

毛乌素沙地南缘赖草生育期蒸腾速率过程线的初步研究

张维江^{1,2}, 孙保平², 赵廷宁², 何 连³

(1. 宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021; 2. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083;

3. 宁夏盐池县绿海苜蓿产业发展有限公司, 宁夏 盐池 751500)

摘 要: 对毛乌素沙地南缘的赖草(*Aneurolepidium dasystachys* Trin.) 蒸腾速率过程线进行了研究。数据处理上, 打破赖草全生育期特定时间蒸腾速率的季节限制, 对其进行了重新排序, 得出赖草不同概率下蒸腾速率的日变化过程和平均日蒸腾速率过程线, 并得到各种概率的蒸腾速率和全生育期平均蒸腾速率日变化过程线方程, 不同概率的蒸腾速率日变化趋势与有关学者得到的结论有相似之处。

关键词: 毛乌素沙地南缘; 赖草; 蒸腾速率过程线

中图分类号: Q 948 112 3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)03-0037-04

A Preliminary Study on the Transpiration Rate Hydrograph of *Aneurolepidium dasystachys* (Trin.) in Its Procreate Period in the Southern Border of Maowusu Sandy Land

ZHANG Wei-jiang^{1,2}, SUN Bao-ping², ZHAO Ting-ning², HE Lian³

(1. College of Civil and Water Conservancy Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The transpiration rate hydrograph of *Aneurolepidium dasystachys* (Trin.) in the southern border of Maowusu sandy land was studied. In the process of data-processing, seasonal limitation to the transpiration rate in specific time of growing season of *Aneurolepidium dasystachys* (Trin.) was broken. The observation data was rearranged. Daily variation of its transpiration rate in different probability and the hydrograph of mean daily transpiration rate were got. The transpiration rate at every probability and the daily variation equation of transpiration rate hydrograph in the whole growing season were obtained, and the daily variation tendency of transpiration rate in different probability is similar to the other specialist's results.

Key words: the southern border of Maowusu sandy land; *Aneurolepidium dasystachys* (Trin.); transpiration rate hydrograph

1 试验地概况

盐池县地处毛乌素沙漠西南缘, 地理位置: 东经 106°30' ~ 107°41', 北纬 37°04' ~ 38°10', 属典型的黄土丘陵和鄂尔多斯缓坡丘陵的过渡带, 即地形上自北向东南为鄂尔多斯缓坡丘陵向黄土丘陵的过渡带, 气候上是干旱区向半干旱区的过渡带, 植被上是荒漠草原向干草原的过渡带, 资源利用上是牧区向农区的过渡带, 荒漠化的形式是风蚀向水蚀的过渡带, 这种地理上的过渡性形成了本地区的定位多样性, 如农牧交错区、水蚀风蚀交错区、气候过渡区、生态脆弱区等等。

试验区位于盐池中部的猫头梁村, 属典型中温带大陆性

气候, 按宁夏气候分区, 属盐池-同心-香山干旱草原半荒漠区。四季分明, 春季多风, 夏季炎热, 秋季凉爽, 冬季寒冷, 据 1954~2000 年的资料, 多年平均温度为 7.7℃, 10℃ 的有效积温 2944.9℃, 年平均日照时数为 2867.9 h, 无霜期 128 d。多年平均降雨量 296.4 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。年平均蒸发量为 2179.8 mm。

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, 研究其蒸腾特性对改良和恢复天然草场具有指导意义。赖草一般在 4 月萌芽, 9 月下旬进入枯黄期, 主要生育期为 5~9 月。

收稿日期: 2004-02-25

基金项目: 国家“十五”重大科技攻关项目: 宁夏河东沙地退化草场植被恢复与风蚀沙化防治技术示范区(盐池), 编号 2003A517A

作者简介: 张维江(1963-), 男, 宁夏海原人, 宁夏大学副教授, 博士生, 主要从事水土保持与荒漠化防治教学及研究工作。

2 试验材料与研究方法

试验材料采自研究区赖草群落样方内自然生长的赖草叶片。考虑到测定对象大部分为草类,蒸腾速率采用快速离体称重法(简称称重法)并在条件许可时用英国 PP systems (PPS) 国际有限公司生产的 CIRAS-1 型便携式光合作用测定系统(简称 CIRAS-1 法)进行对比测定。

称重法使用上海第二天平仪器厂制造的 JNA-1000 型精密扭力天平,在赖草主要生育期内每旬测定一次,每次 24 h 或 12 h(白天)。定点采摘长势相同或近似植株的叶片。将采摘的新鲜赖草叶片迅速称重后置于室外,自然风干 5 min,随之立即称重。利用式(1)计算其蒸腾速率(鲜重)。

$$T_{r1} = \frac{(W_a - W_b) \cdot 3600000}{W \cdot t} \quad (1)$$

式中: T_{r1} ——蒸腾速率, $(\text{mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1})$; W_a ——蒸腾前重, mg ; W_b ——蒸腾后重, mg ; t ——蒸腾时间, s 。

CIRAS-1 法在赖草主要生育期内每月测定一次,每次

24 h 或 12 h(白天)。测定时将不离体的赖草叶片放入叶室并输入叶片的面积,仪器自动显示被测叶片的蒸速率 E $(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$,为了便于对比,同时测定叶片单位面积重量,换算为以鲜重表示的蒸腾速率。蒸腾速率的计算公式:

$$T_{r2} = 6480E/G \quad (2)$$

式中: T_{r2} ——蒸腾速率, $(\text{mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1})$; G ——赖草单位面积鲜重, mg/cm^2 ,对于赖草而言,单位面积鲜重在生育期内基本不随时间变化,为 $21 \text{ mg}/\text{cm}^2$ 。

CIRAS-1 法测定的蒸腾速率数据相对较少,但与称重法的测定值有较好相关关系,这将另文讨论。称重法获得的数据量大且均是按旬连续测定,本文据此分析赖草蒸腾速率的变化特征。

3 结果与分析

3.1 赖草蒸腾速率的日变化和月变化

赖草各个时期的蒸腾速率日变化见图 1。

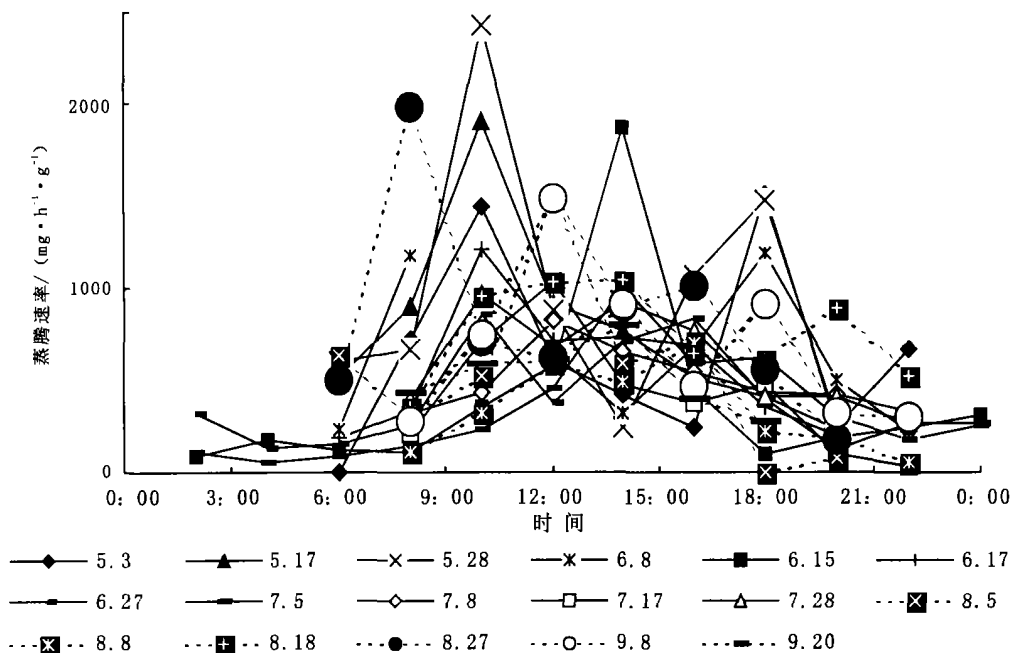


图 1 赖草各时期蒸腾速率日变化过程线

从图 1 可知,赖草的蒸腾速率在一天之内变化很大,一般上午 8:00 以后开始快速增加,下午 18:00 以后急剧减小。在 8:00~18:00 之间,部分在 12:00 达到最大,也有一部分在 12:00 前和 16:00 分别达到一天当中的两次高峰,这除了与植物本身的生理活动有关^[1],也受到一天之中气象要素的瞬间变化影响。

不同月份测定的蒸腾速率日变化过程不一样,5 月和 6 月上旬蒸腾峰值出现在上午 10:00 左右,大部分时间中午 12:00 的蒸腾速率相对减少;8 月蒸腾峰值出现在中午 12:00;在下午 14:00 和 16:00 各月的蒸腾速率变化幅度较小。

赖草蒸腾速率即使在相近的季节,变化也是比较大的。观测中发现,即使观测选择在天气比较晴朗的时候,气象要素的瞬时变化将引起植物蒸腾速率的明显变化,这在利用 CIRAS-1 法测定时变化最为明显,即使一片很小的云团,对植物的光合速率和蒸腾速率的影响也是很大的。实际上要

对一种植物在每一时刻的蒸腾速率的研究也是没有意义的,因为在一天之中,气象要素的变化是瞬间的,只能在统计意义上进行研究,那么,与气象要素密切相关的赖草的蒸腾速率研究也只能使用统计方法才有意义。

3.2 赖草全生育期蒸腾速率的变化分析

图 1 表明,赖草的蒸腾速率在一天当中是变化的,不同的月份(或旬)其蒸腾速率日变化过程也是不同的,这取决于赖草的生理特性、立地条件、瞬时气象要素的变化(时相)和区域气候决定的季节变化(季相)。气象要素的瞬时变化值和幅度也不完全取决于所处的季节,尤其是在夏季,但植物蒸腾和棵间蒸发的研究表明,植物蒸腾量与气象要素(光照、气温、空气湿度等)密切相关^[2,3],蒸腾测定时所处的气象要素瞬间值可能历时短,此时观测到的蒸腾速率在这一天当中可能不具代表性(观测往往是在几分钟之内完成),但该气象要素却是该地区该季节随机出现的,只是发生的时间非此即

彼, 因此可以做这样的假定: 植物的高蒸腾速率总是发生在以气象要素为主要约束条件的高蒸腾时段(比如高温、干燥的天气可能导致植物的高蒸腾), 即使这种气象要素不出现在特定的季节。

为此, 我们把各时间的蒸腾速率按从大到小的顺序重新排列, 以 n 表示全生育期某一特定时间的蒸腾速率观测次

数, m 表示蒸腾速率的顺序号, 则大于某一蒸腾速率的概率 $P(\%)$ 可表示为:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100$$

(1)

表 1 给出了重新排列后对应概率为 p 的赖草全生育期蒸腾速率日分布值。各概率对应的蒸腾速率日变化过程线见图 2。

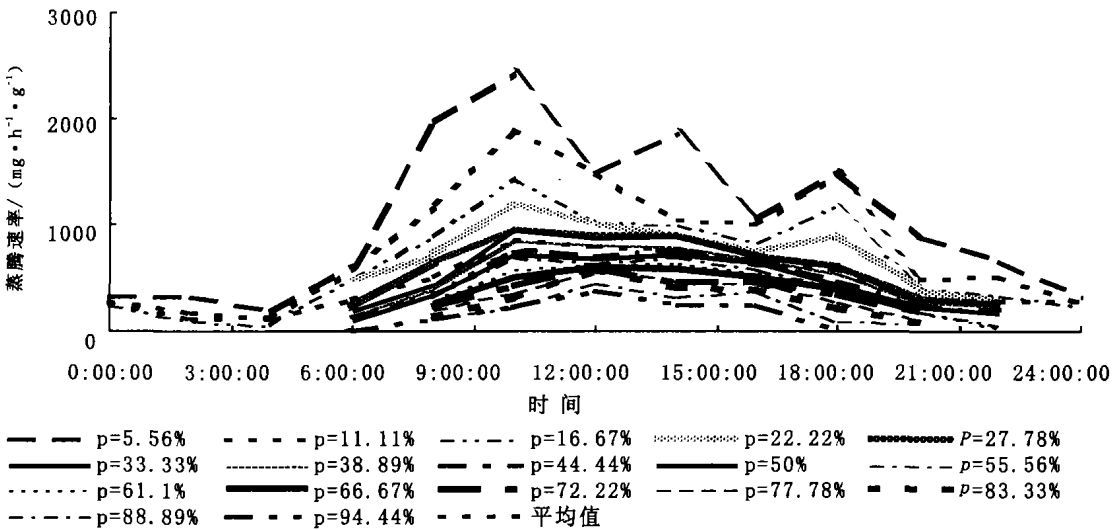


图 2 不同概率下赖草蒸腾速率日变化过程线

图 2 表示, 由于气象要素的变化导致植物生理活动的变化, 赖草的蒸腾速率在各个时间的大小是不同的, 但是在特定的年份有一个变化范围, 即蒸腾速率在上包络线(图 2 中 $p=5.56\%$ 对应的折线)和下包络线(图 2 中 $p=94.44\%$ 对应的折线)的范围内变化。图 2 中每一条曲线都是各时间可能出现的蒸腾速率值, 只是出现的概率不同罢了。虚线则代表赖草在研究年份全生育期蒸腾速率的平均日变化过程线, 这一条线既反映了特定区域特定年份赖草蒸腾速率的大小, 也反映了一天之中蒸腾速率的平均变化趋势。平均线以上的

各条折线代表了可能出现的各种高蒸腾情况, 此时折线的双峰特性比较明显, 这与植物在高温、高光照、低空气湿度等天气情况发生时可能出现休眠现象有关; 平均线以下, 各条折线代表了可能出现的各种低蒸腾情况, 此时中午前后蒸腾速率比较平稳, 无大的起伏, 说明低温、低光强、高空气湿度等天气情况发生时尽管蒸腾速率相对较小但在主要的时段内蒸腾不停地进行者。这与其他研究者得出的有关蒸腾日变化过程有相似的变化趋势^[2-5]。

表 1 赖草全生育期不同概率的日蒸腾速率分布表

顺序编号m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	平均值	
时间	0:00:00	314 14	266 00	250 00														276 71	
	2:00	320	113 56	86 12														173 23	
	4:00	181 09	132 84	51 28														121 74	
	6:00	631 58	597 29	507 69	500	237 15	193 55	154	124 03	88 89							0	303 42	
	8:00	1976 47	1170 73	890 63	720	662 07	429 47	400	349 51	332 95	316 55	288	272 21	252 10	208 09	144	109 54	107 78	507 65
	10:00	2424 24	1900	1440 00	1208 79	964 82	948 45	853 66	741 82	712 87	705 88	584 07	521 74	428 57	355 40	321 07	228 37	228 37	856 95
	12:00	1485 15	1476 92	1028 57	1026 48	905 66	870 97	816 12	710 9	679 25	644 30	620 69	605 50	600	587 97	580 44	455 41	376 38	792 39
	14:00	1868 85	1040 59	1010 53	918 03	905 66	900	792 45	761 9	727 27	703 24	653 85	590 16	481 75	480	420	315 79	240	753 53
	16:00	1066 67	1008 40	826 60	766 92	712 17	696 57	680 71	672 90	638 53	582 09	543 81	514 29	468 29	457 14	400	370 79	240	626 23
	18:00	1500 00	1473 68	1179 19	902 82	623 38	610 17	554 62	480	432 43	410 96	406 15	400	353 49	281 03	226 42	96 44	0	584 16
	20:00	884 89	493 15	421 05	407 93	321 07	293 58	281 25	240	236 84	198 98	190 19	185 33	180 45	120 00	94 49	79 47		289 29
	22:00	660	516 13	336 45	302 52	263 74	260 87	240 60	216 22	175 18	51 72	32							277 77
	24:00:00	314 14	266 00	250 00															276 71
	P	5 56	11 11	16 67	22 22	27 78	33 33	38 89	44 44	50	55 56	61 11	66 67	72 22	77 78	83 33	88 89	94 44	

可以这样认为, 采用以上蒸腾速率数据处理方法, 是对具有瞬时特性的气象要素采用了统计分析的方法, 得出各种可能的日蒸腾速率变化过程。平均线代表研究年份赖草全生育期平均日蒸腾速率变化过程, 其时段平均值即为全生育期

赖草的平均蒸腾速率, 至于蒸腾速率不同年度的差异则体现在上、下包络线和平均线的位置不同。

上述赖草在 2003 年各种可能的蒸腾速率日变化过程线也代表了其他年份或各个不同季节的蒸腾速率日变化过程

线。为便于研究和计算,现将各条线进行回归分析,得到用多项式表示的日蒸腾速率变化方程:

$$y = \sum_{i=1}^4 a_i x^i + b \quad (2)$$

式中: $x = t/24$, t ——时间(24 时制), 单位为 h; y ——蒸腾速率, 单位为 $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$, i ——多项式的次数, 系数 a_i , b 及相关系数见表 2。

表 2 赖草日蒸腾速率回归方程的系数和相关系数

曲线类型	a_1	a_2	a_3	a_4	b	R
$P = 5 \ 56\%$	3546.9	42922	- 77024	37863	251.77	0.8690
$P = 11 \ 11\%$	- 3840.1	37473	- 64658	31171	204.24	0.8806
$P = 16 \ 67\%$	- 3996.4	32971	- 55082	26175	209.91	0.9052
$P = 33 \ 33\%$	356.11	24415	- 49762	26227	- 773.8	0.9656
$P = 44 \ 44\%$	- 6249	39329	- 63628	30887	91.4	0.9813
$P = 50\%$	- 2054	27150	- 49003	24675	- 436.2	0.9839
$P = 66 \ 67\%$	36060	- 81449	82807	- 32895	- 5359.4	0.9998
$P = 77 \ 78\%$	- 13507	54802	- 77653	35689	1048.7	0.9700
$P = 94 \ 44\%$	36060	- 81449	82807	- 32895	- 5359.4	0.9998
平均线	- 9684	38266	- 52804	22950	762.01	0.9570

4 结果与说明

(1) 赖草的蒸腾速率在一天之中是变化的, 如果把大于日平均蒸腾速率过程线的蒸腾日称为高蒸腾日, 小于日平均蒸腾速率过程线的蒸腾日称为低蒸腾日, 那么高蒸腾日表现为双峰特性, 且午后高蒸腾可维持到 20: 00; 低蒸腾日双峰

不明显, 且在中午 12: 00~ 16: 00 是一天之中蒸腾最大时段且比较稳定。这与一些学者得出的结论是一致的。

(2) 赖草全生育期蒸腾速率总是在上、下两条包络线之间变化, 就所在研究年份(2003)而言, 赖草的日平均蒸腾速率过程线可表示为:

$$y = 22950x^4 - 52804x^3 + 38266x^2 - 9684x + 762.01$$

式中: y ——赖草的蒸腾速率, $(\text{mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1})$; $x = t/24$, t 为时间(24 小时制), h。

上式的相关系数为 0.957, 具有较好的相关关系。这可以作为赖草全生育期蒸腾量计算的依据。

不同季节蒸腾速率的日变化可表示为下面的多项式:

$$y = \sum_{i=1}^4 a_i x^i + b$$

系数 a_i 和 b 及相关系数见表 2。这对于进一步研究赖草蒸腾速率的日、月和季变化规律及其赖草蒸腾速率的标准变化过程线具有参考作用。

(3) 由于观测中夜间蒸腾量的蒸腾值进行了有限的几次, 数据点相对较少, 因而使用回归多项式计算早晨 6: 00 前和晚上 20: 00 后的平均蒸腾速率有较大的误差, 利用式(2)进行计算出现“-”值时按 0 处理。

(4) 本研究观测资料为 2003 年 5~ 9 月份, 不同年份蒸腾速率与当年气象资料密切相关, 其赖草生育期平均蒸腾速率与主要气象要素尤其是年降雨量的关系尚待进一步研究。

参考文献:

- [1] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 20- 21.
- [2] 张国盛, 王林和, 董智, 等. 毛乌素沙地几种植物蒸腾速率的季节变化特征[J]. 内蒙古林学院学报, 1998, 20(1): 7- 12.
- [3] 宋炳煌. 草原群落蒸发蒸腾的研究[J]. 气候与环境研究, 1997, 2(3): 222- 235.
- [4] 孙铁军, 朴顺姬, 宋炳煌, 等. 退化羊草草原的群落蒸发蒸腾[J]. 中国沙漠, 2000, 20(增刊): 70- 72.
- [5] 杨宝珍, 董学军, 高琼, 等. 油蒿(*Artemisia ordosica*)的蒸腾作用及其群落的水分状况[J]. 植物生态学报, 1994, 18(2): 161- 170.

(上接第 27 页)

- [3] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 固氮植物篱防治坡耕地土壤侵蚀效果研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(6): 1- 5.
- [4] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 等高固氮植物篱控制坡耕地地表径流的效果[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 48- 51.
- [5] 孙辉, 唐亚, 赵其国. 干旱河谷区坡耕地植物篱种植系统土壤水分动态研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 84- 87.
- [6] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 固氮植物篱改善退化坡耕地土壤养分状况的研究[J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(5): 473- 477.
- [7] 蔡强国, 黎四龙. 植物篱减少侵蚀的原因分析[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 54- 60.
- [8] 许峰, 蔡强国, 吴淑安. 等高植物篱在南方湿润山区坡地的应用——以三峡库区紫色土坡地为例[J]. 山地学报, 1999, 17: 193- 199.
- [9] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 等. 三峡库区坡地生态工程控制土壤养分流失研究[J]. 地理研究, 2000, 19: 303- 310.
- [10] Carsel R F, Parrish R S. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics [J]. Water Resource Research, 1988, 24: 755- 769.
- [11] Zhang R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer [J]. Soil Sci Soc Am. J., 1997, 61: 1 024- 1 030.
- [12] 庄季屏, 王伟. 土壤低吸力段持水性能及其与早期土壤干旱的关系研究[J]. 土壤学报, 1986, 23(4): 306- 312.
- [13] 王正秋. 试论等高灌木带在陕北丘陵区生态环境建设中的作用[J]. 中国水土保持, 2000, (8): 26- 28.