



3 种冷季型草坪草蒸散量的 SPAC 法研究

刘艺杉¹, 刘自学¹, 李晓光¹, 孙涛², 张自和³

(1. 北京克劳沃草业技术开发中心, 北京 100029; 2. 中科院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810000;

3. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:以北京地区常见的 3 种草坪草多年生黑麦草 *Lolium perenne*、草地早熟禾 *Poa pratensis* 和高羊茅 *Festuca arundinacea* 为研究对象, 采用田间试验和实验室内分析相结合, 对 3 种冷季型草坪草年季间蒸散量 (ET) 动态变化进行初步研究。结果表明: 3 种草坪草 ET 每 15 d 的动态变化趋势基本一致, 草种间的 ET 和蒸散强度, 除了 4 月下旬到 5 月初这段时间之外, 多年生黑麦草的 ET 均高于高羊茅和草地早熟禾。3 种草 ET 在不同季节变化很大, 6 月上中旬为整个生长季的最高值, 随后下降, 8 月下旬到 9 月中旬又回升, 越冬前 ET 再次下降并达到整个生长季的最低点。3 种草坪草坪草系数 (K_c) 多年生黑麦草最高为 1.03, 高羊茅和草地早熟禾分别为 0.89 和 0.87。

关键词:草坪草; 蒸散量; 冷季型; SPAC

中图分类号: S688.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2009)10-0165-06

蒸散量或耗水量, 蒸散强度或蒸散速率都是植物生理需水量的重要指标。草坪蒸散量是草坪草蒸腾及草坪草着生地土壤蒸发的总耗水量。目前, 计算参考作物蒸散采用 1979 年联合国粮农组织推荐的彭曼修定公式^[1]。由于彭曼公式计算复杂, 在实际应用中有很大的局限性, 因此, 在作物蒸腾量测定中, 有人就其他测定方法进行不同尝试。王新平等则应用一组自动称量式 Lysimeter 对半灌木油蒿 *Artemisia ordosica* 与灌木柠条 *Caragana korshinskii* 植丛的蒸散与流沙区的蒸发进行了比较研究^[2], 齐述华等利用农田水量平衡原理分别测定了几种蔬菜生长期内的作物需水量^[3]。在草坪草蒸散量的测定中, 采用的有盆栽称量测定法和自动称量式 Lysimeter 法等^[4-5], 但它们也有不尽完善之处。为了更为准确比较不同草种之间蒸散量差异, 常用作物系数 (K_t) 或坪草系数 (K_c) 指标进行评价^[6-7]。作物系数定义为作物的实际蒸散量 (ET_s) 与实测或估算的参考作物蒸散量 (ET_p) 的比值^[8]。国外对草坪草作物系数研究的较多, 主要进行了多种草坪草需水量和作物系数以及草坪草在不同生长阶段作物系数平均值的研究。但目前国内对作物系数的研究主要集中在大田作物和经济作物上, 对草坪草作物系数

研究较少, 李存焕等就沟叶结缕草 *Zoysia japonica* 作物系数进行初步研究^[9-12]。高凯等用土壤—植物 (草坪)—大气连续体 (Soil-plant-Atmosphere continuum, 简称 SPAC) 水分平衡原理田间测定了草坪草蒸散量做了成功尝试^[13]。为此, 试验通过采用 SPAC 对 3 种草坪草的蒸散量研究, 以为草坪水分有效利用和管理提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况 试验在北京克劳沃草业技术开发中心双桥基地上进行。该基地位于北纬 39°34', 东经 116°28', 海拔 50 m 左右, 为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候, 年平均气温 10~12 °C, 全年无霜期 190~200 d, >10 °C 年积温 4 200 °C, 年降水量在 600 mm 以上, 75% 集中在夏季。基地占地 20 hm², 地势平坦、开阔, 光照、通风条件良好。试验区草坪于 2006 年 8 月底建植, 早熟禾播量为 15 g/m², 高羊茅和黑麦草均

收稿日期: 2009-02-27

基金项目: 全国牧草种质资源保护项目 (070401)

作者简介: 刘艺杉 (1977-), 男, 甘肃榆中人, 农艺师, 主要从事草坪研究工作。

E-mail: iog613@163.com

通信作者: 刘自学 E-mail: liuzx@bjclover.com

为 25 g/m², 前茬作物也为草坪草。2007 年 3—12 月进行了不同水分梯度灌溉试验。试验区土壤基本理化性状: 速效 N 含量为 42.51 mg/kg, 速效 P 含量为 13.22 mg/kg, 速效 K 含量为 158.33 mg/kg, 有机质含量为 3.29%, 土壤 pH 值为 8.43。

试验区面积为 700 m², 试验地正西面有大片杨树林, 16:00 以后, 高羊茅的 3 个小区 (C1、C6、

C7) 稍有遮荫现象。

1.2 试验材料 试验选用北方草坪建植常用的草坪草种高羊茅、草地早熟禾及多年生黑麦草 (表 1) 进行水分试验。用水表 [上海沪光五金厂 (m 3.1×0.000 1~1×1 000)] 进行定额控制灌水量, 降水量观测和温度观测 (试验地旁置有量雨器和百叶箱) 与试验同步进行。

表 1 试验材料

材料名称	拉丁学名	品种名	原产地
高羊茅	<i>Festuca arundinacea</i>	Pixie (贝克)	美国
草地早熟禾	<i>Poa pratensis</i>	Midnight (午夜)	美国
多年生黑麦草	<i>Lolium perenne</i>	Fairway (球道)	美国

1.3 试验方法 试验小区采用随机区组设计进行排列, 比较不同种草坪草的蒸散量。试验是以草种为惟一试验因子的单因素试验。小区为长方形, 面积 4 m×5 m, 小区之间为 50 cm 田埂。

1.4 草坪管理 供试草坪的管理属于我国城市绿化较高质量的草坪管理档次。

灌溉: 采用人工模拟喷灌, 适时灌溉, 以保证草坪无干旱胁迫。灌溉量由水表进行定额控制。

修剪: 用旋刀式剪草机, 带集草袋, 剪下的草屑移出草坪, 修剪高度 5~7 cm, 剪草频率为 15~30 d 1 次, 依季节适当调整。

施肥: 草坪于 2007 年 4 月 21 日第 1 次施肥, 施入 50 g/m² 磷酸二胺; 第 2 次施肥在 2007 年 6 月 5 日, 施入 5 g/m² 尿素、20 g/m² 磷酸二胺; 2007 年 10 月 8 日施入 10 g/m² 尿素、15 g/m² 磷酸二胺。

杂草防除: 采用人工拔除和修剪的方法, 不使用化学除草剂。

病害防治: 使用杀菌剂和杀虫剂, 所有试验处理保持一致。

1.5 供水系统的设计 由于试验小区的面积较小, 并不适宜使用喷灌方式灌溉。同时喷灌受风的影响较大, 所以采用了漫灌的基本方式, 人工模拟喷灌, 使水均匀的分布于小区内。灌溉设备的安装与小区的防渗墙处理同步进行, 即 PVC 管道铺设于地面以下 1 m 的地方。

1.6 小区防渗墙 为测定草坪蒸散量, 防止小

区降水、灌溉水的地表流失和小区之间的水分转移, 影响试验结果, 对小区采用了四面隔离土柱法进行了处理。在每个试验小区四周, 与地面垂直挖沟, 沟深 100 cm, 沟宽 50 cm, 保证小区的实际面积为 20 m²。挖完沟之后, 用油毡纸 (厚度 2 mm) 将已成为土柱的四面包好, 作为隔离层, 以达到隔离水分的目的。将土柱隔离完以后, 往土柱四周的沟里一边填土, 一边踩实, 并打开灌溉设备, 利用水分使之下沉紧实, 最后, 使填土高于地面 20 cm 为止。

1.7 测定项目与方法

1.7.1 土壤含水量测定 先在田间地块选择代表性取样点 (试验为对角线三点取样法和 S 形三点取样法), 按照所需深度 (取样深度为根系活动层 0~25 cm) 用土钻 (Φ=4.4 cm,) 分层 (每 5 cm 为一层, 共 5 层) 取出土样, 放入铝盒并立即盖好盖以防水分蒸发影响测定结果, 称量 (即湿土加空铝盒), 记为 m_1 (江苏常熟衡器厂 TG-328B 型电光分析天平, 分值 0.1 mg、最大称量 200 g), 打开盖, 置于烘箱中 [天津市泰斯特仪器有限公司 101-1 型 (0~300 °C)], 在 105 °C 条件下, 烘至恒量 (需 8~10 h), 再称量 (即为干土加盒量), 记为 m_2 , 则该土壤在该时刻的绝对质量含水量 (S_{wc}) 可以求出, 记空铝盒质量为 m_3 :

$$S_{wc} = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \times 100\%$$

在试验中, 每 15 d 测定全部试验小区的土壤

含水量,取土时间是每月5、20日。当天取的土样,当天测定。

1.7.2 蒸散量测定 根据 SPAC 和农田水量平衡原理,可以定义草坪土壤水分平衡为在一段时间内,草坪植物根系范围内水分的收支关系。由物质不灭定律,在水分分配中各分量之间的关系为:

$$R+I+G=ET+\Delta W+f+D+P_w+I \quad (1)$$

式中: R 为降水量, I 为灌溉量, G 为地下水补给量, ET 为蒸散量, ΔW 为土壤水分的变化量, f 为地表流失量, D 为深层渗漏量, P_w 为植物体中的含水量, I 为截留量。由试验设计可知,可以忽略 G 、 f 、 D 、 P_w 、 I 的影响,把(1)式简化为:

$$ET=R+I-\Delta W \quad (2)$$

可以求出某一时间段的 ET ,然后根据 ET 和时间(T),便可求出测定期间的日均蒸散量。

测量时期:2007年4月5日—11月5日;每月5、20日取土测定。

2 结果与分析

2.1 北京地区常见3种草坪草的蒸散量动态变化规律

2.1.1 可能影响草坪草蒸散的环境因子

生物在

其生存的环境中受到很多生态因子的影响,它们之间相互制约,相互影响,对生物的生长发育特性有极其重要的作用。片面的用某一特定指标来研究它对生物的影响往往会得出片面的结论。故而在研究中对可能影响3种冷季型草坪草 ET 的动态变化的各种环境因子进行详细全面的统计。各种环境因子(温度、降水、蒸发量等)在草坪草生长季内的动态变化如表2所示。从表2中可以看出,5月下旬—6月上旬的蒸散量最大,可达121.50 mm,4月上、中旬的蒸散量次之,为111.8 mm,而10月底—11月初的蒸发量最小。气温从6月开始—8月底一直保持在25℃以上,10月底—11月初的气温最低,为10.95℃;地温表现出这样的变化趋势,4—10月下旬,越接近地表,地温越高,而在10月底—11月初则表现出相反变化趋势。整个试验期,降水量的变化差异较大,最高值出现在6月,而在4月和11月初的降水量很小。

2.1.2 3种冷季型草坪草的蒸散量的动态变化 草坪蒸散量与草坪草对水分的利用密切相关,通过不同草种或品种的蒸散量来探讨节约用水已成

表2 环境因子统计

测定日期 (月-日)	5 cm 地温(℃)	10 cm 地温(℃)	15 cm 地温(℃)	20 cm 地温(℃)	气温 (℃)	降水量 (mm)	蒸散量 (mm)
04-01-04-19	18.03	13.68	13.25	12.44	14.22	2.70	111.80
04-20-05-05	16.54	16.17	16.13	15.75	16.27	26.20	81.30
05-06-05-20	20.79	19.75	19.61	18.86	19.37	46.60	94.90
05-21-06-05	28.52	23.23	23.11	22.25	23.59	10.20	121.50
06-06-06-20	27.06	25.77	25.61	24.64	25.75	66.20	98.70
06-21-07-05	30.76	30.13	25.13	29.16	25.78	90.50	86.50
07-06-07-20	30.01	29.20	28.48	27.68	27.03	34.20	75.90
07-21-08-05	29.16	28.18	27.76	26.30	27.08	83.60	81.10
08-06-08-20	33.37	27.10	26.98	26.19	26.03	22.80	58.40
08-21-09-05	25.89	25.36	25.39	25.04	24.15	28.90	57.70
09-06-09-20	23.32	22.90	22.86	22.59	21.16	61.20	61.80
09-21-10-05	16.63	16.52	16.63	16.88	15.61	16.40	50.60
10-06-10-20	16.08	15.80	15.82	15.89	15.43	11.00	41.60
10-21-11-05	10.39	10.71	10.85	11.34	10.95	0	26.40
平均值	23.32	21.75	21.26	21.07	20.89	35.75	74.87

为国内外草坪研究的热点。试验通过对生长期内3种草坪草的每15 d和每天平均的蒸散量研究,为不同品种草坪草进行有效水分管理提供科学的依据。从图1可以看出,3种冷季型草坪草的蒸散量每15 d的动态变化基本一致,说明草种间的蒸散量和蒸散强度差异性较小,之间差异不显著($P>0.05$)。相同管理条件下,不同月份间草坪蒸散量的差异非常明显,3种草坪草均显示较高的耗水量,4月下旬—10月底,3种草坪草的蒸散量在5月底—6月初,8和10月出现3个较低的值。而蒸散量最高值出现在6月中旬,3种草坪草的蒸散量分别为:多年生黑麦草 99.50 mm、草地早熟禾 100.44 mm 和高羊茅 99.79 mm;而最

低值出现在10月底,以上3个蒸散量依次为:16.63、18.93和16.82 mm。虽然地下5 cm处地温在5、6、7和8月相差不大,但是降水量却存在差异,6和7月下旬的降水量最大,而这个时期,草坪草的蒸散量也相应的最大,这说明草坪耗水量的多少与气候的变化息息相关,尤其跟坪地温度、大气温度和降水量紧密相关。在整个生长季内,3种草坪草的每日蒸散量如图1所示,不同品种草坪草之间蒸散量值尽管有所差异,但没有达到显著的水平($P>0.05$)。蒸散量在生长季内所呈现的动态变化趋势和每15 d内的基本一致,也表现出随生长时间和环境的变化出现不同的变化趋势。

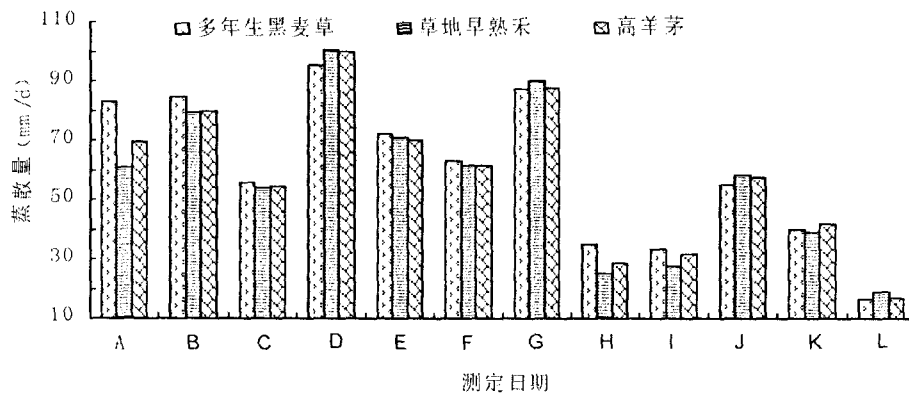


图1 3种冷季型草坪草平均蒸散量

注:A为4月20日—5月5日,B为5月6—20日,C为5月21日—6月5日,D为6月6—20日,E为6月21日—7月5日,F为7月6—20日,G为7月21日—8月5日,H为8月6—20日,I为8月21日—9月5日,J为9月6—20日,K为9月21日—10月5日。

2.1.3 坪草系数 作物系数(K_c)是利用参考作物法计算作物需水量的重要参数之一。作物系数定义为作物的实际蒸散量(ET_c)与实测或估算的参考作物蒸散量(ET_0)的比值,它反映植物本身生物学特性对水分的需求。例如水稻的 K_c 为1.38~1.67,而冬小麦和夏玉米则为0.86~0.89和0.84~1.05。坪草系数是计算草坪需水量的重要参数,它是反映了草坪本身的生物学特性、产量水平、土壤耕作条件对草坪需水量的影响。草坪的潜在蒸散量(ET_0)也称草坪水分需求量,由大气蒸发力决定。可由彭曼公式估算或蒸发皿自

由水的蒸发量乘系数加以估计。由于彭曼公式计算复杂,大多数草坪工作者采用自由水面蒸发系数法计算。Duble 则建议草坪的潜在蒸散量为水面蒸发量的0.85。试验也采用水面蒸发量的0.85为 ET_0 。实测蒸散量(ET_c)与潜在蒸散量(ET_0)的比值称为坪草系数(K_c),即:

$$ET_0 = \text{水面蒸发量} \times 0.85 \quad (3)$$

$$K_c = ET_c / ET_0 \quad (4)$$

根据式(3)、(4)可计算3种草坪草的坪草系数,据此可以得出3种草坪草坪草系数(表3)。从表中可以看出。供试3种草坪草之间,高羊茅和

表3 3种冷季型草坪草坪草系数(K_c)季节动态

草种	测定日期(月-日)												平均值
	4-20- 5-05	5-06- 5-20	5-21- 6-05	6-06- 6-20	6-21- 7-05	7-06- 7-20	7-21- 8-05	8-06- 8-20	8-21- 9-05	9-06- 9-20	9-21- 10-05	10-06- 10-20	
高羊茅	1.01	0.99	0.53	1.19	0.959	0.99	1.27	0.58	0.65	1.10	0.97	0.48	0.89
草地早熟禾	0.88	0.99	0.53	1.19	0.96	0.95	1.30	0.51	0.56	1.10	0.90	0.53	0.87
多年生黑麦草	1.14	1.00	1.00	0.99	0.99	1.04	0.97	1.14	1.15	0.99	1.08	0.88	1.03

草地早熟禾的坪草系数平均值小于多年生黑麦草,分别为0.89、0.87和1.03。同一草种在不同生长期间的坪草系数也有明显变化。就高羊茅和草地早熟禾来说,生长季内坪草系数值有显著差异($P < 0.05$),分别在5月下旬、8月和10月依次出现3个较低的坪草系数值;而多年生黑麦草在整个生长季内,坪草系数值变化不明显,没有显著差异。赵炳祥等^[14]的研究结果为:冷季型草坪草系数介于0.98~1.09,国外一些相关研究报道冷季型草的坪草系数在充足灌水条件下为0.79~1.09^[15],本研究结果稍小于赵炳祥的报道,而与Carrow^[16]的报道比较接近。之所以出现差异,这可能是由于坪草系数受多种因素的影响,而且各因素间相互作用比较复杂。赵炳祥等的研究是在小型蒸散仪上进行的,本试验则是大田试验,故而造成测定值的差异。

3 结论

3.1 3种冷季型草坪草的蒸散量每15d的动态变化基本一致,说明草种间的蒸散量和蒸散强度差异性较小。草坪草的 ET 在不同季节变化很大,这主要是由于 ET 受多种气象因子诸如温度、降水、风等的影响所致。除4月下旬—5月初,高羊茅的 ET 为69.57mm,草地早熟禾的 ET 为61.06mm,而多年生黑麦草的 ET 为82.99mm显著高于高羊茅和草地早熟禾,以后3种草坪草的 ET 变化十分相近,在整个试验期间3种草坪草每15d平均 ET 高低变化顺序依次为多年生黑麦草>高羊茅>草地早熟禾。多年生黑麦草、高羊茅和草地早熟禾的平均 ET 值分别为60.12、58.23和57.12。

3.2 北京地区常用的3种草种的坪草系数介于

0.87~1.03,取其平均值可得到:高羊茅 K_c 为0.89,草地早熟禾 K_c 为0.87,多年生黑麦草 K_c 为1.03;同一草种在各月的坪草系数也有明显变化。当草坪质量满足可接受的水平时,其他农作物系数与坪草系数相比,草坪与他们之间很接近,这说明只要时间得当,灌溉技术合理,草坪草的需水量与大田作物是相当的。

3.3 ET 受多种气象因子的影响,不同季节变化程度较大。多年生黑麦草、高羊茅和草地早熟禾之间的蒸散量和蒸散强度在相同时期差异较小。这和它们作为北方广泛种植的草坪草,本身具有较强的抗旱性能有关。同时3种草坪草之间 K_c 也有不同,说明3种草种之间需水量还是表现出一定差别,它可为干旱地区建植草坪以及草坪水分管理提供相关依据。

参考文献

- [1] Frere M, popor G F. Agrometeorological crop monitoring forecasting[M]. Roma: FAO plant production and protection, 1979.
- [2] 王新平,李新荣,康尔泗,等.沙坡头地区固沙植物油蒿、柠条蒸散状况的研究[J].中国沙漠,2002,22(4):363-367.
- [3] 齐述华,李子忠,龚元石.应用农田水量平衡原理计算三种蔬菜的需水量和作物系数[J].中国农业大学学报,2002,7(1):71-76.
- [4] 韩建国,潘全山,王培.不同草种草坪蒸散量及各草种抗旱性的研究[J].草业学报,2001,10(4):56-63.
- [5] 潘全山,韩建国,王培.五个草地早熟禾品种蒸散量及节水性[J].草地学报,2001,9(3):207-212.
- [6] 张新民,胡林,边秀举,等.北京常用草坪草的蒸散量差异及耗水性[J].草业学报,2004,13(1):15-17.

- [7] 孙景生,刘祖贵,张寄阳,等. 风沙区春小麦作物系数试验研究[J]. 农业工程学报,2002,18(6):55-58.
- [8] 康绍忠,邵明安. 作物蒸发蒸腾量的计算方法研究[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究集刊,第13集,1991:66-74.
- [9] 李存焕,耿玉东. 沟叶结缕草草坪质量与水热因子的关系[J]. 草业科学,2002,19(5):67-69.
- [10] 孙强,韩建国. 草地早熟禾与高羊茅蒸散量的研究[J]. 草业科学,2003,20(1):16-19.
- [11] 耿玉东,李存焕. 沟叶结缕草草坪蒸散量研究简报[J]. 草业科学,2004,21(2):59-60.
- [12] 胡九林,韩烈保,苏德莱,等. 天津滨海地区2种草坪草耗水量试验研究[J]. 草业科学,2005,22(12):82-86.
- [13] 高凯,朱铁霞,胡自治,等. 北京地区三种冷季型草坪草蒸散量的研究[J]. 中国草地学报,2008,30(1):93-96.
- [14] 赵炳祥,胡林,陈佐忠,等. 常用6种草坪蒸散量及作物系数的研究[J]. 北京林业大学学报,2003,25(6):39-44.
- [15] Carrow R N. Drought avoidance characteristics of diverse tall fescue cultivars[J]. Crop Sci.,1996,36:371-377.

Study on evapotranspiration of three cold-season turfgrasses by using SPAC

LIU Yi-shan¹, LIU Zi-xue¹, LI Xiao-guang¹, SUN Tao², ZHANG Zi-he³

(1. Beijing Clover Seed and Turf Co., Beijing 100029, China;

2. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;

3. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: The evapotranspiration dynamic of three cold-season turfgrasses (*Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Festuca arundinacea*) were studied in Beijing area using field test combined with laboratory analysis. The results showed that the evapotranspiration dynamic of 3 cold-season turfgrasses with 15 days interval kept a similar tendency. The evapotranspiration of *L. perenne* was higher than others except for the period from late April to early May. The evapotranspiration of 3 turfgrasses was obvious different among different seasons, the highest value appeared in mid June, and followed by that in late August and mid September, and the lowest value appeared before winter. The K_c of *L. perenne* was the largest (1.03), and followed by *F. arundinacea* (0.89) and *P. pratensis* (0.87).

Key words: turfgrass; evapotranspiration; cold-season; SPAC

2009年第10期《草业科学》审稿专家

柴琦	曹致中	胡自治	郭正刚	侯扶江	金樑	刘荣堂	刘金祥
李春杰	李世清	李文龙	李建龙	李国昌	梁天刚	林慧龙	牟新待
马玉寿	尚占环	王晓娟	许庆方	杨惠敏	于卓	于应文	姚拓
袁学军	张自和	张德罡	张吉宇	张巨民	周禾	赵成章	赵桂琴

承蒙以上专家对《草业科学》杂志稿件的审阅,严把质量关,特此表示衷心的感谢!