

热红外成像用于番茄花叶病早期检测的研究

徐小龙, 蒋焕煜*, 杭月兰

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

摘要: 由于蒸腾作用与植物叶片温度成负相关; 利用热红外成像技术研究感染番茄花叶病的番茄叶片表面温度的变化与叶片病变程度的关系, 可为实现番茄花叶病早期检测提供依据。以感染番茄花叶病的番茄叶片为材料, 在温室条件下, 利用热红外成像仪连续检测受病害侵染的番茄叶片表面的温度变化, 发现在叶片的病变部位高于正常叶片 0.5~1.2℃, 且在肉眼无法观测到病变时, 从热红外图像已经能发现感染叶片与正常叶片间明显的温度差异。因此, 在温室条件下, 感染番茄花叶病的叶片表面温差可以显著反应番茄叶片染病程度, 叶面温差可以作为鉴别叶片是否感染番茄花叶病的一个指标, 将热红外成像技术运用于番茄花叶病早期检测是可行的。

关键词: 热红外成像, 病害, 温度测量, 图像采集, 番茄花叶病

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.05.024

中图分类号: S127, S431

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-05-0145-05

徐小龙, 蒋焕煜, 杭月兰. 热红外成像用于番茄花叶病早期检测的研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 145-149.

Xu Xiaolong, Jiang Huanyu, Hang Yuelan. Study on detection of tomato mosaic disease at early stage based on infrared thermal imaging[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(5): 145-149.

(in Chinese with English abstract)

0 引言

番茄花叶病主要是由以烟草花叶病毒和黄瓜花叶病毒为主的多种病毒单独或复合感染引起的^[1], 该病病毒寄主范围很广, 除番茄外, 还包括茄科、十字花科、藜科、苋科等植物共有 36 科 200 多种植物。烟草花叶病毒能在多种植物上越冬, 且种子带毒。病毒失毒温度为 93~96℃, 稀释终点为 1:100 万倍, 体外保毒期为 72~96 h, 在干燥的病组织内可以存活 30 年以上。黄瓜花叶病毒发病适宜温度为 20℃, 气温高于 25℃多表现隐症。

感染番茄花叶病的植株, 最初新叶明脉, 沿叶脉部分逐渐呈带状带褪色并在绿色部分出现浓淡不同的花叶。该症状一般在离生长点 2~3 片叶处最为明显, 往下则减轻。番茄植株一旦染毒, 立即停止生长, 植株矮化, 株高不足健株的一半。由于其生长点停止生长, 常出现丛生状态。而且着花不良, 花瓣变小, 花瓣和萼片上开始出现花叶, 坐果数明显地减少, 果实小, 造成减产。如果幼苗期染病。危害则更大^[2]。因此, 如果可以在番茄植株感染花叶病的早期就能发现, 必将大大降低番茄花叶病带来的危害, 同时又可以大量的降低农业用药以及其造成的环境污染。

在正常情况下植物的叶片温度主要通过蒸腾作用来维持相对的稳定性^[3], 且两者呈负相关性^[4]; 热红外成像可以监测植物叶片表明的温度, 一旦遇到外界胁迫如病害的影响, 叶温的变化将被用来监测诊断植株的受胁迫情况^[5]。Chaerle 等^[6]曾利用热红外成像法研究了植物与病原体的交互作用, 发现在任何病症可视化之前, 烟草叶片对烟草花叶病毒 (TMV) 的抵抗性就可以通过热成像法检测出来, 温度的上升局限在受感染部位, 并且在细胞死亡可视化 8 h 前就开始剧烈升温, 此过程以光晕围绕坏死中心的形式一直可被监测。Jones 等^[7]利用红外热成像技术对田园中葡萄叶片的气孔关闭情况进行了监测研究, 试验使用 Snap Shot225 红外成像设备, 设定潮湿和干燥下的相关表面, 研究中还讨论了使用热红外成像技术对基于阴暗处和光照处叶片温度情况的分析来检测葡萄叶面的气孔关闭情况, 证明参考表面的温度情况受植物冠层水分状况的影响。Lindenthal 等^[8]利用数字红外热图像对霜霉病发展对黄瓜叶片蒸腾作用的影响做了研究。发现黄瓜叶片上的霜霉病的进程与蒸腾作用的变化相关联, 红外热图像显示出受感染和未受感染的黄瓜叶片在空间和时间上的变化, 受感染的叶片比正常叶片的温度下降达 0.8℃。康燕丽等^[9]做了多种胁迫下拟南芥气孔“开”和“闭”突变体鉴定及遗传初步分析的研究, 发现利用远红外热像仪, 在不伤害植物的前提下, 对经化学诱变的拟南芥幼苗进行多种胁迫信号 (干旱、H₂O₂ 及 CO₂ 等) 单独或复合处理, 以幼苗叶片温度高于或低于正常植株 0.5℃以上为筛选指标, 发现所得突变体为隐性单基因突变所致, 并且突变体对气孔关闭的调节上都与野生型有明显的差异。段春阳等^[10]做了拟南芥干旱突变体的筛选及其保卫细胞原生质体分离的研究, 用远红外成像技术检测突变体和野生型叶面温度的微小差异, 对 M₂ 代幼苗进行了大规模的筛选, 当植物叶片

收稿日期: 2011-03-28 修订日期: 2011-10-13

基金项目: 农业部“引进国际先进农业科学技术”(2011-G32); 博士点基金(20110101110086); 教育部新世纪人才支持计划(NCET-10-0689); 浙江省“新世纪 151 人才工程”。

作者简介: 徐小龙(1987-), 男(汉), 山东临沂, 主要从事植物病害早期检测的研究。杭州 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 310058。Email: qq273497964@163.com

※通信作者: 蒋焕煜(1972-), 男(汉), 浙江宁海, 教授, 博士生导师, 主要从事作物生长信息获取和智能化农业装备技术研究。杭州 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 310058。Email: hyjiang@zju.edu.cn

温度与野生型即正常植株的叶片温度有明显差异, 大约温差达到 $0.6\sim 1.2^{\circ}\text{C}$, 可以确定为对干旱敏感或不敏感拟南芥候选突变体。Stoll 等^[11]发现利用红外热像图可以区分在不同叶片水分状况下葡萄叶片是否感染葡萄霜霉病, Gowena^[12]等做了有关将热红外应用于食品质量检测和安全评估方面的研究。目前, 中国的研究主要集中在大范围的监测, 而对作物病害单株或小范围内的精确监测的研究尚少。

本研究以浙江大学培育的优良的番茄植株为材料, 利用高分辨率的红外热成像仪研究在感染花叶病毒条件下番茄植株叶温的变化趋势, 以及番茄叶温变化与番茄花叶病严重程度的关系, 以此为依据, 探讨利用热红外成像仪进行番茄花叶病早期监测的可行性。

1 材料与方法

1.1 试验材料和设备

番茄植株(浙杂 207)栽培在浙江大学人工气候室内, 温室内的相对湿度保持在 $50\%\sim 70\%$, 所选番茄植株每株至少有 4 片完全展开的叶片。将每株番茄植株叶片等分为对照组和接种组 2 组, 接种组叶面接种少量的孢子液, 对照组则涂抹等量的蒸馏水, 接种后将番茄植株放在温度为 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 80% 以上的黑暗条件下 $8\sim 12\text{ h}$, 以确保接种成功^[13]。从浙江大学农业与生物技术学院获得烟草花叶病毒 (TMV-UI), 黄瓜花叶病毒 (CMV-RB)。将孢子液稀释成 $2.5\times 10^4\sim 5\times 10^5\text{ mL}$, 用喷壶喷洒到接种叶片表面^[14]。

红外成像系统是由热红外成像仪、图像存储卡、计算机^[15]等硬件组成^[16-17], 为减少大气中的水蒸气对热红外的吸收, 采用了波长范围为 $8\sim 14\ \mu\text{m}$ 的伪彩色热成像仪 SAT-G90, 非致冷焦平面, 分辨率为 320×240 像素, PAL/NTSC 制式输出; 可测温范围 $-20\sim 600^{\circ}\text{C}$, 环境操作温度 $-15\sim 50^{\circ}\text{C}$, 温度分辨率 0.08°C , 在屏幕内移动十字光标可读取图像内任一点温度值。

SAT-G90 的分析软件采用中文界面、Windows 平台, 具有点、线、面(区域)温度分析功能。报告具有通用性, 可自动生成报告且可以方便的转换为 word 形式。

所用的计算机 CPU 为 Pentium E5300, 2G 内存, 320G 硬盘, 工作在 Windows XP 操作系统环境下, 并安装了 Matrox Imaging Products 和 Mik-roSpec 2.7 热红外图像分析软件。

1.2 图像采集

番茄植株叶片分为对照组和接种组。将接种组植株叶片接种致病菌, 每组完全展开的叶片数至少在 20 片以上。在接种前先采集试验叶片的热成像图, 连续监测 2 组植株叶片的热成像图直至病害可视化, 并且每次拍摄之前先将番茄植株放在室温为 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $50\%\sim 70\%$ 实验室中 1 h, 在 $9:00\sim 12:00$ 拍摄; 监测时, 每次采集数据时记录湿度、温度等环境因素, 尽量在结果分析中分析出外界因素对试验的影响, 减少试验误差。

2 结果与分析

2.1 番茄花叶病对叶片温度的影响

当番茄叶片感染病毒后, 感染区域的生理特征下降, 导致气孔的开张调节失调, 从而使病变区域蒸腾作用高于健康区域, 旺盛的蒸腾作用导致感染区域温度的下降; 在接种的 2 d 内 2 组的叶片表面温度基本上是保持一致的。随着病毒的继续侵入, 接种组叶片表面在接种 3 d 后出现温度突变点(图 1a)。这时接种组叶片叶面不同部位温差比对照组叶片叶面温差要高出 $0.5\sim 1.2^{\circ}\text{C}$; 随后的试验中接种组叶面温差继续扩大, 在接种 6 d 后, 叶片表面出现可见的淡黄色斑点时, 接种组叶面温差达到最大(图 2); 在叶片表面出现坏死斑点后, 由于坏死部位的细胞完全死亡, 该部分的蒸腾作用完全丧失导致坏死部位中心的温度开始升高; 但是由于叶片的其他部位受到感染, 所以接种组叶面温差基本上保持在比对照组高 1°C 的水平上。

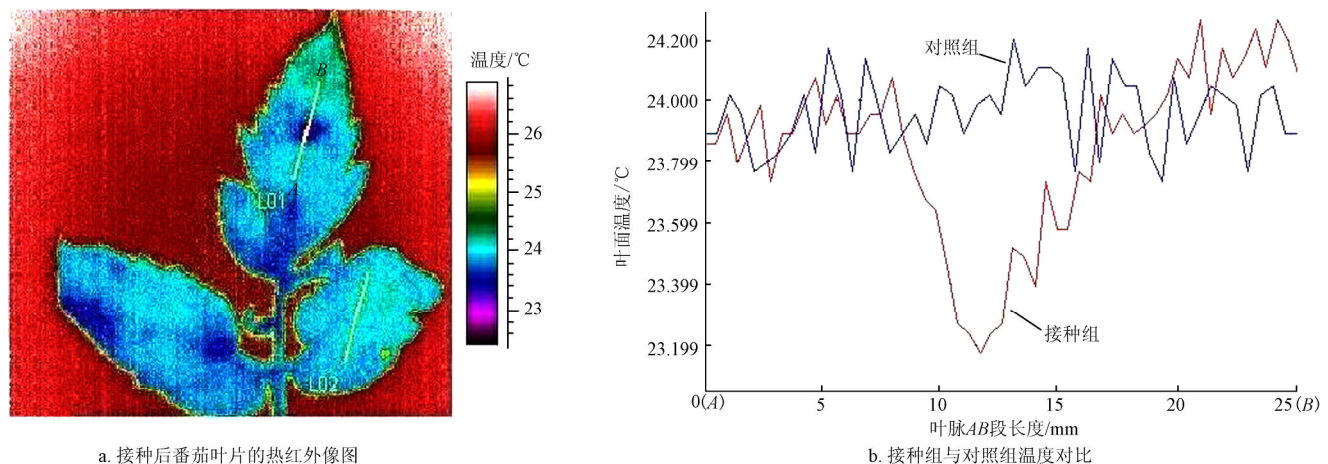


图 1 接种后 3 d 番茄叶片的红外图像及叶面温度变化

Fig.1 Thermal images of tomato leaf after inoculated three days and temperature changes of tomato leaf

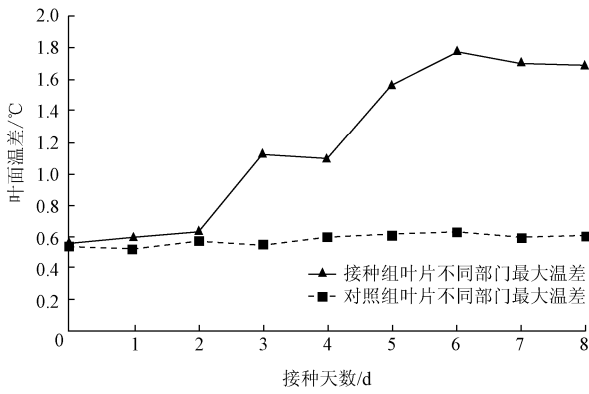


图 2 番茄花叶病对叶片温度的影响

Fig.2 Effect of tomato mosaic disease infection on leaf temperature

2.2 变温对红外图像获取的影响

在温度为(25±1)°C，相对湿度 50%~60%同样的拍摄条件下，图 3a 中可见光叶片在肉眼下已经能看到中部

有感染现象，但由于各种外界或人为因素的干扰或叶片呈现出轻微反卷，在红外图像中没能很好的体现出来。经过多次的变温试验（变温试验是在同一拍摄条件下拍摄完红外热像图后把叶片在低温下冷藏，取出后在室温下放置一段时间让温度回升，然后再进行红外热像图的采集，分析试验前后红外热像图之间的区别），首先是对冷藏相同时间的叶片进行连续性监测，每增加 5 min 测量 1 次，然后是对冷藏不同时间的叶片进行定时测量，时间分别是 5、10、15、20 min 等。最终发现冷藏 5 min 然后让叶片在常温下放置 40 min 后测量效果是最好的，冷藏 5 min 后叶片表面温度已经能达到一致，而时间长会造成叶片损伤，40 min 的室温放置可使低温对叶片病害测量的影响降至较小程度，同时叶片受到外界温度的影响也很小。结果表明，在进行变温试验后，病变部位可以更清晰的表现出来。如图 3c 中清楚的发现，叶片中部出现清晰的温度降低，中间温度与叶片正常部位温度相差 1.45°C。



图 3 试验前后番茄叶片红外热像图及可见光图

Fig.3 Thermal images of tomato leaf before and after experiment

2.3 可控条件下，田间番茄花叶病的监测

由于环境条件的改变对植物叶片的蒸腾的影响比较大，试验在环境条件相对稳定的温室中进行；从图 4 中可以看出，在环境条件相对稳定的温室中，通过红外热成像技术可以观察到番茄叶片上因病菌感染导致的温度突变；如图 4b 中的番茄叶片上可以观察到番茄花叶病导致的淡黄色病斑，同时在红外热像图中的相应部位也出

现比较明显的温度变化，该叶片的最大温差高达 1.59°C；然而，在图 4d 中的番茄叶片上并没有出现可见病斑，而在红外热像图中，可以发现在中部及以下有地方开始出现初期病变，经分析病变部位的温度差比其他正常部位温度差高 0.62°C，应属于早期的病变；除此之外，通过对比图 4d 中番茄叶片的病变部位的范围，发现热红外图像中的病变范围要大的多。

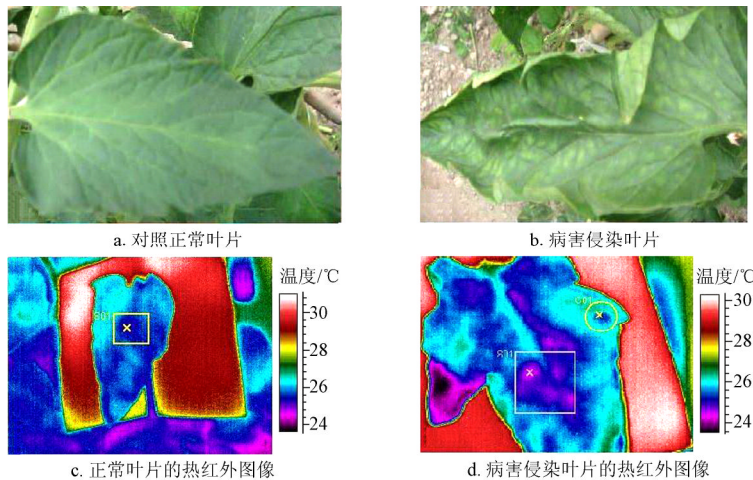


图 4 番茄叶片的红外热像图与其可见光图

Fig.4 Digital color reflectance and thermal images of tomato leaf

3 讨论

植物叶片表面温度主要通过植物叶片表面的气孔开展来调节蒸腾作用,从而平衡叶片表面的温度;当植物遭受病菌感染或受到干旱等不利因素胁迫^[18]时,感染或受迫组织的一些生理状态,如:光合作用^[19]、呼吸作用^[5]、气孔导度^[20]等都将发生变化,这些都与气孔的调节有着密切的关联^[21],往往会造成气孔对水分调节的失衡。这造成的一个典型表现就是导致植物体叶片表面能量的变化即温度出现振荡差异,同时伴随着叶片自身失水萎焉^[22]。

在叶片感染番茄花叶病毒时,初期感染部位温度下降主要是由于病菌感染导致番茄叶片蒸腾作用增加造成的;并且随着病菌的继续侵入番茄叶片上出现坏死斑点,由于该部分叶片细胞完全坏死,缺少蒸腾作用的降温作用,从而使该部分的温度呈上升趋势^[23];因此,在番茄花叶病病毒侵染叶片的整个过程中,每个阶段都对应着不同的温度变化,也就是说可以通过番茄叶片表面的温差来区分是否感染番茄花叶病;本研究通过在实验室内和温室等环境条件可控的情况下,对番茄叶片采集红外热像图进行温度分析,并将叶片的红外热像图结合可见光图片对比的方法^[24],来进行番茄病害的早期监测,这样排除由于时间上的变化带来的叶片环境变化带来的干扰,使得叶片温度上的变化成为监测早期病害^[25]的主要因素。有效的保证了试验的可靠性。除此之外,在试验中,叶片由于在室外受到光照、风吹、人为触摸等多方面因素影响,其表面温度分布很不均匀,或病症点被外界因素所干扰。为了降低叶片表面温度分布不均匀和外界因素给试验结果带来的误差^[14],本研究还尝试做了变温试验,即在常温下拍摄完红外热像图后把叶片在低温下冷藏,取出后在室温下放置一段时间让温度回升,然后再进行红外热像图的采集,分析试验前后红外热像图之间的区别。发现变温试验确实可以在一定程度上降低环境和人为等因素造成的误差。而且,本试验中所采用的 SAT-G90 热红外成像仪灵敏度达到 0.08℃,具有极高的分辨率和热灵敏度,相对于通常的红外温度计,红外热成像仪能够输出高分辨率的热图,能够较好地反应每个叶片温度对病害反应的细小差异,是一个非常有用的研究叶温响应病害胁迫的工具。因此,利用红外热成像仪来测定正常与感染番茄花叶病条件下的番茄叶片的温度差值,为利用红外热成像技术检测植物早期生长状况提供了可能,也使人们可以在植物未受到严重伤害时就检测出植物病害,提早做预防或治疗,减少农药的使用量,提高作物总产量。

4 结论

1) 番茄叶片遭受病毒侵染时,番茄叶片病变部位温度会发生剧烈下降,并且会随着病变程度的加深而增大,且叶片为出现可见病斑时,在接种部位的红外热像图中就可以观察到剧烈的温度变化,因此,叶片表面温度变化可以明显的反应叶片病变的程度,叶面温差可以用来作为区分叶片是否染病及鉴别叶片染病程度的一个指

标,将红外成像技术运用于番茄花叶病早期检测存在着可行性。

2) 试验发现变温试验可以清除一些环境因素对红外热像图采集的干扰,使病变部位的温度变化更加清晰的表现于红外热像图中。

3) 在温室条件下,通过热红外成像仪对染病的番茄叶片进行检测时,在病变叶片上也可以发现明显的温度变化,并且在出现可见病斑的前三天内就可以检测测到温度的剧烈变化。

4) 根据热红外成像技术检测番茄花叶病的原理,该技术同样可以应用于其他类型侵染性植物病害的检测,但是,根据目前研究,发现该技术不适合用于区分植物病害的类型。

因此,提出将红外热成像技术作为番茄花叶病早期检测的一种辅助手段,使番茄花叶病病害检测做到快速、无损、在线检测成为可能,对植物病害的早期诊断与监测有重要的意义。

[参 考 文 献]

- [1] 薛生友,叶玉香. 酱用番茄主要病害发生原因及防治对策[J]. 新疆农业科技, 2008(5): 66.
- [2] 朱圣盼. 基于计算机视觉技术的植物病害检测方法的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
Zhu Shengpan. Research on Detection Methods of Plant Disease Using Computer Vision[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [3] Alchanatis V, Cohen Y, Cohen S, et al. Evaluation of different approaches for estimating and mapping crop water status in cotton with thermal imaging[J]. Precision Agriculture, 2010, 11(1): 27-41.
- [4] 李天来,李淼. 短期昼间亚高温胁迫对番茄光合作用的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 220-225.
Li Tianlai, Li Miao. Effect of short-term daytime sub-high temperature stress on photosynthesis of tomato leave[J]. Transactions of CSAE, 2009, 25(9): 220-225. (in Chinese with English abstract)
- [5] Berni J, Zarco-Tejada P J, Sepulcre-Cantó G, et al. Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(11): 2380-2388.
- [6] Chaerle L, Van Caeneghem W, Messens E, et al. Presymptomatic visualization of plant-virus interactions by thermography[J]. Nature biotechnology, 1999, 17(8): 813-816.
- [7] Jones H G. Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces[J]. Plant, Cell & Environment, 2002, 22(9): 1043-1055.
- [8] Lindenthal M, Steiner U, Dehne H W, et al. Effect of downy mildew development on transpiration of cucumber leaves visualized by digital infrared thermography[J]. Phytopathology, 2005, 95(3): 233-240.
- [9] 宋玉伟,康燕丽,刘浩,等. 多种胁迫下拟南芥气孔“开”和“闭”突变体鉴定及遗传初步分析[J]. 科学通报, 2006, 51(18): 2139-2145.

- [10] 段春阳. 拟南芥干旱突变体的筛选及其保卫细胞原生质体的分离[D]. 开封: 河南大学, 2007.
Duan Chunyang. Isolation and Primary Characterization of H₂O₂ and Drought Mutants in *Arabidopsis Thaliana* by Infrared Thermography[D]. Kaifeng: Henan University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [11] Stoll M, Schultz H R, Baecker G, et al. Early pathogen detection under different water status and the assessment of spray application in vineyards through the use of thermal imagery[J]. *Precision agriculture*, 2008, 9(6): 407–417.
- [12] Gowen A A, Tiwari B K, Cullen P J, et al. Applications of thermal imaging in food quality and safety assessment[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2010, 21(4): 190–200.
- [13] Oerke E C, Fröhling P, Steiner U. Thermographic assessment of scab disease on apple leaves[J]. *Precision Agriculture*, 2010; 12(5): 699–715.
- [14] Oerke E C, Steiner U, Dehne H W, et al. Thermal imaging of cucumber leaves affected by downy mildew and environmental conditions[J]. *Journal of experimental botany*, 2006, 57(9): 2121–2132.
- [15] 杨鹏, 吴文斌, 周清波, 等. 基于光谱反射信息的作物单产估测模型研究进展[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(10): 262–268.
Yang Peng, Wu Wenbin, Zhou Qingbo, et al. Research progress in crop yield estimation model based on spectral reflectance data[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2008, 24(10): 262–268. (in Chinese with English abstract)
- [16] 徐惠荣, 叶尊忠, 应义斌. 基于彩色信息的树上柑橘识别研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(5): 98–101.
Xu Huirong, Ye Zunzhong, Ying Yibin. Identification of citrus fruit in a tree canopy using color information[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(5): 98–101. (in Chinese with English abstract)
- [17] 徐惠荣, 应义斌. 红外热成像在树上柑桔识别中的应用研究[J]. *红外与毫米波学报*, 2004, 23(5): 353–356.
Xu Huirong, Ying Yibin. Application of infrared thermal imaging in identification of citrus on trees[J]. *J. Infrared Millim. Waves*, 2004, 23(5): 353–356. (in Chinese with English abstract)
- [18] 徐洪伟, 周晓馥. 玉米毛状根再生植株对水分胁迫的响应[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(11): 80–84.
Xu Hongwei, Zhou Xiaofu. Responses of maize regenerative plants from hairy root cultures to water stress[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(11): 80–84. (in Chinese with English abstract)
- [19] Kana R, Vass I. Thermoimaging as a tool for studying light-induced heating of leaves: Correlation of heat dissipation with the efficiency of photosystem II photochemistry and non-photochemical quenching[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2008, 64(1): 90–96.
- [20] Stoll M, Schultz H R, Berkelmann-Loehnertz B. Thermal sensitivity of grapevine leaves affected by *Plasmopara viticola* and water stress[J]. *Vitis*, 2008, 47(2): 133–134.
- [21] Padhi J, Misra R K, Payero J O. Use of infrared thermography to detect water deficit response in an irrigated cotton crop[C]//International Conference on Food Security and Environmental Sustainability (FSES 2009), 17-19 Dec 2009, Kharagpur, India.
- [22] Leinonen I, Jones H G. Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55(401): 1423.
- [23] Xu H R, Zhu S P, Ying Y B, et al. Early detection of plant disease using infrared thermal imaging-art[C]//Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (SPIE). Bellingham: Spie-int soc Optical Engineering, 2006: No. 638110.
- [24] Kaukoranta T, Murto J, Takala J, et al. Detection of water deficit in greenhouse cucumber by infrared thermography and reference surfaces[J]. *Scientia Horticulturae*, 2005, 106(4): 447–463.
- [25] 姜晓剑, 刘小军, 田永超, 等. 基于遥感影像的作物生长监测系统的设计与实现[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(3): 156–162.
Jiang Xiaojian, Liu Xiaojun, Tian Yongchao, et al. Design and implementation of remote sensing image-based crop growth monitoring system[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2010, 26(3): 156–162. (in Chinese with English abstract)

Study on detection of tomato mosaic disease at early stage based on infrared thermal imaging

Xu Xiaolong, Jiang Huanyu^{*}, Hang Yuelan

(College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: As leaf temperature and transpiration was negative related, infrared thermal imaging technology was used to study the relationship of temperature changes with the severity of tomato leaves infected by tomato mosaic virus under greenhouse condition, so as to provide a basis for the realization of early detection of tomato mosaic disease. The results showed that the temperature of lesions had a 0.5-1.2°C higher than the normal leaves, especially when the disease can not be observed by naked eyes, but it can be detected by thermography. So the temperature discrepancy can indicate the severity of infected leaves, and temperature difference also can be an important index to identify whether the tomato plant infected with tomato mosaic disease. The thermal infrared imaging technology used in the early detection of tomato mosaic disease is feasible.

Key words: thermography, diseases, temperature measurement, image acquisition, mosaic disease of tomato