

番茄病害胁迫声发射信号采集与声源定位^{*}

王秀清 张春霞 杨世凤

(天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222)

【摘要】 以番茄为研究对象,利用声发射检测系统对番茄植株的声发射信号进行连续采集,利用上位机软件对采集到的数据进行处理和分析。对番茄的晚疫病病害胁迫声发射信号随病害程度变化进行了统计分析,得出染病植株的声发射现象并不像健康植株那样按照一定的生理周期规律发生,在染病早期作物声发射信号的频次大大增加并且随着病害严重程度而逐渐降低,并出现多峰现象。利用声发射信号到达两路传感器的时差和采集到的两路声发射信号频谱分布变化可以进行声发射源定位判断。

关键词: 番茄 病害胁迫 声发射 信号分析 声源定位

中图分类号: S123; S431.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)04-0159-04

Detection and Identification for Disease Stress Tomato Acoustic Emission Signal

Wang Xiuqing Zhang Chunxia Yang Shifeng

(College of Electronics Information and Automation, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract

Acoustic emission (AE) signals of tomato plants were collected with AE signal detecting system. The collected data were processed and analyzed by using the upper machine software. By statistical analysis on changing of AE signal count with tomato late blight disease stress level, it was concluded that the plants with AE signal would not occur in physiological cycle like healthy plants. In the prophase of blight disease, the AE signal frequency dramatically increased, but decreased slowly in the crop disease progress. The multi-peak phenomenon emerged. Then, noise source location could be identified with time difference between two sensors and changing frequency distribution between different signals.

Key words Tomato, Disease stress, Acoustic emission, Signal analysis, Acoustic emission source identification

引言

植物在生长过程中常遭受多种环境胁迫,如病害、水分亏缺、温度突变等。由病害胁迫和水分亏缺造成作物产量的减少超过了所有其他胁迫的总和,水资源状况和作物病害防治水平已成为评价一个国家或地区经济能否持续发展的重要指标。由于病害胁迫影响植物生长并导致作物产量的减少日趋严重,已引起国内外学者的普遍关注^[1~2]。

Kuroda K 通过研究感染线虫类疾病的松木,发现感染了萎蔫病的松树有异常空穴现象,研究结果表明木质部汁液导管的堵塞是松树病变的决定因

素^[3]。Kenji Fukuda 等对松树落叶病中声发射、水状况和木质部栓塞的相互关系进行了研究。结果表明,在病态早期,伴随着大量导管斑点空穴的出现,声发射(AE)频次升高,在病态晚期,栓塞区域扩大,出现爆炸性的 AE 事件^[4]。

国际上,对于病害胁迫下植物声发射现象的研究起步较晚,报道的成果也很少,国内也鲜见报道^[5]。

本文以番茄为对象,利用声发射技术对番茄的晚疫病病害胁迫声发射信号随病害程度变化进行了统计分析,并利用声发射信号到达两路传感器的时差和采集到的两路声发射信号频谱分布变化进行声

发射源定位判断,为及时发现作物病害,实施精准防治提供依据。

1 总体设计方案

采用 PCI-2 型数据采集卡和 R15 型声发射传感器来检测作物病害胁迫时发出的超声信号,利用上位机软件对声发射信号进行统计分析和处理^[6-8]。温湿度、CO₂ 浓度和光照度等环境因子通过无线传感网络输入上位机,进行相关分析。系统整体检测框图如图 1 所示。

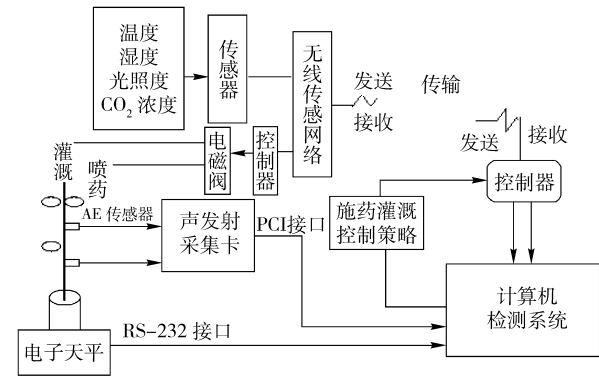


图 1 系统整体检测框图

Fig. 1 System hardware structure diagram

R15 型声发射传感器接收探头为圆柱体,在探头与茎部之间涂上硅酮脂,作为超声波导声剂以增强信号的传输并减少局部脱水^[9]。

实验时选用两种生理状况和植株大小都十分相近的温室盆栽番茄,一种健康而另一种刚刚感染晚疫病,观察植株在不同病害状态下声发射信号的变化情况。

进行对比实验时,将两路声发射传感器分别固定于健康和病害胁迫番茄植株的茎部占整体高度的 1/3 处,检测声发射信息,从而间接反应植物病害胁迫状况,以研究植物病害胁迫状况时的变化规律。

进行病源定位实验时,将两路声发射传感器分别固定于病害番茄植株的茎部占整体高度的 1/3 处和 2/3 处,检测声发射信息。

2 病害胁迫声发射信号频次分布分析

目前在声发射检测中广泛应用的声发射信号分析方法是声发射参数分析方法,且几乎所有声发射检测标准对声发射源的判断均采用简化波形特征参数,虽然参数分析法还有很多地方需完善,但已被证明在多数情况下可以解决工程实践中的很多问题,并具有其他方法不可替代的作用^[10]。

突变型标准声发射信号简化波形参数包含声发射频次、振铃计数、能量、幅度、持续时间和上升时间

等。其中频次反应了声发射信号活动的程度。下面主要分析随植物病害程度变化声发射频次的分布情况。

将为期一个月的观察记录进行统计,声发射频次以每小时累计发生的声发射次数为单位,通过对健康植株声发射信号的连续检测结果分析,发现健康植株每日的声发射情况基本相同,植株的声发射现象按照一定的生理周期规律发生。在一日内声发射信号一般从上午开始逐渐频繁,晚上减弱,通常会出现两次高峰值,称为“双峰区”。

通过对病害胁迫的植株声发射信号的连续检测表明,染病的植株的声发射现象并不像健康植株那样按照一定的生理周期规律发生,而是会发生畸变。

从监测的统计数据来看,植株刚刚染病的初期,叶片还没有变化,其声发射情况和健康植株基本相同,但其频次稍高于健康植株,染病植株的声发射现象也是按照一定的生理周期规律发生,白天会出现“双峰区”,晚上声发射基本停止,其声发射情况如图 2a 所示。但当声发射频次发生突变时,发现叶片有暗绿色圆形病斑出现,此时声发射频次突然激增到正常频次的几倍,白天或夜晚声发射开始出现单峰现象,如图 2b 所示。随着病态植株的声发射频次开始降低,夜晚也开始产生声发射,植株的声发射会出现多峰现象,植株叶片上的病斑进一步扩大。当植株的声发射出现频次高低突变,频次多发而信号强度低时,植株叶片已经布满病斑,并逐渐连成片,

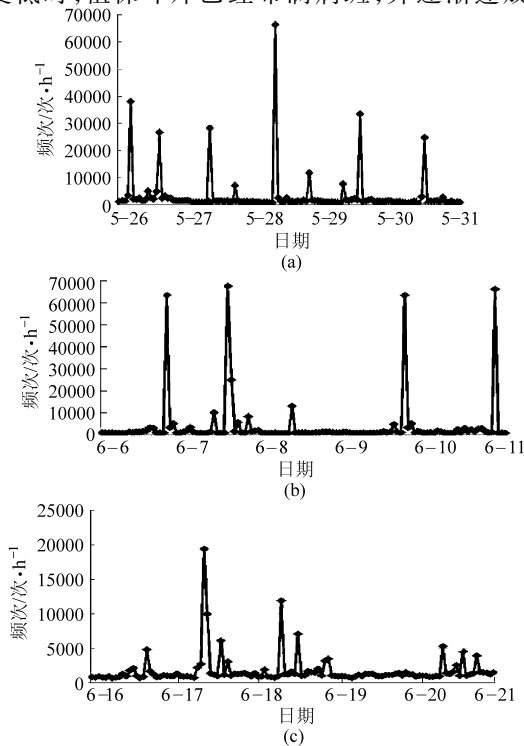


图 2 病害胁迫植株声发射频次图

Fig. 2 AE frequency diagram of diseases stress

(a) 染病初期 (b) 染病中期 (c) 染病晚期

至叶片枯萎,植株接近死亡,如图 2c 所示。

通过长期观察实验,并统计分析实验数据,发现其声发射频次随病害变化分布基本和上述情况一致,表明随着作物病害情况的发生,声发射信号频次会发生急增突变,也即作物有应急反应。随着病害程度加剧,声发射频次由病害潜伏期的“双峰区”变为高频次单峰再至低频次“多峰区”,依据声发射频次分布规律可判断植物病害程度。

根据上述实验统计分析规律,设置声发射信号频次阈值。对多株正常植株同时进行监测,当发现某一植株的声发射检测信号频次高于阈值或异常时,即可初步认为该植株已经感染疫病,对该植株进行跟踪观察和记录,并进行一定的预防。这样就可以在病害早期就发现疫情并且实施相应防治措施。

3 病害胁迫声发射源定位分析

为了更好地识别和判断病害胁迫程度和胁迫位置,探究病害原因和影响因素,有必要对病害源的位置判定进行探讨。对于突变型声发射信号和连续型声发射信号需采用不同的声发射源定位方法^[11]。植物声发射信号属于突发信号,本文利用时域信号到达时差并结合两路信号频域谱含量的不同来定位植物病害胁迫声源。

3.1 利用信号到达两路传感器时差定位

时差定位原理如图 3 所示。本文研究对象为本本植物,直径纤细,声发射探头(1 号和 2 号)先放置在植株高 1/3 处和 2/3 处,到达 1 号探头的时间为 t_1 ,到达 2 号探头的时间为 t_2 ,因此该信号到达两个探头之间的时差 $\Delta t = t_2 - t_1$ 。以 D 表示两探头间的距离,以 v 表示声波在植株中的传播速度,如在 1 号和 2 号探头之间 A 处有病害胁迫产生声发射信号(如图 3a),则声发射源距 1 号探头的距离

$$d_A = (D - \Delta t v) / 2 \tag{1}$$

即
$$\Delta t = (D - 2d_A) / v \tag{2}$$

由式(1)、(2)可知,当 $\Delta t = 0$ 时,声发射信号源位于两探头的正中间,即植株的中央;当 $\Delta t = D/v$ 时,声发射源位于植株高 1/3 处;当 $\Delta t > 0$ 时,声发射源接近植株高 1/3 处;当 $\Delta t = -D/v$ 时,声发射源位于植株高 2/3 处。当 $\Delta t < 0$ 时,声发射源接近植株高 2/3 处。

图 3b 所示为声发射源在探头阵列外部(A 处或 B 处)的情况,此时无论声发射源距 1 号探头有多远,时差 Δt 为正时,声发射源被定位在植株高 1/3 处以下, Δt 为负时,声发射源位于植株高 2/3 处以上,可以进一步移动其中一个探头位置,以使声源位置定位更准确些。

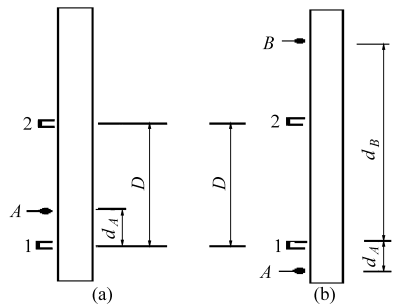


图 3 声发射源时差线定位原理图
Fig.3 Principle diagram of acoustic emission source identification

(a) 声源在探头之间 (b) 声源在探头阵列之外

图 4 是两路声发射信号采集界面,从图中可以看出,在同一时刻,两路声发射信号计数值不同,说明声发射信号到达两路传感器时间不同,衰减程度不同,相同阈值下,计数值不同。据此利用两路声发射信号出现频次判断哪一路附近声发射信号频繁,进行病害胁迫声源区域定位。

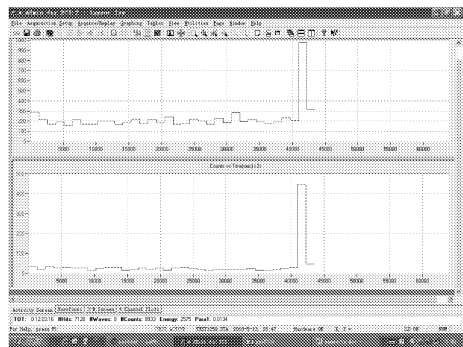


图 4 声发射信号检测界面
Fig.4 AE signal detecting interface

进行长时间连续监测,对声源位置确定实验数据进行统计分析,可以得知不同病害程度下,位于植株不同位置声发射信号的分布情况,从而依此规律进行预防和防治。

通过对植物声发射信号的分析研究发现,植物声发射信号具有一定的时空分布规律,不同时间、不同部位声发射信号的分布特征是不同的。即使是在不同环境因子,声发射信号有很大差异的情况下,声发射频次最高的部位是低于植株高的 1/3 处,其次是高于 1/3 处,低于植株高 1/3 处是高于植株高 1/3 处的 2~4 倍,在其他情况下,有时甚至有十几倍的差距。

3.2 利用频域谱含量不同定位

利用声发射信号处理软件可以获得声发射信号各参数如振铃计数、上升时间、反射频率等的统计分布情况。依据一个月连续监测数据计算日平均参数,并分析各参数日平均变化曲线,探寻声发射信号发生规律^[12]。

尽管在植物体内传播的声发射信号由于导管纤维、木质部、组织器官、水分等多种成分的存在,而使信号发生畸变,传感器所获得的信号已非源信号,但根据多次测量结果和分析,发现作物声发射信号各统计均值比较平稳,有一定的变化规律,声发射事件的衰减过程相似,上升时间和持续时间很短。

由于声发射信号在木质部传输过程中会发生衰减,高频信号衰减快,低频信号衰减慢,故离声源较近的检测点高频成分多一些,离声源较远的检测点低频成分多一些,对两路声发射信号分别进行频谱分析,频域中高频分量多些或对应高频分量幅值大些,就可视为声发射信号在该路传感器附近。分析对比超声发射信号频率分布即可大致估计声源位置。利用声源分布规律,可以更好地安装声发射传感器,以获得更全面的声发射信息。

4 结 论

(1)通过对植物病害胁迫声发射信号的采集和分析,获得了声发射信号随病害胁迫程度变化的统

计分布规律。在病害潜伏初期,声发射信号变化规律与健康植株的类似,但其声发射频次偏高,故可引起重视,及早跟踪观察。染病中期的植株声发射频次将大大增加,植物叶片出现病变现象,即当发现声发射信号分布异常时,就要进行及时防治。当 AE 事件爆发,分布出现多峰现象时,叶片上已经布满病斑,此时需要综合防治。

(2)根据监测统计结果,设置声发射信号频次峰值预警线,对检测的声发射信号进行判断,若声发射频次峰值超过阈值即可视为该植株已经感染疫病,这样就可以在病害早期就发现疫情并且实施相应抑制措施。

(3)针对病害胁迫声发射信号特点,提出了声发射信号的声源识别方法。选取两路声发射信号,应用时频域分析方法,进行病害声源识别,即利用两路声发射信号时差、频谱分布、幅值大小,结合声发射信号在木质部的传输速率,进行对比和必要的计算,即可确定声源位置。再结合观察作物外观及早发现病害情况,为病害防治提供依据。

参 考 文 献

- Swart W J, Conradie E, Wingfield M J, et al. Effect of water stress on the development of cambial lesions caused by *Cryphonectria cubensis* on *Eucalyptus grandis*[J]. *Plant Disease*, 1992, 76(7):744 ~ 746.
- Blodgett J T, Kruger E L, Stanosz G R. Effects of moderate water stress on disease development by *Sphaeropsis sapinea* on red pine[J]. *Phytopathology*, 1997, 87(4): 422 ~ 428.
- Kuroda K. Acoustic emission technique for the detection of abnormal cavitation in pine trees infected with pine wilt disease [C]//International Symposium on Pine Wilt Disease Caused by Pine Wood Nematode. Beijing: Chinese Society of Forestry, 1995: 53 ~ 58.
- Kenji Fukuda, Shin Utsuzawa, Daisuke Sakaue. Correlation between acoustic emission, water status and xylem embolism in pine wilt disease[J]. *Tree Physiology*, 2007, 27(7): 969 ~ 976.
- 王秀清,杨世风,刘玉良,等. 作物病害胁迫声发射信号与环境因子分析[J]. *天津科技大学学报*, 2010, 25(6): 54 ~ 57. Wang Xiuqing, Yang Shifeng, Liu Yuliang, et al. Analysis of crop disease stress acoustic emission signals and environmental factors[J]. *Journal of Tianjin University of Science & Technology*, 2010, 25(6): 54 ~ 57. (in Chinese)
- 杨世风. 作物水胁迫声发射检测及视情灌溉系统的研究[J]. *农业工程学报*, 2001, 17(5): 150 ~ 153. Yang Shifeng. Test of water stress in crops with acoustic emission technology and automatic irrigation system[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2001, 17(5): 150 ~ 153. (in Chinese)
- 杨世风. 作物水胁迫声发射测试系统的研究[J]. *振动测试与诊断*, 2001, 21(增刊): 123 ~ 127. Yang Shifeng. Research on water stress monitoring system based on acoustic emission technique for crops[J]. *Journal of Vibration Measurement*, 2001, 21(Supp.): 123 ~ 127. (in Chinese)
- 杜广平. 植物与植物生理[M]. 北京:北京大学出版社, 2007.
- Yang Shifeng, Guo Jianying, Zhao Jimin, et al. Study on detecting system of crop disease stress with acoustic emission technology[C]//Proceedings of the Joint Conference of the 2009 Symposium on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications and 2009 China Symposium on Frequency Control Technology, 2009: 107 ~ 111.
- 沈功田,耿荣生,刘时风. 声发射源定位技术[J]. *无损检测*, 2002, 24(3): 233 ~ 236. Shen Gongtian, Geng Rongsheng, Liu Shifeng. Acoustic emission source locaiton [J]. *Nondestructive Testing*, 2002, 24(3): 233 ~ 236. (in Chinese)
- 耿荣生,沈功田,刘时风. 基于波形分析的声发射信号处理技术[J]. *无损检测*, 2002, 24(6): 257 ~ 261. Geng Rongsheng, Shen Gongtian, Liu Shifeng. Acoustic emission signal processing technique based on waveform analysis [J]. *Nondestructive Testing*, 2002, 24(6): 257 ~ 261. (in Chinese)
- Wang Xiuqing, Yang Shifeng, Zhang Chunxia. Analysis and mathematical modeling for crop acoustic emission signal with disease and water stress[C]//Proceedings of the Joint Conference of the 2009 Symposium on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications and 2009 China Symposium on Frequency Control Technology, 2009: 280 ~ 283.