]。由植物水势日变化规律可看出(图 6),赖草日出前即 6:00 的水势很高,随着太阳辐射的增强,水势迅速降低并在全天保持较低值,直到 18:00 重新达到较高的水平,其值要明显低于日出前的水势值。植物水势日变化规律是由树木蒸腾作用消耗水分和植物根系的水分供应之间存在阻力和时间差造成的。夜间,植物通过根系吸收水分,而此时植物的蒸腾强度很小,叶水势基本上处于平缓稳定恢复阶段,直到第二天日出之前恢复最高值,也是叶水势日变化相对稳定的阶段^[4]。清晨,气温低,空气湿度大,因而叶水势最大。随着太阳辐射的增加,气温升高,空气湿度下降,蒸腾作用加快,植物水势迅速降低,同时土壤水势也随之降低,但植物水势与环境的关系复杂,并不总是存在正相关关系,植物自身的生理特点和长期的适应性也决定其水势的变化。如光照强度最大,气温最高,空气湿度最低时,植物叶片气孔开度会减小或关闭,产生“午休”现象,植物-大气系统中水分流动的阻力增大,蒸腾作用下降,使植物水势得到恢复。到了傍晚,太阳辐射减弱,气温下降,空气湿度提高,植物水势又开始上升。

赖草水势最低值出现都早于光照强度最大值、气温最高值、湿度最低值出现的时间,这可能与植物提前为可能的水分亏缺做好准备,防止永久萎蔫的发生。同时表明作为沙生植物的赖草有着适应干旱生境的特征,在白天光照强的情况下,水势的降低利于植物从土壤含水层中吸收水分,而减少向大气散失水分,从而利于植物在逆境中的生长。同时,土壤含水量低也是植物水势低的原因,它说明了植物受到的干旱胁迫程度。

赖草 6 月份的水势日变化平均值要大于 7 月份,水势值分别为 -1.833 MPa 和 -2.04 MPa。5 月份是植物处于萌芽返青期,对水分的需求相对于 6、7 月份要少,土壤水分尚有盈余,植物蒸腾作用较弱,植物水势较高。但随着植物进入生长旺盛期,为了获取水分满足正常的生理活动,蒸腾强度显著增加,降雨的补给不及,使土壤水分入不敷出,土壤水势降低,植物水势也随之降低。另外,温度升高,光照强度增大也是主要影响水势变化的外部因素。随着植物生长季的结束和降雨量的增加,对土壤水分的蓄积有了补充,植物水分欠缺状况得到了缓解,其水势值会上升,并保持较稳定的水平,以维持自身稳定的内环境。此外,通过水势变化可定性判断植物在某一时期受到干旱胁迫的程度。据此得出,赖草 7 月份受干旱胁迫程度要大于 6 月份。也说明了 6、7 月乃至 8 月份是植物生长季节需水最关键的时期,这一阶段的降雨量和水分供应对该地区大部分植物而言就显得至关重要。

3.4 蒸腾速率与叶水势的关系

旱生植物蒸腾消耗叶内的水分,据研究表明,当蒸腾速率大于其吸水速率时,叶片水势在日内随蒸腾速率的变化而变化。在沙土供水充足时,叶水势日变化规律与蒸腾速率的日变化规律相似。清晨,随着日出,叶片开始了蒸腾作用,叶水势也随之降低,直到午后蒸腾速率达到峰值时,其叶水势也基本降到最低,其后,叶水势随蒸腾的降低而增加。直到进入夜间后。当蒸腾耗水速率降低到其根系的吸收速率之下,叶片细胞方有进一步充胀的机会。

需要指出,蒸腾速率与叶水势相互影响。一般来说,对

于同种植物,叶水势的降低对蒸腾速率的影响表现在以下两个方面:其一是可能影响气孔的开启程度,增大气孔阻力;其二是叶片内水分的势能降低致使汽化该水分所需要的能量增大,进而影响蒸腾速率^[2]。

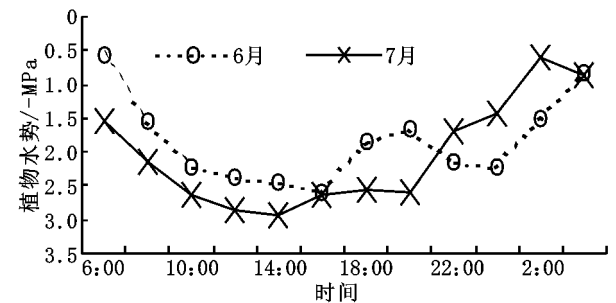


图 6 赖草水势日变化

为了更好的说明蒸腾速率与叶水势间的相互关系,我们分别于 2003 年 6 月 26 日、7 月 5 日和 7 月 17 日同步测定了赖草蒸腾速率与叶水势。在对赖草蒸腾速率与叶水势进行相关分析时发现,两者之间的相关关系可用下式较好的描述:

$$y = ax + b$$

式中: y ——植物蒸腾速率; x ——植物叶水势; a 、 b ——回归系数。

将测定的蒸腾速率与叶水势值取平均值,然后进行相关分析,通过分析发现植物蒸腾速率与植物叶水势存在负相关关系,赖草的相关系数达到了 -0.548。

通过统计分析利用上式建立了赖草蒸腾速率与植物叶水势之间的一元回归模型如下:

$$\text{赖草: } Tr = -203.512Ws - 40.245 \quad R = -0.548$$

式中, Tr ——植物蒸腾速率, Ws ——植物叶水势。

表 2 回归系数及检验结果表

回归系数	a	b
回归系数值	-203.512	-40.245
t 检验	-2.074	0
显著性水平	0.065	0
偏相关系数	-0.548	0
95%置信区间	-422.118	0

由于 $\alpha = 0.065$ 在 0.1 下, $2.074 > 1.3562 = t_{0.9}(12)$, 所以对于赖草而言,植物叶水势对植物蒸腾影响较显著。

表 3 模型检验结果

复相关系数 (R)	复相关系数 (R^2)	显著性水平	F 检验
0.548	0.301	0.065	4.303

模型显著性水平 $\alpha = 0.065$ 在 0.1 下, $F = 4.303 > 3.18 = F_{0.9}(12, 1)$, 所以线性回归效果显著。

由回归模型可知,赖草的蒸腾速率与植物叶水势存在有好的负相关关系,即随着叶水势的降低,两种植物的蒸腾速率也随之增大。由图 7 可知,由于土壤水分的胁迫作用,在某些时段,当叶水势降低到一定程度后,植物蒸腾不是相应增大,反而会出现降低现象。相似的结果也在对梭梭的测试中出现^[5],据对同时测定的两种立地条件下生长的梭梭蒸腾速率的统计分析表明,日平均叶水势下降 27%,对应的日平均蒸腾速率降低约 30%。

4 结 论

- (1) 赖草蒸腾速率存在双峰型。且峰值点多出现在 10:00 ~ (下转第 140 页)

滑动面长度; β ——内摩擦角; c ——黏聚力。

稳定滑坡体所需的根土之间的摩擦力可按公式 (6) 计算:

$$f_t = F / [\sin(\beta + \alpha) \tan \phi + \cos(\beta + \alpha)] \quad (6)$$

式中: f_t ——根土之间的摩擦力。

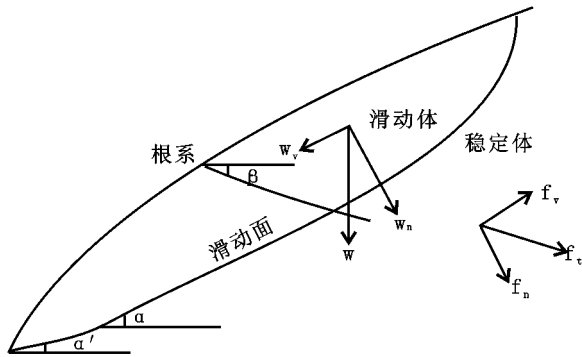


图 3 根系抗滑力系图

根系所提供的抗滑增量可以按以下公式计算,即摩擦力产生的抗滑分量和在滑动面所产生摩擦阻力之和,可用公式 (7) 表示

$$f = f_n \cdot \tan \phi + f_v = f_t [\sin(\beta + \alpha) \tan \phi + \cos(\beta + \alpha)] \quad (7)$$

式中: f ——抗滑增量; f_v ——摩擦力抗滑分量; $f_n \cdot \tan \phi$ ——摩擦阻力增量; f_t ——根土之间的摩擦力。

土壤与根系之间的摩擦力分为静摩擦力和滑动摩擦力。

在根系被拉拔初期,根系在土壤中的位移几乎为零,此时,土壤与根系之间的摩擦力为静摩擦力,当根系拉拔力大于某一值时,根系开始发生滑动,根土间的摩擦力有静摩擦力转化为滑动摩擦力,根系开始被拉出,由静摩擦力转为滑动摩擦力时的拉拔力为根系的_{最大抗拉拔力}。根系的_{最大抗拉拔力}可以根据公式 (8) 进行估算^[8]

$$f = \int_0^L \mu \cdot r_s \cdot H \cdot D \cdot \pi \cdot dH = \mu D r_s \frac{1}{2} L^2 \quad (8)$$

式中: μ ——根土之间的静摩擦系数; r_s ——土的天然容重 (kg/cm^3); D ——根系直径 (cm); H ——根在土体中的深度 (cm)。由公式 (8) 可以看出,最大抗拉拔力的影响因素有根系的直径、根系长度、土体容重、根系和土之间的摩擦系数。

5 结 论

本文通过对合欢根系的室内抗拉实验和野外抗拉拔实验,研究了最大抗拉力和最大抗拉强度与根系直径的关系,以及根系的抗拉拔力和抗拉拔强度,得出主要结论如下:

(1) 合欢根系的_{最大抗拉力}随着根系直径的增加而增加,最大抗拉强度随着根系直径的增加而减少;合欢根系的_{最大抗拉力}与根系直径成正相关关系,最大抗拉强度与根系直径呈指数函数关系。

(2) 合欢根系抗拉拔力随着根系直径的增加而增加,抗拉拔强度随着根系直径的增加而减少。

(3) 从相同直径的合欢根系来看,最大抗拉力大于抗拉拔力,最大抗拉强度大于抗拉拔强度。

参考文献:

- [1] 周德培,张俊云. 植被护坡工程技术[M]. 北京:人民交通出版社,2003.4-5,62-63.
- [2] 王治国,张云龙,刘徐师,等. 林业生态工程学[M]. 北京:中国林业出版社,2000.111-112.
- [3] 王可钧,李焯芬. 植物固坡的力学简析[J]. 岩石力学与工程学报,1998,17(6):687-691.
- [4] 朱清科,陈丽华,张东升,等. 贡嘎山森林生态系统根系固土力学机制研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(7):64-67.
- [5] 郭小平,朱金兆,周心澄,等. 植被护坡技术及其应用[J]. 中国水土保持科学,2004,2(4):112-116.
- [6] 程洪. 草本植物根系网固土原理的力学试验探究[J]. 水土保持通报,2002,22(5):20-23.
- [7] 蒋忠信. 加固滑坡的预应力锚索技术[J]. 山地研究,1996,14(1):58-64.
- [8] 解明曙. 乔灌木根系固坡力学强度的有效范围与最佳组构方式[J]. 水土保持学报,1990,4(1):17-24.

(上接第 137 页)

12:00 和午后 16:00~18:00,而双峰型蒸腾日变化会在午后 12:00 出现“午休”现象。

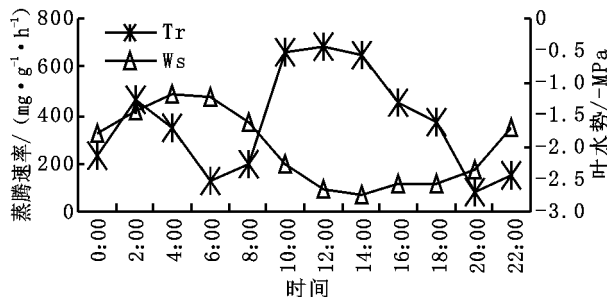


图 7 赖草蒸腾速率与叶水势关系图

参考文献:

- [1] 张维江,孙保平,赵廷宁,等. 毛乌素沙地南缘赖草生育期蒸腾速率过程线的初步研究[J]. 水土保持通报,2004,11(3):37-40.
- [2] 王兴鹏,张维江,马轶,等. 盐池沙地柠条的蒸腾速率与叶水势关系的初步研究[J]. 农业科学研究,2005,26(2):43-47.
- [3] 李吉跃,周平,招礼军. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水的影响[J]. 生态学报,2002,22(9):1380-1385.
- [4] 赵萍. 宁夏毛乌素沙地 SPAC 系统中水分运移特征的研究[D]. 北京:北京林业大学,2004.
- [5] 韩德儒,杨文斌,杨茂仁. 干旱半干旱区沙地灌(乔)木种水分动态关系及其应用[M]. 北京:中国科学技术出版社,1995.1-100.

蒸腾速率的季节变化也不同,赖草的蒸腾速率日平均值最高出现在 5 月份,9 月份次之,7 月份最小,蒸腾速率日平均值最大与最小之间相差 527.04 $\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 。

(2) 赖草 6 月份的水势日变化平均值要大于 7 月份,水势值分别为 -1.833 MPa 和 -2.04 MPa。赖草 7 月份受干旱胁迫程度要大于 6 月份。说明了该地区 6,7 月乃至 8 月份是植物生长季节需水最关键的时期,这一阶段的降雨量和水供应对该地区大部分植物而言就显得至关重要。

(3) 通过相关分析,赖草蒸腾速率与叶水势可用下式表述: $y = ax + b$ 。赖草: $a = -203.512$, $b = -40.245$

分析结果表明,赖草的蒸腾速率与植物水势存在有_{好的负相关关系},即随着叶水势的降低蒸腾速率增大。