

Discrimination of Different Types Damage of Tomato Seedling by Electronic Nose*

CHENG Shaoming¹, WANG Jun^{1*}, MA Yanghui², WANG Yongwei¹

(1. College of Bio-Systems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;
2. College of Information, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The profiles of volatile compounds emitted by plants varies in response to different damage. The potential of electronic nose technology to monitor such changes, with the aim of diagnosing plant health was investigated. An electronic nose (E-nose) was used to analyse tomato seedlings that were subjected to different types of damage (infection by Early blight disease, infection by Gray mold disease, mechanically damage, and undamaged). Principal component analysis (PCA), linear discrimination analysis (LDA), back-propagation neural network (BPNN), and support vector machine (SVM) network were used to evaluate the E-nose data. The results indicated that the E-nose can successfully discriminate between tomato seedling with different types of damage. The results showed that PCA and LDA can distinguish different types damage of tomato seedling (EP, GP, and CP/MP). Samples from groups CP and MP overlapped partially. Back-propagation neural network (BPNN) and support vector machine (SVM) network were used to evaluate the E-nose data. Good discrimination results were obtained using SVM and BPNN. The results demonstrate that it is plausible to use E-nose technology as a method for monitoring damage in tomato seedling.

Key words: tomato seedling; different damage; electronic nose

EEACC: 7230J; 7540

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2012.09.002

基于电子鼻系统的番茄苗不同种类损伤的 区分效果研究*

程绍明¹, 王 俊^{1*}, 马杨琿², 王永维¹

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029; 2. 浙江科技学院信息学院, 杭州 310023)

摘 要: 通过对早疫病病害番茄苗、灰霉病病害番茄苗、机械损伤番茄苗和对照番茄苗的电子鼻响应信号的对比, 可以看出不同处理的番茄苗样本电子鼻的响应信号是不同的, 表明用电子鼻响应信号对番茄苗不同种类损伤进行预测是可行的。从 PCA 结果来看, 早疫病病害的番茄苗和灰霉病病害的番茄苗能很好区分开, 机械损伤的番茄苗和正常处理的番茄苗产生了重叠现象。从 LDA 结果可知, 四种处理番茄苗本能很好的区分, 机械损伤番茄苗样本与正常处理的番茄苗样本比较接近, 采用 LDA 的区分效果明显比 PCA 要好。利用 BP 神经网络和支持向量机两种识别模式对四种不同损伤番茄苗样本的预测结果, 对比预测结果, 两种模型都能对样本进行很好的区分。

关键词: 番茄苗; 不同损伤; 电子鼻

中图分类号: TP242.64

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2012)09-1184-05

人们很早就知道植物在生长过程中会释放出挥发性物质, 但是在受到病害侵害后植物会产生特异性的挥发物在近几年研究才被证明。据统计, 植物通过体内次生代谢途径合成的挥发性有机物大约

有 30000 多种。植物的挥发性有机物信号可以自发产生, 也可以是因为多种因素诱导产生的, 比如植食性昆虫的侵害、病原菌的危害、植物受到的机械损伤、光照及温度改变等环境因素^[1-6]。虽然关于挥

发物产生机制问题现在也没有一个统一的理论,但是通过以上研究可以肯定植物受到侵害后可以产生特异性挥发物。

电子鼻是一种新颖的分析、识别和检测复杂气味和大多数挥发性成分的仪器。它是根据仿生学原理,由传感器阵列和自动化模式识别系统所组成。与普通的化学分析仪器,如色谱仪、光谱仪等不同,电子鼻得到的不是被测样品中某种或某几种成分的定位与定量结果,而是给予样品中挥发性成分的整体信息,也称“指纹”数据。基于电子鼻的特点及其方便快速的优越性,国内外在食品安全^[7-13]、环境检测^[14-15]、医疗卫生^[16-17]等方面有不少应用和研究成果,然而电子鼻在农作物病虫害等损伤方面的研究未见有相关报道。

本次试验拟以不同种类损伤的番茄苗作为试验对象,试验的主要目的在于利用电子鼻对不同损伤的番茄苗进行区分和检测,为番茄苗的检测提供一种新的途径。

1 试验材料和方法

1.1 实验材料

将浙杂 809 番茄种子播在塑料钵(Φ8 cm×12 cm)中,在塑料温室中进行培育,每钵 1 株苗,定期浇水施肥,待苗长到 35 d,苗高 25 cm~30 cm 时用于实验。

1.2 实验装置

1.2.1 番茄苗挥发物电子鼻检测的采样装置

图 1 为番茄苗采样系统的示意图,整个系统由空气过滤器、活性炭、特氟隆管、进气口、玻璃容器(40 cm 高×10 cm 直径)、密封板、番茄苗和支架台 8 个部分组成。

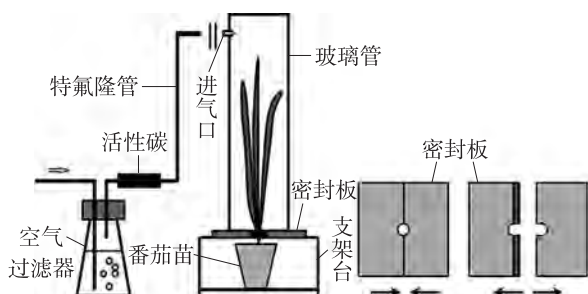


图 1 静态顶空采样系统示意图

1.2.2 电子鼻

实验采用的电子鼻系统是德国 Airtense 公司的 PEN2 便携式电子鼻(Portable Electronic Nose)。系统组成主要包含下面几个部分:传感器阵列、采样通道、内置泵、控制单元和计算机。软件部分主要是

Airtense 公司编制的电子鼻配套软件 WinMaster。该软件主要用来实现电子鼻工作过程的控制及一些基本的数据分析。电子鼻系统各个传感器性能见表 1。

表 1 PEN2 电子鼻的各传感器名称及性能特点

| 传感器序号 | 性能描述 | 各项成分体积浓度/(mL·m ⁻³) |
|-------|----------------|--------------------------------|
| S1 | 芳香成分 | 甲苯,10 |
| S2 | 灵敏度大,对氮氧化合物很灵敏 | NO ₂ ,1 |
| S3 | 氨水,对芳香成分灵敏 | 苯,10 |
| S4 | 主要对氢气有选择性 | H ₂ ,100 |
| S5 | 烷烃,芳香成分 | 丙烷,1 |
| S6 | 对甲烷灵敏 | CH ₄ ,100 |
| S7 | 对硫化物灵敏 | H ₂ S,1 |
| S8 | 对乙醇灵敏 | CO,100 |
| S9 | 芳香成分,对有机硫化物灵敏 | H ₂ S,1 |
| S10 | 对烷烃灵敏 | CH ₄ ,10 |

1.3 试验方法

1.3.1 番茄苗样本处理

将准备好的番茄苗进行早疫病、灰霉病菌接种,每株番茄苗接种病菌的叶片数量为 4 叶片,接种后,将番茄苗放置于 35 ℃、湿度 90% 的环境中培养 24 h,以使病菌快速入侵番茄苗叶片。早疫病病害番茄苗处理和灰霉病菌病害番茄苗处理分别标记为 EP 和 GP。

每株番茄苗利用 3 号大头针(0.8 mm×26 mm)于叶片上针刺 90 次,作为机械损伤处理,平均作用于每个叶片,标记为 MP。

对照组番茄苗不进行任何处理,标记为 CP。

1.3.2 电子鼻测试

在进行电子鼻实验前,四组番茄苗分别置于顶空采样装置中,顶空产生时间为 30 min 后进行电子鼻测试。电子鼻测试时的参数设置见表 2。

表 2 电子鼻参数设置

| | 运行时间/s | 泵流速/(mL·min ⁻¹) |
|--------|--------|-----------------------------|
| 基线校准时间 | 300 | 600 |
| 采样时间 | 65 | 200 |
| 清洗时间 | 50 | 600 |
| 数据记录 | 1 次/s | |

1.4 数据分析

利用主成分分析、线性判别分析方法对电子鼻

数据进行降维处理;采用BP神经网络和支持向量机分析对番茄苗样本进行分类。数据处理软件用SAS和Matlab。

2 结果和讨论

2.1 电子鼻传感器对番茄苗挥发物的响应

使用静态顶空采样对番茄苗样本进行电子鼻测试,对比经过针刺处理与未进行针刺处理(对照组)番茄苗样本的电子鼻响应信号。图2是电子鼻10个传

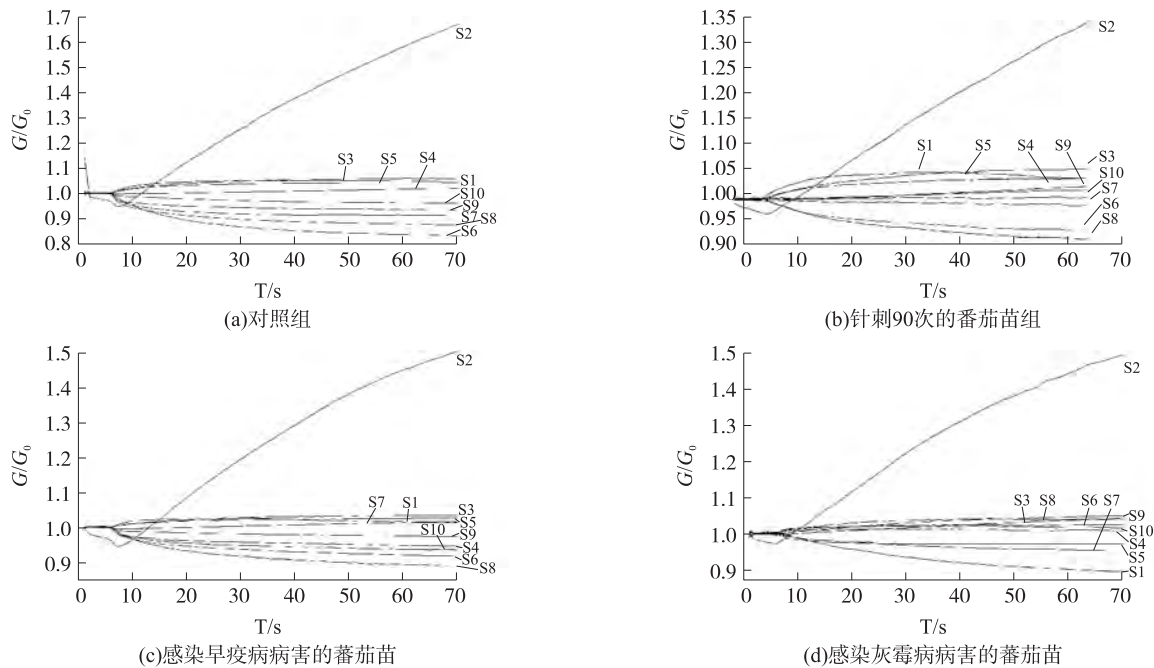


图2 电子鼻10个传感器对不同损伤番茄苗样本的响应曲线

从图2(a)、(b)、(c)、(d)可以看出,不同处理的番茄苗传感器响应曲线是不同的。图2(a)为没有受到损伤番茄苗的响应信号, G/G_0 大致在0.94~1.28之间;图2(b)为受到机械损伤番茄苗的响应信号, G/G_0 大致在0.91~1.35之间;图2(c)为感染早疫病病害的番茄苗的响应信号, G/G_0 大致在0.9~1.55之间,图2(d)为感染灰霉病病害的番茄苗的响应信号, G/G_0 大致在0.85~1.50之间。受到不同损伤的番茄苗传感器阵列响应信号的变化范围要明显大于未受到损伤的番茄苗,这可能是由于番茄苗受到损伤后产生的挥发性物质增加了,从而增强了电子鼻传感器信号的变化。这表明,利用电子鼻传感器信号来区分番茄苗遭受不同种类的损伤是可能的。

2.2 主成分分析和线性判别分析

采用主成分分析方法(Principal Component Analysis, PCA),对机械损伤、早疫病病害、灰霉病病害、对照组四组不同处理番茄苗样本的电子鼻60s的响应数据进行分析,图3是四种处理番茄苗的二

感器对不同处理番茄苗样本的响应曲线(a:对照组,b:针刺90次的番茄苗组,c:感染早疫病病害的番茄苗,d:感染灰霉病病害的番茄苗)。图中横轴为采样时间,纵轴为信号值,其中 G 是传感器接触到样品气体后的电导率, G_0 是传感器在经过活性炭过滤气体清洗后的电导率。曲线上的点代表着番茄苗挥发物通过传感器阵列时,电阻率随时间的变化情况,每一条曲线代表着一个传感器的响应曲线。在本次实验中,取第60s的时间点作为模式识别的时间点。

维PCA结果图,从PCA结果可知前二个主成分的贡献率达到92.94%。从各处理的区分效果来看,四种处理番茄苗样本大致可以分成三部分,依次为受早疫病危害的番茄苗样本(ZP),受灰霉病危害的番茄苗样本(HP),受机械损伤的番茄苗样本(MP)和正常处理的番茄苗样本(CP)。机械损伤的番茄苗样本和正常处理的番茄苗样本产生了重叠现象,可能是机械损伤的番茄苗样本和正常处理的番茄苗样本产生的挥发性物质更为相似,具体成分需要利用气质联用仪进行进一步分析。由于PCA区分机

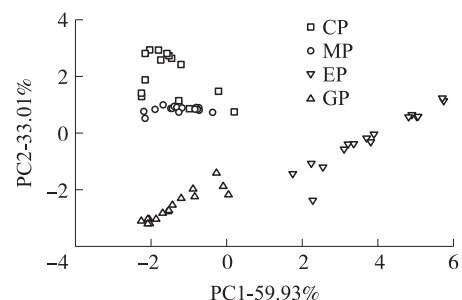


图3 不同处理番茄苗PCA图

械损伤的番茄苗和正常的番茄苗效果不理想,我们采用线性判别分析方法继续进行分析。

采用线性判别分析方法(Linear Disctiminant Analysis, LDA),对机械损伤、早疫病病害、灰霉病病害、对照组四组不同处理番茄苗样本的电子鼻 60 s 的响应数据进行分析,四种处理番茄苗的二维 LDA 结果见图 4。从图 4 可知,四种处理番茄苗样本能很好的区分,机械损伤番茄苗样本与正常处理的番茄苗样本比较接近,采用 LDA 的区分效果明显比 PCA 要好。

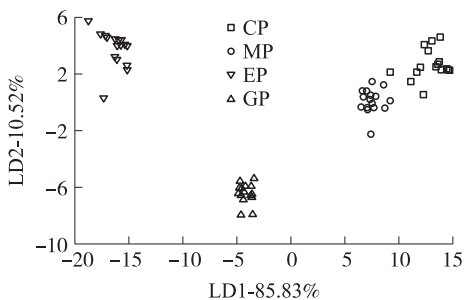


图4 不同处理番茄苗 LDA 图

2.3 BP 神经网络分析

利用电子鼻对番茄苗样本响应信号 60 s 的数据进行分析,以 10 个传感器响应数据作为输入,番茄苗样本作为输出,输出层选择为 1。设定目标误差为 0.001,网络学习速率为 0.01,训练迭代次数为 1 000 次,隐含层神经网络多次测试确定。选择 40 个番茄苗样本作为训练(每组 10 个样本),24 个样本作为测试组(每组 6 个样本)。通过反复测试来调整隐含层神经元数来优化网络结构,得到较好网络结构为 10(输入)-15(隐含)-1(输出)的三层 BP 神经网络(Back Propagation Neural Networks, BPNN)。表 3 是采用 10-15-1 结构的 BP 神经网络的判别结果,训练集和测试集的正确率分别为 100% 和 95.8%。在对测试集进行判别时,对照番茄苗(CP)、机械损伤番茄苗(MP)和灰霉病病害番茄苗(HP)的预测正确率均为 100%,早疫病病害番茄苗(ZP)的预测正确率为 83.3%,其中有一个样本被误判入灰霉病病害。

2.4 支持向量机分析

利用电子鼻对不同损伤番茄苗样本响应信号 60 s 的数据进行分析,以 10 个传感器响应数据作为输入进行支持向量机分析(Support Vector Machine, SVM)。选择 40 个番茄苗样本作为训练(每组 10 个样本),24 个样本作为测试组(每组 6 个样本)。利用径向基核函数对电子鼻原始数据进行支持向量机分析结果见表 3,训练集和测试集的正确率分别为

100% 和 95.8%。测试集中对照番茄苗(CP)、机械损伤番茄苗(MP)和灰霉病病害番茄苗(HP)的预测正确率均为 100%,早疫病病害番茄苗(ZP)的预测正确率为 83.3%,其中有一个样本被误判入灰霉病病害。

表3 不同识别模式对番茄苗样本的区分效果

| 不同识别模式 | 训练集正确率/% | 测试集正确率/% | | | |
|--------|----------|----------|-----|------|-----|
| | | CP | MP | ZP | HP |
| BPNN | 100 | 100 | 100 | 83.3 | 100 |
| SVM | 100 | 100 | 100 | 83.3 | 100 |

采用两种识别模式对四种不同处理番茄苗样本的预测,结果见表 3。对比预测结果,两种模型都能对样本进行很好的区分,区分效果都较好。从模型预测结果可以看出,可以建立电子鼻信号与番茄苗不同损伤之间的关系,说明用电子鼻响应信号对番茄苗样本损伤进行预测是可行。

3 结论

(1)通过对比感染灰霉病、感染早疫病、机械损伤和对照的四种不同番茄苗的电子鼻响应信号,可以看出不同处理的番茄苗样本电子鼻的响应信号是不同的,说明用电子鼻响应信号对番茄苗不同种类损伤进行预测是可行。

(2)采用 PCA 区分四种不同损伤的番茄苗时,机械损伤的番茄苗和对照组有部分重叠,而采用 LDA 则能很好的区分四种不同损伤的番茄苗,表明采用 LDA 的区分效果明显比 PCA 要好。

(3)利用 BP 神经网络和支持向量机两种识别模式对四种不同损伤的番茄苗进行预测,两种识别模式的区分效果都很好。测试集中对照番茄苗(CP)、机械损伤番茄苗(MP)和灰霉病病害番茄苗(HP)的预测正确率均为 100%,早疫病病害番茄苗(ZP)的预测正确率为 83.3%。

参考文献:

- [1] De Lacy Costello B P J, Evans P, Ewen R J, et al. Gas Chromatography-Mass Spectrometry Analyses of Volatile Organic Compounds from Potato Tubers Inoculated with *Phytophthora infestans* or *Fusarium coeruleum*[J]. *Plant Pathol*, 2001, 50:489-496.
- [2] Hampden J R. Effects of C6-C10 Alkenals and Alenols on Eliciting a Defense Response in the Developing Cotton boll[J]. *Phytochem*, 1992, 31:2305-2308.
- [3] Bakdwin I T, Hakutscgie R, Paschold A, et al. Volatilesignaling in Plant-Plant Interactions: Talking Tress in the Genomics Era[J]. *Science*, 2006, 311:812-815.

- [4] Arimura G, Ozawa R, Horiuchi J, et al. Plant-Plant Interactions Mediated by Volatiles Emitted from Plants Infested by Spider Mites [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2001, 29(10): 1049-1061.
- [5] Pare P W, Tumlinson J H. Denovo Biosynthesis of Volatiles Induced by Insect Herbivory in Cotton Plants [J]. *Plant Pathol*, 1997, 114: 1161-1167.
- [6] 刘芳, 娄永根, 程家安. 虫害诱导的植物挥发物: 植物与植食性昆虫及其天敌相互作用的进化产物 [J]. *昆虫知识*, 2003, 40(6): 481-485.
- [7] Pang L, Wang J, Lu X, et al. Discrimination of Storage Age for Wheat by E-Nose [J]. *Transactions of the ASABE*, 2008, 51: 1707-1712.
- [8] Cheng S, Wang Y, Wang J, et al. Detection of Eggshell Crack Using Electronic Nose [J]. *Transactions of the ASABE*, 2010, 53: 789-794.
- [9] 于慧春, 王俊, 张红梅, 等. 龙井茶叶品质的电子鼻检测方法 [J]. *农业机械学报*, 2007(7): 103-106.
- [10] 程绍明, 马杨王军, 周博, 等. 基于电子鼻的番茄种子不同储藏时间的鉴别研究 [J]. *传感技术学报*, 2011, 24(7): 941-945.
- [11] 庞林江, 王俊, 路兴花. 电子鼻判别小麦陈化年限的检测方法研究 [J]. *传感技术学报*, 2007, 20(8): 1717-1722.
- [12] 周亦斌, 王俊. 基于电子鼻的番茄成熟度及贮藏时间评价的研究 [J]. *农业工程学报*, 2005, 21(5): 113-116.
- [13] 周博, 王永维, 王俊, 等. 鸡蛋贮藏时间和新鲜度的电子鼻检测 [J]. *浙江大学学报: 工学版*, 2010, 44(5): 863-869.
- [14] Sohn J H, Hudson N, Gallagher E, et al. Implementation of an Electronic Nose for Continuous Odour Monitoring in a Poultry Shed [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2008, 133: 60-69.
- [15] Vito D, Massera E, Piga M, et al. On Field Calibration of an Electronic Nose for Benzene Estimation in an Urban Pollution Monitoring Scenario [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2008, 129: 750-757.
- [16] Dummer J, Storer M, Swanney M, et al. Analysis of Biogenic Volatile Organic Compounds in Human Health and Disease [J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2011, 30(7): 960-967.
- [17] Bernabei M, Pennazza G, Santonico M, et al. A Preliminary Study on the Possibility to Diagnose Urinary Tract Cancers by an Electronic Nose [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2008, 131: 1-4.



程绍明(1974-), 男, 博士, 讲师, 浙江大学。主要从事农产品品质检测, chengshaoming@zju.edu.cn;



王俊(1965-), 男, 浙江大学教授、博士生导师。入选教育部新世纪优秀人才支持计划和浙江省“151 人才工程(重点和第一层次)”。先后主持国家高技术研究发展计划(863 计划)1 项、国家自然科学基金项目 5 项、高校博士学科点基金 2 项、浙江省科技厅重大招标项目 2 项、其它省部级项目 10 余项。已获国家发明专利 15 项。在国家级学报和境外学术刊物上已发表 100 余篇论文, 其中 SCI 收录 60 余篇。发表的 SCI 收录论文中被引用 300 余次。研究方向之一为电子鼻电子舌技术的农产品品质检测, jwang@zju.edu.cn。