

周 桥,陈 钊,刘存瑞,等.盆栽迷你玫瑰水胁迫声发射信号的检测及分析[J].江苏农业科学,2017,45(8):133-137.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.08.037

# 盆栽迷你玫瑰水胁迫声发射信号的检测及分析

周 桥,陈 钊,刘存瑞,时 玲

(云南农业大学机电工程学院,云南昆明 650201)

**摘要:**以盆栽迷你玫瑰为研究对象,选取生长期对植物在水分胁迫下的声发射信号进行检测,将采集到的水胁迫声发射(AE)信号进行处理,并和其他各环境因子进行对比分析,总结规律,为迷你玫瑰基于水胁迫声发射信号的精准灌溉系统的建立奠定理论基础,并提供技术指标。采用虚拟仪器 LabWindows/CVI 软件开发平台,PCI-Ⅱ型声发射检测仪及各环境因子传感器模块进行相关数据采集,经上位机软件分析处理并实时显示。结果表明,植株 AE 发生次数与蒸腾之间存在密切关系,声发射频次会随蒸腾速率的增大而增大,同时气温增高、光照度增大及空气湿度减小等条件有利于提高植物冠层蒸腾速率,而相应 AE 事件发生次数也将增加。盆栽迷你玫瑰水分胁迫下的 AE 信号能敏感准确地反映出植株本身对水分的需求状况,且与其他环境因子有紧密联系。

**关键词:**迷你玫瑰;水胁迫声发射;响应;检测分析;精准灌溉

**中图分类号:** S685.120.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)08-0133-05

植物在缺水状态下会伴随声发射(acoustic emission, AE)信号的产生,这种声发射信号能敏感准确地反映植物本身的需水信息,检测植物生理需水信息的声发射指标极有可能应用于将来的智能精准灌溉系统。国外 Tyree 等以田间玉米为研究对象,Raschi 等以田间生长番茄为研究对象,Okushima 等以温室栽培香瓜为研究对象,国内 Jia 和霍晓静等分别以大田作物冬小麦和温室栽培番茄为研究对象对其水胁迫声学特性进行研究,结果均表明植物声发射信号与其水势、蒸腾速率等因子有密切关系<sup>[1-5]</sup>。但目前很少有对温室花卉盆栽迷你玫瑰进行水分胁迫下 AE 信号的检测分析及规律的研究。本试验以盆栽迷你玫瑰为研究对象,综合各生长环境因子对其在水分胁迫下的 AE 信号进行采集分析并总结规律,以期温室花卉迷你玫瑰将来基于水胁迫声发射机理的精准灌溉系统<sup>[6-8]</sup>的建立和应用奠定理论基础,并提供技术指标。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器设备

PAC 生产的 PCI-Ⅱ型声发射检测仪和各环境参数传感器(温湿度、光照强度、CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾量等),软件开发<sup>[9]</sup>平台 LabWindows/CVI,基于 PCI-DAQ 的虚拟仪器数据采集系统<sup>[10-11]</sup>。

### 1.2 试验材料

待测植物为盆栽迷你玫瑰。选取直径为 5 mm 的植株,便于放置声发射传感器探头。测定时株高 20 cm,检测时期为其生长期,土壤配置比例为壤土:灰分:腐殖质=3:1:

1。另配铁架台 2 个,便于固定传感器探头。检测试验于 2015 年 5 月 17 日至 2015 年 5 月 30 日进行,试验环境温度为 10~25℃,光线良好,湿度适宜。

### 1.3 试验方法

**1.3.1 安装位置** 选取迷你玫瑰植株茎部占整体高度的中间位置安装美国 PAC 公司生产的 R15 型声发射传感器来检测 AE 信号,通过分析这些间接反映植株水分状况的 AE 信号进一步研究植物水分状况的时空变化规律<sup>[12-14]</sup>。R15 型声发射传感器有着圆柱体的接收探头和 18 mm 的信号接收面直径,在安装时需要将硅酮脂适量涂抹于探头与茎部之间,它可以作为超声波导声剂,既能增强信号的传输,又可以减少植株局部脱水。传感器的安装与检测如图 1 所示。

**1.3.2 试验周期** 在水分胁迫下 AE 信号的检测方面,1 个检测周期为 24 h;在对浇水前后声发射信号的变化情况检测方面,1 个周期为从对迷你玫瑰某次浇水之后开始计时直至下一次浇水前。各参数采集过程中 24 h 连续不间断,并观察声发射信号在植株处于不同的水分状态下的变化情况。

**1.3.3 试验记录** 试验前以及整个试验过程中应保持完备且连续的试验记录,包括试验时迷你玫瑰的基本生长情况,测定并记录植株的茎直径、叶位、高度及探头位置,植株安装传感器探头后质量的变化,试验开始和结束时间,以及试验过程中由于异常情况(如断电或环境噪音等)引起的信号变化等<sup>[15-17]</sup>。

**1.3.4 试验过程** 在与植株相同的水平位置上将温度、湿度、CO<sub>2</sub> 浓度传感器<sup>[18-19]</sup> 安装好,并且整个试验过程应保证传感器避免被阳光直射,以免其元器件受到损伤和干扰。保证电子天平放置的基座处于水平、平稳的状态,通过 RS232 串口通信<sup>[20]</sup>将电子天平与计算机相连,然后将整株盆栽迷你玫瑰放到天平称盘中,预热 30 min 后开始检测。试验过程中的系统参数设定如表 1 所示。

在植株茎部将声发射探头固定好,此时要特别注意调整好夹子的力度,若力度过小,则会影响声发射信号的传导<sup>[21-22]</sup>,

收稿日期:2016-06-27

基金项目:国家自然科学基金(编号:51269033)。

作者简介:周 桥(1990—),男,河南商丘人,硕士研究生,研究方向为农业生物环境控制。E-mail:975436842@qq.com。

通信作者:时 玲,硕士,教授,硕士生导师,从事农业生物环境控制研究。E-mail:shiling64@qq.com。



图1 传感器的安装与检测

表 1 参数设置

参数	参数值
温度采样周期 (min)	1
湿度采样周期 (min)	1
光照度 (min)	1
CO <sub>2</sub> 浓度 (min)	1
天平称质量采样周期 (min)	1
AE 信号采样周期 (μs)	1
AE 信号阈值 (dB)	25
AE 信号前置放大增益 (dB)	40

也可能因为松动而产生大量的噪声信号;若力度过大,则会对植株茎部组织造成损伤,这同样对声发射信号的检测造成不利影响。为了防止传感器探头添加前后发生质量变化,电子天平质量应在探头安装好后开始采集记录数据。确认所有连接线连接完好后,打开稳压传感器电源和计算机,运行信号检测程序,设置检测参数,开始试验。试验部分数据采集结果界面如图 2 所示。

2 结果与分析

从所采集的数据中,提取 4 d 的完整数据进行分析。试

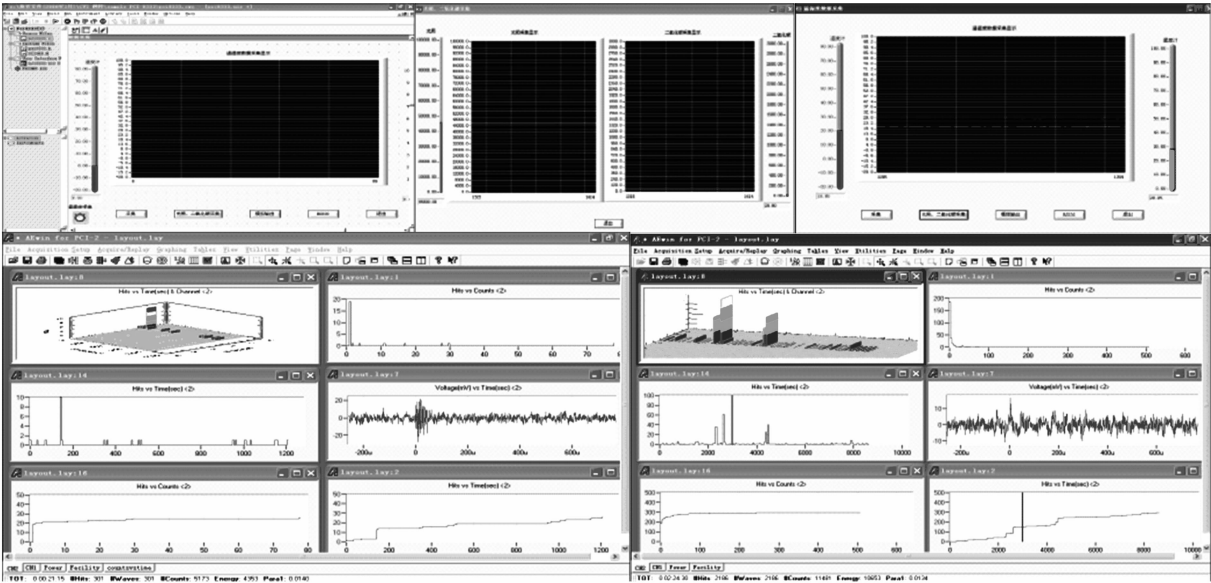


图2 部分数据显示界面

验以 2015 年 5 月 17 日 0 点至 2015 年 5 月 20 日 14 点为 1 个完整的声发射水分胁迫检测周期。浇水时间为 2015 年 5 月 16 日 15:00 和 5 月 20 日 14:00。

2.1 声发射次数与蒸腾速率结果分析

图 3 为 2015 年 5 月 17、18、19、20 日声发射次数、蒸腾速率 ( $T$ ) 随时间的变化关系曲线。

第 1 天,由于为浇水后的第 1 天,可近似认为植株处于无水分胁迫状态。植株的蒸腾作用所消耗的水分基本上能由根系所吸收的水分相平衡,水分收入与支出相抵,导管在水分传输过程中只产生少量声发射,分别集中在 02:00—04:00、11:00—13:00 和 23:00—24:00。由于前 1 天作物处于严重的水分胁迫环境下,造成了导管输水系统受阻,产生了大量气穴,形成栓塞,从而使植株在凌晨恢复期间发生微弱声发射现

象。植株全天的声发射总次数为 48 次。

第 2 天,植株处在微水分胁迫状态下。声发射主要集中在 09:00—16:00。随着蒸腾速率增加,根部供水速率滞后于叶面蒸腾速率,使导管内水柱断流,产生空穴,引起声发射。由于此时土壤中水分含量适中,在蒸腾拉力作用下,空穴中的气体处于亚稳定状态,导管内压力较高,容易使空穴中的气体溶于水柱中,而使空穴消失,恢复导管供水功能,这一产生空穴和恢复供水的过程往复进行。植株全天的声发射总次数为 869 次,其中在 13:00 左右出现最高声发射频次,为 229 次。

第 3 天,由于植株蒸腾作用的耗水没有得到补充,植物处在中度的水分胁迫状态下,总体变化趋势与微水分胁迫情况下近似。植株全天的声发射总次数为 539 次,其中在 10:00 左右出现最高声发射频次,为 188 次,低于前 1 天,主要是由

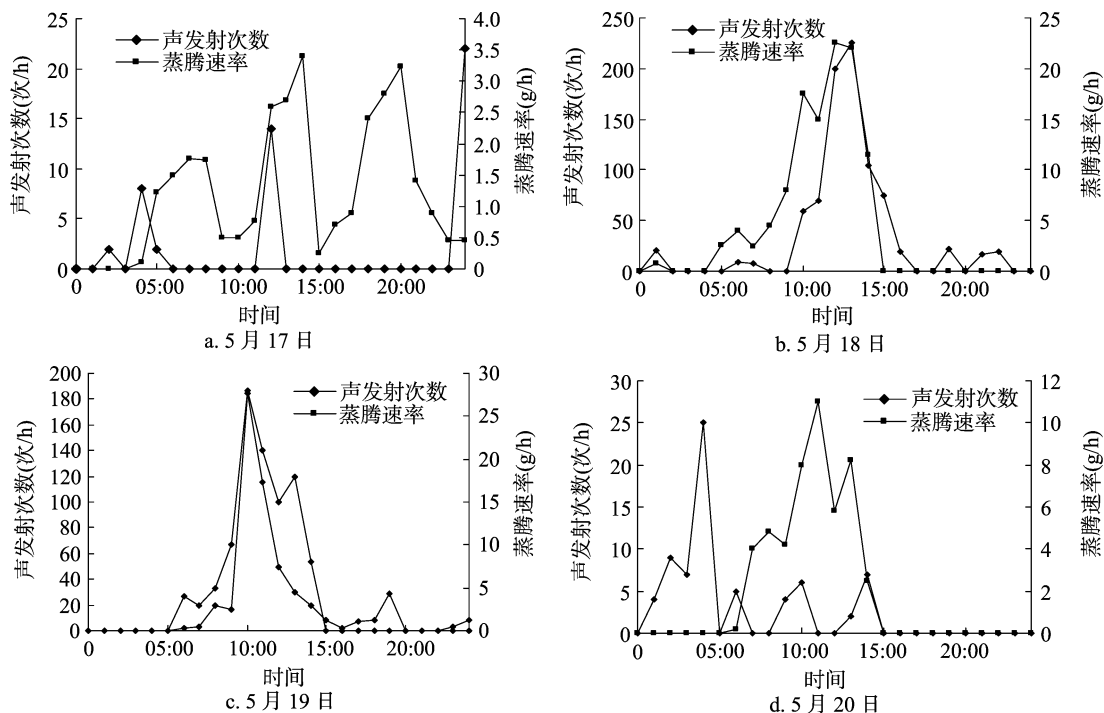


图3 2015年5月17—20日声发射次数与蒸腾速率变化趋势

土壤水分亏缺引起。

第4天,连续3 d没有浇水,植株处于严重水分胁迫状态。声发射信号在整个时间段内均会产生,与蒸腾信号之间不存在对应的趋势,且截至14:00再一次浇水前全天的声发射总次数为71次。这是由于声发射信号反映的是“空穴化”的过程,而不是栓塞的累积状态,因此声发射信号的减少并不表明栓塞程度的降低,反而是过度栓塞的表现。同时蒸腾速

率有放缓的趋势,总体水分消耗量较前几天明显减少。

为了进一步分析声发射次数与作物蒸腾量之间的关系,对2个变量进行回归分析和相关分析,图4为2015年5月17、18、19、20日声发射次数与 $T$ 之间的关系。17日无水分胁迫情况下(充分灌溉),声发射次数与蒸腾速率存在正相关关系,比例系数 $k=1.5240$ ,但相关系数较小, $r^2=0.0373$ ,可基本上认为不存在相关关系。18日微水分胁迫情况下,声发射

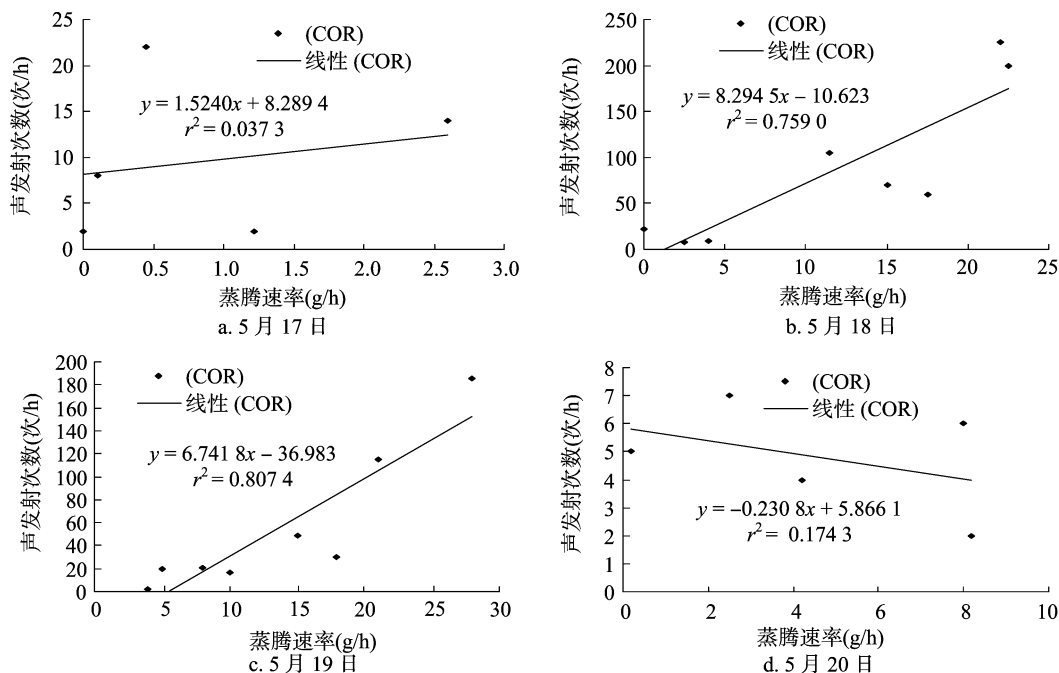


图4 2015年5月17—20日声发射次数与蒸腾速率相关分析

次数与蒸腾速率存在显著的正相关关系,比例系数  $k = 8.2945$ ,相关系数  $r^2 = 0.7590$ 。随着水分胁迫情况的加剧,19日声发射次数与蒸腾速率之间的比例系数  $k = 6.7418$ ,较前日减小,相关系数  $r^2 = 0.8074$ ,较前日增加。但到20日,植株处在严重水分胁迫状态下,声发射次数与蒸腾速率由正相关关系转化为负相关关系,比例系数  $k = -0.2308$ 。从17日到20日,植物累积失水 269.4 g,已经处于严重水分胁迫环境下,由图4可以看出,19日是声发射次数与蒸腾速率二者关系的一个重要转折点,可以作为植物缺水的判断依据。

## 2.2 声发射频次与环境温度结果分析

声发射信号发生的频率受环境因子的影响较大,图5为

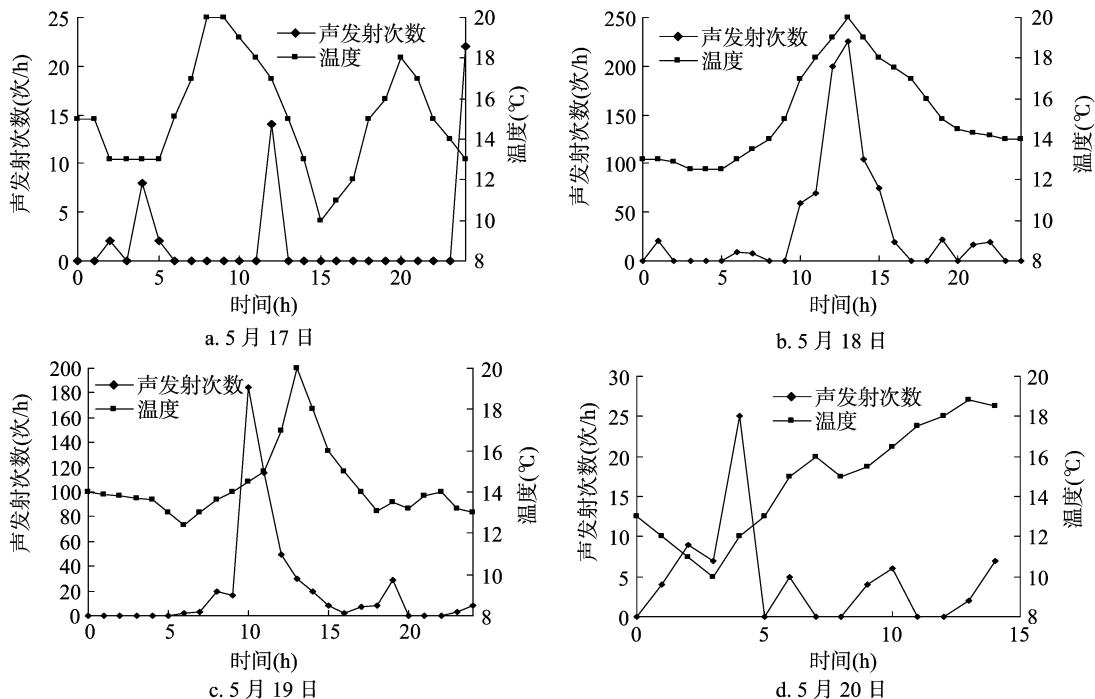


图5 2015年5月17—20日声发射次数与温度变化趋势

## 2.3 其他环境因子关系

图6为2015年5月17、18、19、20日温度、湿度、 $\text{CO}_2$ 浓度变化趋势。从图6可以看出,温度曲线的波谷对应湿度曲线的波峰,反之亦然。空气中水分含量为湿度,温度高会导致水的蒸发速度加快,因此水蒸气含量的升高直接导致空气中的湿度增大,温度与相对湿度呈现反相关的关系。在一定范围内, $\text{CO}_2$ 浓度和湿度呈现一定的正相关性, $\text{CO}_2$ 浓度随着相对湿度的增加而增加。

## 3 结论

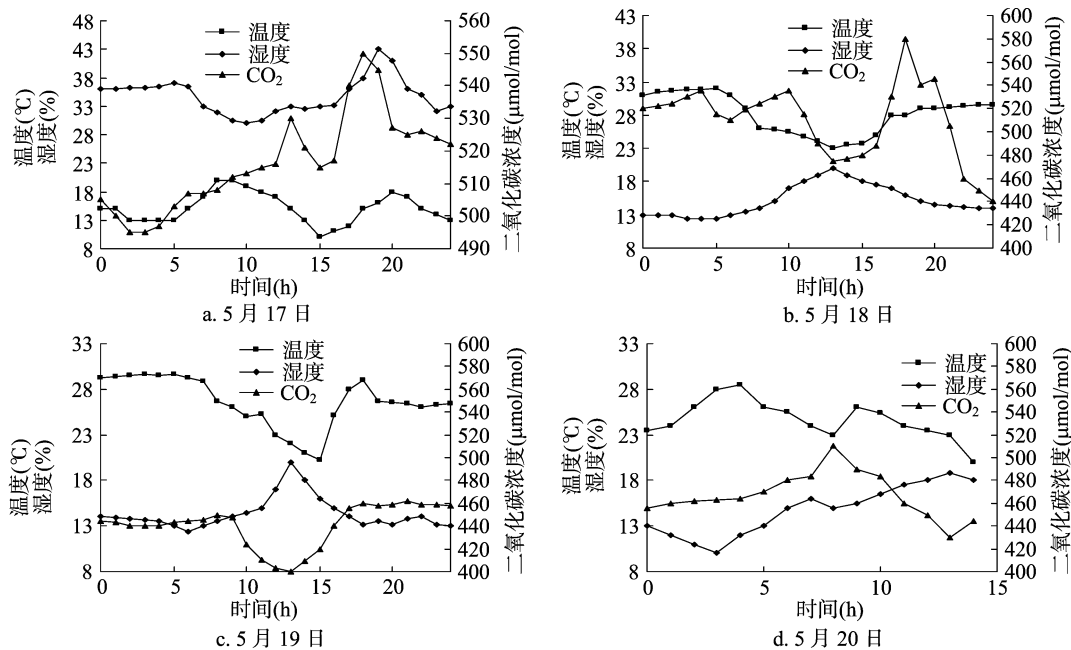
综合分析声发射次数与各环境因子的关系,并结合植物生理学可得:水分的亏缺造成植株导管内水柱断流进而产生声发射现象。因此,综合考虑,盆栽迷你玫瑰植株的声发射次数与蒸腾速率之间存在着密切的关系:一定范围内,蒸腾速率的增大会导致声发射频次增加;同时气温升高、光照度增大及空气湿度减小等气象条件与植物冠层蒸腾速率又有着一定的正相关关系,相应地其声发射事件发生次数也将增加。这同时也证明水分胁迫下的声发射信号能很敏感地反应出植株本身对水分的需求状况,应用于精准灌溉系统具有很好的前景

2015年5月17、18、19、20日声发射次数与温度之间的关系。2015年5月17日灌溉后的第1天,作物近似处在无水分胁迫情况下,声发射的次数较少,受温度影响不大。18日,由于水分胁迫的加剧,随着温度的升高,声发射次数也升高;温度降低,声发射次数也降低。19日,中度水分胁迫状态下声发射发生次数与温度之间的相关关系同18日。但是当作物处在严重水分胁迫状况下,20日声发射发生次数并没有随着温度的升高而升高,这可能是由土壤严重缺水所致,导管内存在大量的空穴,没有足够的水分补充。综上所述,在微水分胁迫和中度水分胁迫情况下,随着温度升高,声发射次数增加,两者之间呈正相关性。

和现实意义,但本试验只选取盆栽迷你玫瑰其中的一个生长阶段,且数据采集时间和采集量还远远不足,因此对其规律本质仍需深入研究。

## 参考文献:

- [1] Tyree M T, Fiscus E L, Wulfschleger S D, et al. Detection of xylem cavitation in corn under field conditions[J]. Plant Physiol, 1986, 82 (2): 597–599.
- [2] Raschi A, Torri F, Zienna P, et al. Cavitation events in *Solanum melongena* L. measured after water stress cycles in field conditions [J]. Acta Horticulturae, 1990, 278: 119–124.
- [3] Okushima L, Sase S, Ohtani T, et al. Plant measurements by acoustice-mission sensor[J]. Acta Horticulturae, 1998, 421: 241–248.
- [4] Jia X L, Ma R K, Zhang Q G, et al. Embolism occurrence in relation to water supply in xylem of winter wheat leaves [J]. Agricultural Sciences in China, 2004, 3(4): 269–276.
- [5] 霍晓静, 钱东平, 吕长飞, 等. 用声发射技术实现作物生理需水信息监测[J]. 节水灌溉, 2008(9): 10–12, 17.
- [6] 游国栋, 王秀清, 杨世风, 等. 基于作物水胁迫声发射的精准灌溉模糊控制模型[J]. 天津科技大学学报, 2011, 26(4): 74–78.

图6 2015年5月17—20日温度、湿度、CO<sub>2</sub>变化趋势

- [7] 郑先鋒, 刘 刚. 基于作物水胁迫声发射技术与 Zigbee 无线传感器网络的精细灌溉系统的设计[J]. 电子器件, 2014, 37(6): 1189–1192.
- [8] 巴青城, 时 玲, 李 皓, 等. 云南省温室花卉精准灌溉系统的发展趋势[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(31): 12480–12482, 12492.
- [9] 周 泓, 汪乐宇, 陈详献. 虚拟仪器系统软件结构的设计[J]. 计算机自动测量与控制, 2000, 8(1): 21–24.
- [10] 马永辉, 刘 康, 杨大志. 基于 LabVIEW 的声发射信号采集分析与处理系统[J]. 煤矿机械, 2011, 32(2): 258–261.
- [11] 时 玲, 任玉灿, 王步飞. 基于虚拟仪器的温室环境因子监控系统的总体架构方案[J]. 云南农业大学学报, 2008, 23(5): 673–677.
- [12] 刘 洋, 王 征, 栾 鑫. 基于虚拟仪器的声发射信号处理平台[J]. 仪器仪表用户, 2010(5): 64–66.
- [13] 郭 振, 贾 鑫, 付 玉, 等. 独立分量分析在声发射信号处理中的应用[J]. 装备制造技术, 2014(2): 108–109, 119.
- [14] 申珂楠, 赵海龙, 丁馨增, 等. 基于 LabVIEW 的木材声发射信号采集与小波析取[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(4):

125–129.

- [15] 沈功田, 耿荣生, 刘时风, 等. 声发射信号参数分析方法[J]. 无损检测, 2002, 24(2): 72–77.
- [16] 公 岷, 柴 松. 声发射信号处理关键技术研究[J]. 无线互联科技, 2015(11): 147–148.
- [17] 赵鹏喜. 基于概率神经网络在声发射信号处理中的应用[J]. 三门峡职业技术学院学报, 2009, 8(2): 90–92.
- [18] 孙圣和. 现代传感器发展方向[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(1): 1–10.
- [19] 王 敏. 温室大棚温湿度、二氧化碳测控系统研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007.
- [20] 任玉灿, 时 玲. 通讯及网络技术在温室环境控制中的应用[J]. 农机化研究, 2006(11): 179–180.
- [21] 孙玉梅, 王 强, 王 龙, 等. 水胁迫声发射自动监测系统在苗木培育中的应用[J]. 农机化研究, 2008(3): 178–190.
- [22] 王 岩, 路桂娟, 王 瑶, 等. 声发射技术在土木工程中的应用研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2012, 32(4): 89–94.