

文章编号: 100226819(2001)0520150203

作物水胁迫声发射检测及视情灌溉系统的研究

杨世凤, 钱东平, 霍晓静, 关贞贞

(河北农业大学)

摘要: 研究和开发了利用声发射技术检测作物的水胁迫并视情实施自动灌溉的系统, 以西红柿作物为目标在温室内进行了试验研究。结果表明: 在一定程度范围内, 作物受水胁迫时发出悲鸣的频次随作物水胁迫的程度的增加而增加, 并与作物的蒸腾加速度有关; 为避免作物受水胁迫的影响, 可通过声发射传感器所获得的作物信息实现对作物视情灌溉和调节; 使作物的蒸腾量和灌溉量达到平衡调节, 力求使作物在最佳的土壤水环境下生长, 提高水的利用率, 改善作物果实品质。

关键词: 声发射技术; 作物水胁迫; 虚拟仪器技术; 蒸腾

中图分类号: S122; S274.1 **文献标识码:** A

水是农业的命脉。在我国特别是西北和北方地区由于水资源供需矛盾日趋尖锐, 致使农业面临着巨大缺水压力; 另一方面, 我国农业用水的有效利用率却很低, 据统计, 渠灌区只有 30%~40%, 井灌区也只有 60%; 而一些发达国家可达到 80%。显然, 我国 21 世纪的农业发展面临的供水危机将更加严峻, 解决上述危机的根本出路是大力发展高效节水农业, 逐步提高农业用水利用率和每方净耗水量的农产品产出率, 力求以最少的水量投入, 获得最大的生产效率。

根据作物受水胁迫的程度实施视情自动灌溉是提高节水效率的重要途径之一, 研究表明, 利用声发射技术 (Acoustic Emission) 简称 AE, 可以检测得到作物的受水胁迫程度, 换句话说, 就是当作物受到水胁迫时发出悲鸣, 这种悲鸣的程度 (作物受水胁迫的程度) 可通过声发射传感器检测得到, 作者与日本国立农业工程研究院科研人员一起, 利用声发射技术, 基于计算机的虚拟仪器系统对作物的水胁迫及其视情自动灌溉系统进行了研究, 取得了初步结果。

1 监测原理

为了寻求敏感的植物需水信息, 国内外学者进行了大量的研究工作。人们从不同方面入手, 寻找评价植物是否缺水的指标, 从而对植物水分胁迫进行

检测。例如, 从叶面蒸腾减少来判断植株缺水程度 (作物水分亏缺指数 $CWSI = 1 - T \dot{O}T_p$)^[4]; 通过测茎液流速来计算蒸腾量从而反映植物的水分状况^[5]。又如, 干旱造成的植株体液浓度变化可导致植物体的导电率及其电阻变化, 通过测量植株生理电阻的变化探讨了植株的亏水程度^[6], 但是采用这种方法需将电阻传感插针刺入植株茎秆, 这样多少会对植物体造成伤害并影响测试精度。

植物木质部气穴现象 (xylem cavitations) 可作为一个特殊的植物响应用于自动灌溉系统的开发。水分运输的内聚力理论^[2]阐述了水在土壤—植物—大气连续体中的运输规律, 表明水是在处于一定的负压力或张力下传输的, 但是当土壤变得干燥时, 该张力就会增加, 当其超过一个极限值时, 由于水分子间的内聚力失效或对导管壁的附着力失效, 水柱的连续体就不能再保持下去, 从而发生断裂或抽空, 这就是植物木质部的气穴现象。植物木质部出现气穴的同时会伴有声发射信号的产生, 其确切的起因还不清楚, 但通常认为是导管中气穴产生时张力的突然释放而产生的冲击波, 伴随着冲击波的发生就产生了声发射信号, 声发射信号在超音频 (100~300 kHz) 范围内, 通过声发射传感器检测到并记录下来, 并且已被用来做表征植物水胁迫的指标^[1,3]。

2 系统的组成和工作原理

系统主要由如图 1 所示几部分组成。

声发射传感器 (AES) (Acoustic Emission Sensor) 用于检测作物受水胁迫发出的超声信号, 并转

收稿日期: 2000211223 修订日期: 2001208201
基金项目: 河北省博士基金和中日合作资助项目
作者简介: 杨世凤, 博士, 教授, 河北省保定市 河北农业大学机电工程学院, 071001

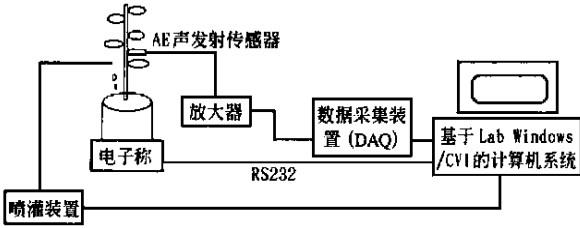


图 1 西红柿水胁迫及自动喷灌系统框图

Fig 1 The sketch of monitoring water stress and automatic spray irrigation for tomato

换成微弱的电信号, 然后通过信号放大器放大, 输入给数据采集 (DAQ) 装置。最后, 通过计算机测控系统进行处理。

具有数字量输出的电子天平用于检测作物的蒸腾及其蒸腾速率 T (Transpiration), 它将作物蒸腾量直接转换为数字信号, 并通过 RS232 输入给计算机系统。

水泵及其喷灌、滴灌系统由计算机控制, 当作物发生水胁迫时, 计算机会自动发出指令实施灌溉。系

统的程序是基于虚拟仪器平台 LabWindows/CVI, 采用虚拟仪器技术开发的, 系统按照程序来实现各项功能。

整个软件由数据采集、显示和控制模块、参数设定模块组成。上电后、或运行过程中的任何时候, 都可通过计算机屏幕上的虚拟旋钮和按键操作。

采集、显示和控制模块主要实现对声发射 (作物水胁迫) 和作物蒸腾速率 T 的采集和显示, 然后将声发射 (作物水胁迫) 信号实时地与设定值进行比较; 求其作物蒸腾速率 T 的导数 $\frac{dT}{dt}$ 的值。

3 试验结果与讨论

3.1 作物水胁迫的检测和最佳浇水时间的确定

试验是在日本农业工程研究院的现代温室内进行的, 作物为西红柿, 试验时间是 1999 年 6~10 月。图 2 为西红柿作物在一个水胁迫周期内蒸腾速率与声发射频次的比较试验结果。

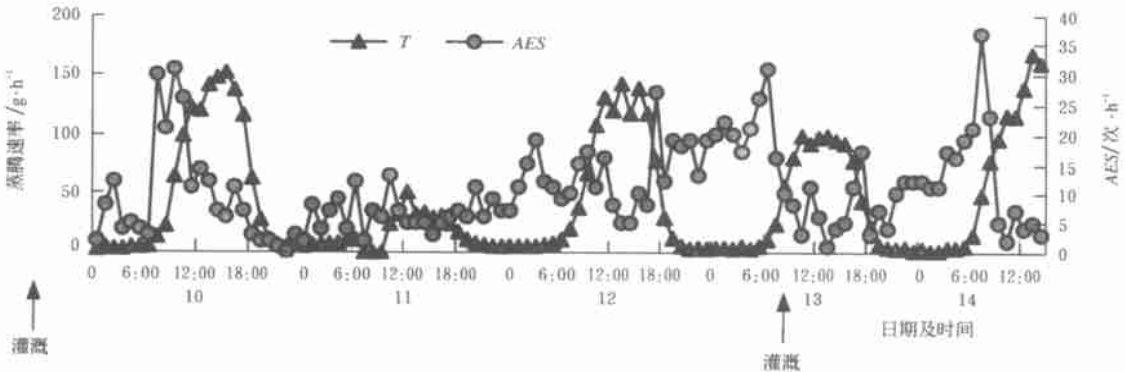


图 2 西红柿在一个水胁迫周期内蒸腾速率与声发射频次的比较试验结果

Fig 2 Comparison of transpiration and AES events of a tomato plant during a cycle of water stress

综合分析试验结果, 可得到如下启示:

1) 作物声发射频次与作物蒸腾变化量有直接关系, 刚刚受灌后的作物蒸腾变化 (ΔT) 量比较大, 然后随着作物水胁迫的增加逐渐降低; 同样, 刚刚受灌后的作物声发射频次比较大, 但马上就会降到最低, 然后随着作物受水胁迫的增加, 声发射频次和幅度具有逐渐增大的趋势。

2) 由于白天的光照及其光合作用促进作物从根部吸收水分和水分的蒸发, 因此, 白天作物茎部的茎液流通速率高于夜间, 白天作物声发射的频次高于夜间; 同理, 晴天作物声发射的频次高于阴天时的声发射频次。

3) 当作物受水胁迫达到一定的程度 (临界状态) 作物的蒸腾变化量会大幅度增大, 而作物声发射频次和幅度会大幅度减低。

4) 从数学理论的角度观测作物水胁迫情况, 当声发射 (作物水胁迫) 信号 (频次) 大于设定值且 $\frac{dT}{dt} > 0$ 时, 作物处于严重的水胁迫状态, 需立即实施喷灌或滴灌, 这就为实施视情滴灌或喷灌提供了理论依据。

3.2 西红柿作物视情喷灌、滴灌的最优控制算法

上述研究表明: 实施视情喷灌、滴灌的条件信息有两个, 第一, 是作物在受到水胁迫后发出悲鸣

(AE) 的频次大于设定值(B), 其值的大小根据经验确定, 随作物的种类不同而异; 同类作物不同的生长阶段其值也不相同; 第二, 是作物在受到严重水胁迫临界值时, 作物的蒸腾速度的偏导数大于 0, 也就是作物的蒸腾失重速度突然达到最大值。其算法如下式所述

$$\begin{cases} AE > B \\ \frac{\Delta T}{\Delta t} > 0 \end{cases}$$

2.3 自动喷灌系统的实施

1) 为了既保障作物能够在最佳的土壤水分条件下生长, 又能达到节水的目的, 依据作物受水胁迫发出的悲鸣(声发射)信号和蒸腾变化信号实施视情精确喷灌和滴灌是可行、有效的。

2) 根据作物不同生长时期所需土壤水分的不同, 通过计算机软件设定和适当调整作物的供水效率和供水时间, 完全有可能使作物的蒸腾量和对作物的喷水量或滴灌量($WS/g \cdot h^{-1}$)保持平衡, 以

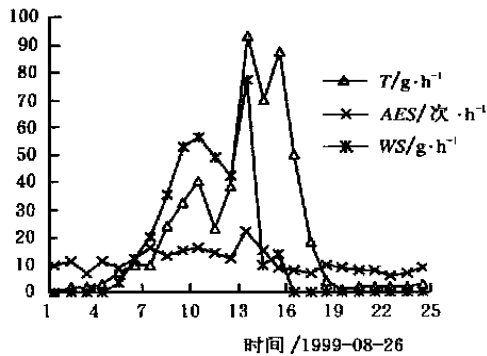


图3 西红柿视情自动灌溉试验结果

Fig. 3 Test results of automatic irrigation with monitoring water stress for tomato

确保土壤的水分保持在适合于作物生长的环境条件下, 即保证了作物生长的土壤水分适当又达到了节水的目的。其结果如图3所示。

3 结论

1) 用声发射传感器检测作物的液流速率的变化可间接检测作物水胁迫的程度, 在一定的范围内, 作物声发射频次随作物水胁迫的程度的增加而增加。

2) 通过检测作物蒸腾量的变化速率和声发射的变化关系可检测作物水胁迫的程度, 这种技术的应用有可能用于作物的视情节水灌溉。

3) 上述检测的数据和事实仅仅是本次研究的初步结果, 还需要做不同环境条件下的长时间的大量试验才能验证其结果的准确性和可靠性。

[参考文献]

- [1] Okushima L. Progress in acoustic emission — [M] The Japanese Society for NDI, 1994 131~ 135
- [2] Tyree M T. Plant Phys [M] 1986, 82: 597~ 599
- [3] Okushima L, Sase S, Ohtani T. Plant measurement by acoustic emission sensor. M. van Meurs, Gieling, Bennedsen [A] Proc Second International Symposium on Sensors in Horticulture [C] Acta Hort 421, ISHS 1998, 241~ 248
- [4] 康绍忠, 熊运章. 作物缺水状况的判别方法与灌水指标的研究 [J]. 水利学报, 1991(1).
- [5] 丁筱玲, 赵立新, 张业民. 植物茎液流速及蒸腾量动态测试仪 [J]. 农业工程学报, 2000, 16(2): 46~ 49
- [6] 张世芳, 金树德, 陈 勇. 节水灌溉玉米亏水生理电阻信息研究 [J]. 江苏理工大学学报, 1996, 17(6): 6~ 9

Test of Water Stress in Crops With Acoustic Emission Technology and Automatic Irrigation System

Yang Shifeng, Qian Dongping, Huo Xiaojing, Guan Zhenzhen

(Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China)

Abstract: The automatic and real-time irrigation system based on estimation of water stress in crops with acoustic emission (AE) technology was developed. Taking the tomato crops as a testing example in green house, the system can acquire the real-time AE signals and transpiration data respectively through AE sensor and electronic balance, and the computer program of an optimum algorithm for the irrigation system was also produced based on the AE signals and transpiration data. It shows that the AE events increase gradually with the increase of transpiration speed of crops to some extent. In order to keep the crops growing well, it has the potential to indirectly detect and monitor the water stress in tomato crops based on the information acquired from the crops through AE and transpiration.

Key words: acoustic emission technology; water stress in crops; virtual instruments; transpiration