

文章编号: 1007-4929(2005)02-0014-04

GREENSPAN 茎流法测定茄子 植株蒸腾的精度分析

刘贤赵, 刘德林

(烟台师范大学地理与资源管理学院, 山东 烟台 264025)

摘要:通过盆栽试验和理论计算,对 GREENSPAN 茎流法在测量作物蒸腾方面的精度及有效性进行了验证。结果表明, GREENSPAN 茎流法具有与称重法、P-M 法相似的测试效果,可以较灵敏地反映不同天气状况下作物蒸腾量的变化规律。与称重法、P-M 法相比,测值相对误差分别为 1.07%~12.78%和 0.5%~19.1%,绝对误差分别为 0.13~1.56 g/(株·h)和 0.08~2.20 g/(株·h);且与称重法、P-M 法的测值均呈极显著直线相关, R^2 系数在 0.9 以上。

关键词: GREENSPAN 茎流法; 茄子; 蒸腾速率; 精度

中图分类号: S31 文献标识码: A

Analysis on Accuracy of Eggplant Transpiration Measured by GREENSPAN Stem-flow Gauge

LIU Xian-zhao, LIU De-lin

(College of Geography and Resource Management, Yantai Normal University, Yantai City 264025, Shandong Province, China)

Abstract: Through pot experiment and theory calculation, the accuracy and the validity of plant transpiration measured by GREENSPAN stem-flow gauge were evaluated in this paper. The results showed that GREENSPAN method had the same measuring effect as weighing method and Penman-Monteith method, and it could reflect sensitively the change law of plant transpiration under different weather status. Comparing with weighing method and Penman-Monteith method, the relative errors of measured values by GREENSPAN method were 1.07% to 12.78% and 0.5% to 19.1% respectively, while the absolute errors were 0.13 to 1.56 g/h and 0.08 to 2.20g/h respectively. The transpiration values measured by GREENSPAN were significantly linear correlation with values measured by weighing method and Penman-Monteith method, and the correlation coefficient was more than 0.9.

Key words: GREENSPAN method; eggplant; transpiration rate; accuracy

近年来,用于测定树干液流的热脉冲技术得到迅速发展,并广泛用于树冠蒸腾耗水量的研究^[1~4],但用于作物蒸腾量的研究报道很少。2002年从澳大利亚引进了一种可以实时测定植物蒸腾速率并反映其变化规律的仪器——GREENSPAN茎流计。该技术适用于单株植物整体蒸腾量的观测,基本不破坏植株在自然环境条件下的正常生长状态,可以连续测定植株液流量,具有易于野外操作及远程下载数据的优点。单位面积的蒸腾总量由单株蒸腾乘以种植密度求得,可以避免由单个叶片换算田间总蒸腾时涉及到的叶面积指数以及冠层上下叶位差异等不确定因素。为了鉴别这种方法的准确性与实用性,本文

选择了3种蒸腾测定方法进行对比,作为田间选择应用的技术基础,以期在这方面研究工作的广泛开展提供技术保障。

1 材料与方法

1.1 试验材料与作物种植

试验于2003年4~8月份在简易日光玻璃温室中进行。选用茄子“济丰3号”品种为材料,种植在直径18cm、高20cm的塑料盆中。使用校园外长期耕作的中壤质土(表1)加1/3容积腐熟的厩肥过筛,装盆,每盆种植1株,用0.1mm的地膜严实覆盖土面,防止土层蒸发。植株茎流观测期间,土壤充足供

收稿日期:2004-09-06

基金项目:山东省教委项目、山东省自然科学基金项目资助。

作者简介:刘贤赵(1970-),男,教授,博士,硕士研究生导师,主要从事水土资源利用的研究。

表 1 供试土壤理化性状

土壤化学性质				土壤物理性质			
有机质/ (mg · kg ⁻¹)	速效 P/ (mg · kg ⁻¹)	碱解 N/ (mg · kg ⁻¹)	全 N/ (mg · kg ⁻¹)	容重/ (g · cm ⁻³)	凋萎湿度/%	田间持水率/%	粘粒含量/%
14.23	11.42	24.47	1.09	1.34	9.81	28.54	36.51

水,土壤含水量控制在田间持水量的 85%以上。

1.2 试验方法

为揭示 GREENSPAN 茎流计测定茄子植株蒸腾的精度及其有效性,试验采用快速称重法、Penman-Monteith 微气象法(简称 P-M 法)与 GREENSPAN 茎流法在晴天或阴天进行同步比较研究。

1.2.1 快速称重法

使用称量 15 kg、感量 1 g 的电子台秤称重,电子称出重量的改变即为作物的蒸腾量。称重时间为每天 6:00~20:00 时,每隔 30 min 进行称重,6 次重复取平均值。该方法简便易行,计量精确,在对比研究中具有较高的应用价值,可作为同步比较的基准。

1.2.2 P-M 法

以能量平衡和水汽扩散理论为基础、适用于作物蒸腾量计算的彭曼-蒙特斯模式,为作物蒸腾量的计算开辟了新的途径^[5~7]。20 世纪 70 年代后,随着不同形式气孔计的问世,该模式得到了广泛的应用和发展,成为当前国内外作物蒸腾量计算的通用模式,康绍忠对该模式及其参数的确定作了较全面的分析,认为对于冠层下土壤蒸发很小的作物,其蒸腾可根据彭曼-蒙特斯公式进行计算^[8]。本文采用 McNaughton 和 Jarvis 修正的 Penman-Monteith 公式^[9],根据实测资料计算蒸腾量,从侧面验证 GREENSPAN 茎流计实测结果的准确性与实用性。McNaughton 和 Jarvis 修正的 Penman-Monteith 公式为:

$$E = \frac{1}{\lambda} \left[\Omega \frac{\Delta R_{np}}{\Delta + \gamma} + (1 - \Omega) \frac{\rho C_p D}{\gamma r_c} \right]$$

式中: E 为作物蒸腾量, W/m^2 , 其单位可根据蒸发 1 kg 水等价于 683.3 W/m^2 这一关系转化为 $g^{[10]}$; R_{np} 为冠层所得到的净辐射 W/m^2 , 其值由 $R_{np} = R_n (1 - e^{-kLAI})$ 确定 (R_n 为冠层上方的净辐射; k 为冠层消光系数,取 0.41; LAI 为叶面积指数); λ 为汽化潜热; Δ 为饱和水汽压与温度关系曲线上的斜率; ρ 为空气密度; γ 为干湿表常数; D 为空气饱和差,其计算式为: $D = 0.628(273 + T) \ln(RH)$ (式中 0.628 为气体常数, T 为气温, RH 为相对湿度); C_p 为干空气的定压比热; r_c 为作物对水汽传输的冠层阻力,由实测单叶气孔阻力计算; Ω 为一耦合系数,其表达式为

$$\Omega = \left[1 + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \frac{r_c}{r_a} \right]^{-1}$$

式中: r_a 为边界层动力学阻力,与叶片的特征长度、风速有关,可采用 Maria 提出的公式 $r_a = 220 \frac{d^{0.2}}{v^{0.8}}$ 进行计算 (d 为叶片特征长度,茄子叶片为 0.21 m; v 为冠层顶端的风速)^[11]。

1.2.3 GREENSPAN 茎流法及其基本原理

该方法由 Huber 先生 1932 年首次提出,Edward 将 Huber 的热脉冲补偿系统、Marshall 的流速流量转换分析及 Swanson

的损伤分析综合起来,形成系统的理论技术^[12],Olbrich 将其进一步完善^[13],并开始在植物水分问题研究中使用。其基本原理如下:作物在蒸腾过程中,根系从土壤中吸收的水分通过茎干源源不断地输送至叶片,最终通过叶气孔散发到大气中去。在这一过程中,茎干中的液体一直处于流动之中。当茎内水流在这一点被加热(即注入热脉冲)后,所携带的能量一部分由正常向上运动的水流向上传输,另一部分与上部及下部的水流发生热交换,还有一部分则以辐射的形式向周围发散。使用时在茎干的某一处插入一个热探针(热源),同时在热源的上下方固定距离安装感应探头(图 1),测定热脉冲随蒸腾流从热源传输到感应探头所需的时间。根据加入茎流中的热脉冲向上传输的速率以及与周边水流的热交换程度,用热传输与热平衡理论通过一定的数学计算求得茎干的水流量(植株的蒸腾速率),再通过积分成为断面流量(或茎流体积)。

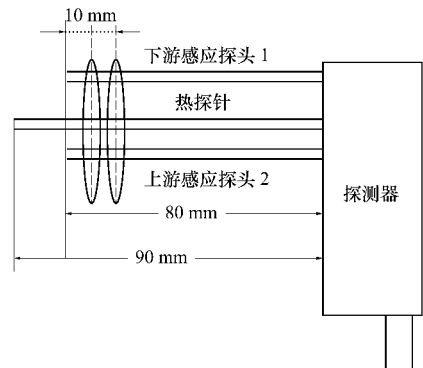


图 1 GREENSPAN 茎流探测器

1.3 数据采集与处理

测定时段为 2003 年 7 月 2~11 日,3 种方法均布设在同一标准植株上(选长势一致、生长旺盛的植株 2 株)。快速称重法数据测定见本文 1.2.1 节。茄子植株蒸腾速率用澳大利亚生产的 GREENSPAN 测定, GREENSPAN 茎流探测器被固定在茄子茎基部距土面第 1 个节点处,每株安装 2 个探测器(1 株在东西两个方位安装 2 个探测器,另 1 株在南北两个方位安装 2 个探测器)。植株伤口处用纸质防水胶带围贴,并用围尺测量茄子基部茎粗,测定期间,茄子茎粗为 2.99~3.45 cm。数据采集间隔为 30 min,3~5 d 后更换被测植株。用镊子钳取热脉冲引起的植株木质损伤部分,测定伤口大小。通过 GREENSPAN 分割茎流数据软件 SAPPRO 和茎流数据分析软件 SAPCAL 对测定数据进行自动处理得到取样时间、茎干液流速度、平均茎液移动速度,4 种深度(4 探头)的液流速度和累积茎干液流量等系列数据,用于 3 种蒸腾测量方法的比较。同时,用澳大利亚产的 Monitor 移动式自动气象站与茎流同步测定太阳辐射、气温、相对湿度等气象因子;用三杯风速仪测定茄子冠

层顶端风速,采用冠层分析仪 ACCUPAR 测量叶面积指数,使用 Li-6400 型光合测定仪每天从 6:00~20:00 时,每隔 0.5 h 分别测量 1 次上中下 3 个不同高度上的叶片气孔阻力,乘以冠层叶面积得到冠层阻力。测定期间主要气象因子如图 2。

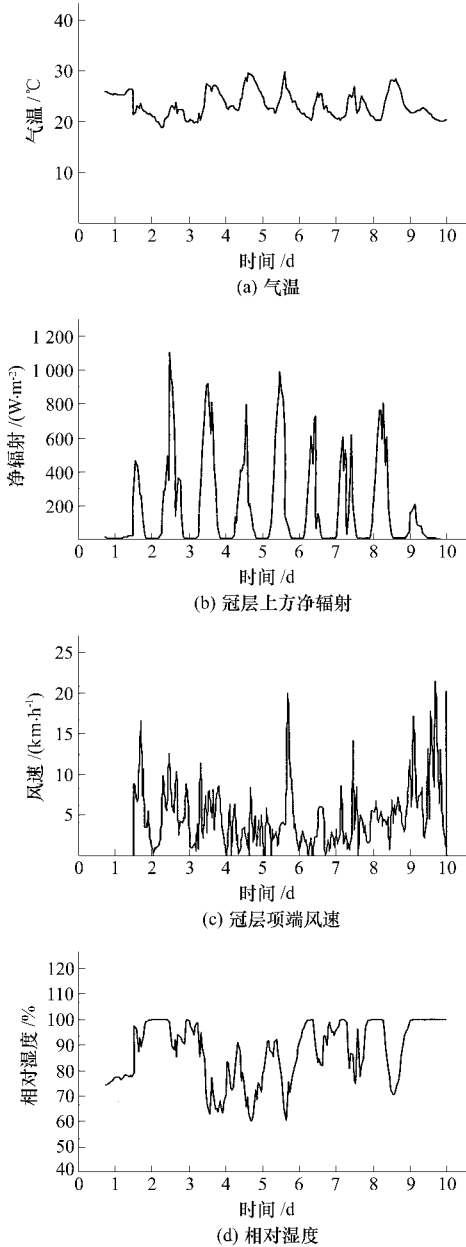


图2 观测期间(2003年7月2~11日)主要气象因子

2 结果与分析

2.1 精度分析

为了检验 GREENSPAN 茎流法的测定精度,笔者将 2003 年 7 月 2~11 日 3 种方法(GREENSPAN 茎流法、称重法、P-M 法)同步测定的结果进行比较,比较结果见图 3。

由图 3 可以看出, GREENSPAN 茎流法对不同的天气状况都能较灵敏地反映出其蒸腾量的变化,7 月 3~4 日、7 月 5 日与 7 月 11 日用 GREENSPAN 茎流法实测得到的蒸腾量与称重法、P-M 法所得到的蒸腾量其走向与数值基本一致。一般

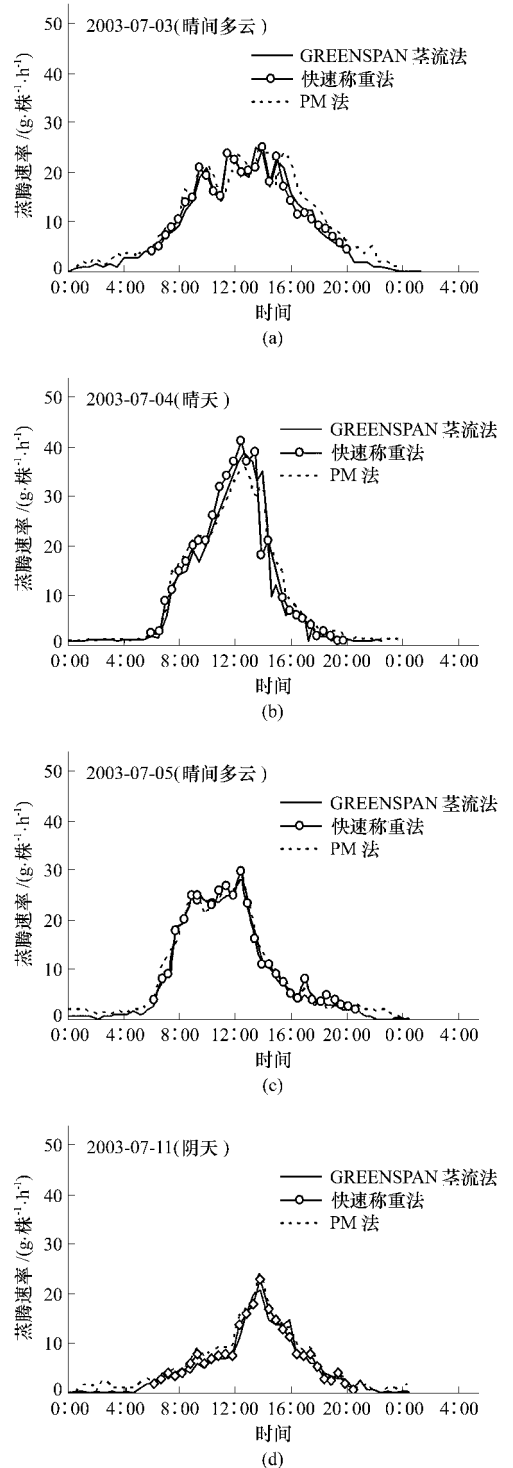


图3 三种方法测定蒸腾值的比较

条件下绝对误差不大于 $2.5 \text{ g}/(\text{株} \cdot \text{h})$,但在蒸腾速率低于 $3 \text{ g}/(\text{株} \cdot \text{h})$ 时, GREENSPAN 茎流法测定值与称重法、P-M 法相比,则存在较大的相对误差。以 7 月 3 日为例,7:00~20:00 时 GREENSPAN 茎流法测的耗水值为 $200.61 \text{ g}/\text{株}$,而同期称重法和 P-M 法测值分别为 $204.94 \text{ g}/\text{株}$ 和 $215.21 \text{ g}/\text{株}$,前者与后两者相差 $4.33 \text{ g}/\text{株}$ 和 $14.6 \text{ g}/\text{株}$,误差仅为 2.16% 和 7.28% 。比较不同时间 3 种方法的测值看出,三者数值变化相似;以称重法测值为基准,相对误差为 $1.07\% \sim 12.78\%$,绝对误差为 $0.13 \sim 1.56 \text{ g}/(\text{株} \cdot \text{h})$;以 P-M 法测值为基准,相对误

差为0.5%~19.1%，绝对误差为0.08~2.20 g/(株·h)。表明使用 GREENSPAN 茎流法得到的蒸腾值与二者(称重法、P-M法)相差很小,计算精度是可靠的。

2.2 统计分析

分别以称重法和 P-M 法为基础对 GREENSPAN 茎流法的测值做回归及相关分析。由图 4、图 5 可知, GREENSPAN 茎流法的测值与称重法、P-M 法的测值一致,数据点集中分布在 1:1 线附近,而且离散程度较小。GREENSPAN 茎流法与称重法、P-M 法的测值均呈极显著直线相关, R^2 系数分别为 0.947 6 和 0.939 1, 它们的关系式分别为:

$$SP = 0.9778QW, SP = 0.9896PM$$

式中: SP 为 GREENSPAN 茎流法测值; QW 为称重法测值, PM 为 P-M 法测值。表明 GREENSPAN 茎流法在定量研究作物蒸腾方面具有一定的实用性,在理论上和实践上都是可行的,从而为大田作物蒸腾量的测定提供了一种新的方法。

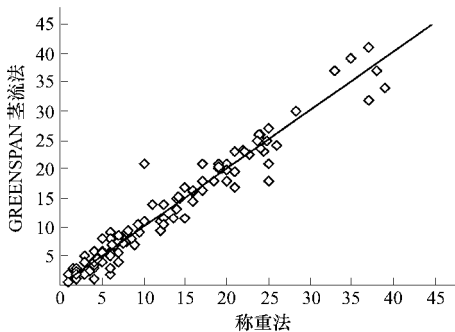


图 4 GREENSPAN 茎流法与称重法测值比较
单位: g/(株·h)

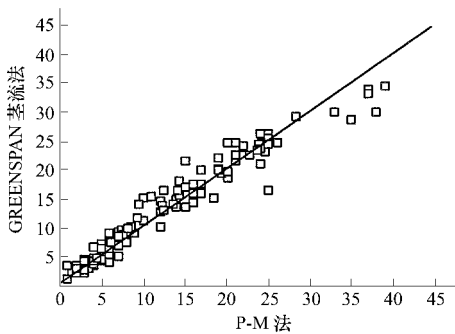


图 5 GREENSPAN 茎流法与 P-M 法测值比较
单位: g/(株·h)

3 结 语

根据以上的测试和分析认为,在作物蒸腾的测定中, GREENSPAN 茎流法具有与称重法、P-M 法相似的测试效果,可以较灵敏地反映不同天气状况下作物蒸腾量的变化规律。在不需标定的条件下, GREENSPAN 茎流法与称重法、P-M 法相比,相对误差分别为 1.07%~12.78% 和 0.5%~19.1%,绝对误差分别为 0.13~1.56 g/(株·h) 和 0.08~2.20 g/(株·h);统计分析得出, GREENSPAN 茎流法与称重法、P-M 法的测值均呈极显著直线相关, R^2 系数都在 0.9 以上。这些结果表明, GREENSPAN 茎流法在定量研究作物蒸腾方面具

有较高的精度和适用性。因此,在应用于大田作物蒸腾量的研究过程中,只要各种操作到位、运用得当,就可以取得较为准确的结果。需要指出的是由于作物各部位流速不同,加上有不同类型的变异,如何将不同部位的不同流速转换成茎干整体的液流量是有待于进一步研究的关键问题。

参考文献:

- [1] 刘奉觉,郑世锴,巨关升. 用热脉冲速度仪(HPVR)测定树干液流[J]. 植物生理学通讯,1993,(2):110-115.
- [2] 李海涛,陈灵芝. 应用热脉冲技术对棘皮桦和五角枫树干液流的研究[J]. 北京林业大学学报,1998,(1):1-6.
- [3] 高岩,张汝民,刘静. 应用热脉冲技术对小美杨树树干液流的研究[J]. 西北植物学报,2001,(4):644-649.
- [4] 张宁南,徐大平, Morris J. 雷州半岛尾叶桉人工林树干液流特征的研究[J]. 林业科学研究,2003,(6):661-667.
- [5] Stanghellini C, W Meurs, W van Merus. The environmental control of crop transpiration[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1992, (51): 297-311.
- [6] Segineer I. Transpiration cooling of a greenhouse crop with partial ground cover[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1994, (71): 265-281.
- [7] Luo W H, X H Wang, W M Ding. Subtropical modern greenhouse cucumber canopy transpiration under summer climate condition[J]. Agricultural Sciences in China, 2002, (1).
- [8] 康绍忠,刘晓明,熊运章. 土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[M]. 北京:水利电力出版社,1994.
- [9] Mcnaughton K G, P G Jarvis. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation[A]. Water Deficits and Plant Growth[C]. Academic Press, 1983, (7):1-47.
- [10] Bethenod O, Katerji N., Goujet R. Determination and validation of corn transpiration by sap flow measurement under field conditions[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2000, (67):153-160.
- [11] Maria B. Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1994,(71):83-97.
- [12] Edwards W R N, N W M Warwick. Transpiration from a kiwi fruit vine as estimated by the heat pulse technique and the Penman-Monteith equation[M]. N Z J Agric Res, 1984, (27):537-543.
- [13] Olbrich B W. The verification of the heat pulse velocity technique for estimating sap flow in Eucalyptus grandis[J]. Can J For, 1991,(21):836-841.



更 名 公 告

北京绿源塑料联合公司现已更名为北京绿源塑料有限责任公司,公司法人代表:许平。特此公告。

北京绿源塑料有限责任公司

2005年1月5日