

橘小实蝇成虫发生量与环境因子协同监测网络的设计

文韬^{1a,2}, 洪添胜^{2,3*}, 李立君^{1a}, 李震^{2,3}, 郭鑫^{1b}

(1.中南林业科技大学 a.机电工程学院; b.理学院, 湖南 长沙 410004; 2.南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广东 广州 510642; 3.国家柑橘产业技术体系机械研究室, 广东 广州 510642)

摘要:将无线传感器网络技术作为信息感知和传输的载体,设计和开发了橘小实蝇成虫发生量及环境因子协同监测系统,并在广州地区选择挂果期和成熟期柑橘园,开展了近6个月的橘小实蝇成虫发生量及其发生区域环境因子协同监测试验。结果表明:8月上旬至10月上旬,气温分布在22.5~36.5℃,且处于柑橘挂果期,橘小实蝇成虫发生量猛增并达到最大,周虫量516~893头;10月中旬至11月下旬,处于柑橘成熟期,天气干燥,气温分布在16.4~30.1℃,橘小实蝇成虫发生量开始呈波动性回落,周虫量108~293头;12月上旬至翌年1月中旬,降水量少,气温分布在10.5~27.5℃,由于缺乏维持营养的果实,橘小实蝇成虫数量很少,周虫量0~18头;对各环境因子进行主成分判别和因子主成分荷载分析表明,温光因素和降水对橘小实蝇成虫发生量的作用明显,其中,温光因素作用最大,空气和土壤温度是其主要因子,相应的成分荷载分别为0.960和0.961;降水作用次之,降水量和土壤含水量是其主要因子,相应的成分荷载分别为0.712和0.809。

关键词:橘小实蝇;环境因子;无线传感器网络;协同监测;主成分分析

中图分类号:S126

文献标志码:A

文章编号:1007-1032(2014)05-0506-07

Development of cooperative monitoring network for *Bactrocera dorsalis* (Hendel) and environmental factors

WEN Tao^{1a,2}, HONG Tian-sheng^{2,3*}, LI Li-jun^{1a}, LI Zhen^{2,3}, GUO Xin^{1b}

(1.a.College of Mechanical and Electrical Engineering; b. Science College, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China; 2.Key Laboratory of Key Technology for South Agricultural Machinery and Equipment, Ministry of Education, Guangzhou 510642, China; 3.Division of Citrus Machinery, China Agriculture Research System, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Wireless sensor network technologies were used as a carrier of information acquisition and transmission, and a cooperative monitoring system for *Bactrocera dorsalis* (Hendel) and related environmental factors was designed and developed, and related monitoring experiments were taken almost six months from citrus' fruiting to mature periods in Guangzhou. Monitoring results showed that *B. dorsalis* occurrence numbers increasingly risen and reached maximum from the early part of August to the early part of October when the temperature were 22.5 °C to 36.5 °C during the fruiting period with *B. dorsalis* ranging from 516 to 893 heads in per week; *B. dorsalis* occurrence numbers were shakily decreased from the middle of October to the latter part of November which was the citrus' mature period when the temperature gradually dropped from 30.1 °C to 16.4 °C with dry air, and *B. dorsalis* ranged from 108 to 293 heads in per

收稿日期: 2014-06-16

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-27); 公益性行业(农业)科研专项(201203016); 国家自然科学基金项目(31401281; 31101077); 湖南省自然科学基金项目(14JJ3115); 湖南省农业机械化管理局项目(KJ2013-18); 中南林业科技大学引进高层次人才科研启动基金项目(104-0259); 广东省高等院校学科与专业建设专项(2013KJCX0032); 广州市科技计划项目(2013J2200069)

作者简介: 文韬(1983—), 男, 湖南长沙人, 博士, 讲师, 主要从事农业工程、机电一体化和信息技术应用研究, wt207@sina.com; *通信作者, tshong@scau.edu.cn

week during this period; *B. dorsalis* occurrence numbers were sharply declined from the early part of December to the middle of January next year due to lack of fruit which provides nutrient maintenance, and *B. dorsalis* ranged from 0 to 18 heads in per week in this period. Statistics and payload analysis of principal component with environmental factors indicated that there were closely interaction among all factors, and temperature, light and the rainfall had significant effects on *B. dorsalis* occurrence, among which temperature and light showed the biggest effect with main factors being temperature and soil temperature with payload 0.960 and 0.961 respectively and the effect of the rainfall, whose main factors were rainfall and soil water content with corresponding payload 0.712 and 0.809 respectively, took the second place.

Key words: *Bactrocera dorsalis* (Hendel); environmental factors; wireless sensor network; cooperative monitoring; principal component analysis

人工对寄主作物进行定期调查和利用实蝇诱捕器监测橘小实蝇, 监测者通常根据实践经验来判别作物受害情况, 监测缺乏连续性, 容易错过最佳防治时期^[1-4]。已有的研究^[5-6]结果表明, 橘小实蝇的飞翔能力和生长发育是影响其地理分布和种群动态变化的主要原因。大多数实蝇飞翔活动仅发生在白天有光照的情况下, 而在夜间没有光照时, 橘小实蝇停止飞翔^[7]。橘小实蝇的生长发育直接影响其种群动态变化, 橘小实蝇虫卵、幼虫和成虫的发育受气温的影响较大^[8-10], 而蛹在土中发育, 则主要受土壤理化性质(土壤含水量、电导率和温度)影响; 土壤含水量较低或较高, 成虫的羽化率都明显受到抑制^[11-15]。由此可见, 动态监测橘树生长区域的温湿度、环境光照、风速和降水量等气象信息和土壤含水量、温度和电导率等土壤墒情变化, 是预警橘小实蝇为害的有效手段, 获取其监测数据是分析橘小实蝇发生机理及与环境因子关联机制的重要依据。

无线传感器网络(wireless sensors network, WSN)是一种新兴的信息获取技术, 凭借其自组织、无需布线、低功耗、智能性强等特点^[16], 已逐渐被广泛应用于葡萄园和温室管理、精细灌溉和变量作业、牧群和家畜管理、林地和自然栖息地监测等方面^[17-21]。

笔者设计和搭建橘小实蝇成虫及环境因子协同监测网络, 动态监测橘小实蝇成虫的发生量及其覆盖区域空气温湿度、环境光照、风速和降水量等气象信息和土壤含水量、温度和电导率等土壤墒情

变化, 探寻环境因子胁迫条件下的橘小实蝇成虫发生量变化规律, 系统地分析橘小实蝇发生与环境因子间的关联性, 以期对橘园虫害区域性灾变防控提供参考。

1 橘小实蝇成虫及环境因子协同监测网络的组成与部署

1.1 网络结构与功能

搭建的监测网络包括 3 类无线监测设备: 11 台橘小实蝇成虫监测节点(其中 10 台装配有红外感应式成虫感知器, 1 台集成视觉成虫感知器)、1 台环境气象监测节点以及 1 台 WSN 汇聚节点, 如图 1 所示。3 类无线监测设备部署组成 1 个星型单跳无线传感器网络, 各设备的分布位置及天线的设置高度, 根据前续橘园无线射频信号传播试验确定的节点最佳分布表作为部署依据^[22]。

橘小实蝇成虫监测节点与红外感应式成虫感知器和土壤墒情传感器相连, 并部署在各监测点上, 负责以特定的时间间隔采集土壤墒情和橘小实蝇成虫数量, 并将此信息传送给 WSN 汇聚节点。环境气候监测节点装配有温湿度、风速、风向和降水量传感器, 与橘小实蝇成虫监测节点相同时间间隔, 采集 1 次空气温湿度、风速、风向和降水量数据, 并将此信息传递给 WSN 汇聚节点, 记录橘园气象信息日变化情况。WSN 信息汇聚节点负责定时接收和存储由各部署节点发送的测量结果。



a 成虫监测节点(红外感应式); b 成虫监测节点(视觉); c 环境气象监测节点; d WSN 汇聚节点。

图 1 橘园协同监测网络设备

Fig.1 Device components of the cooperative monitoring network in orchards

1.2 试验场地及节点部署

试验场地位于广州市华南农业大学国家柑橘产业技术体系机械研究室橘园,地形为平地,面积 450 m²,柑橘品种选用沙糖橘,采用盆栽种植方式,行距 2 m,株距 1.5 m,橘树平均株高 150 cm,冠层直径 100~140 cm。监测设备均采用 IRIS 节点(IRIS,美国 Crossbow Technology Inc.)作为数据处理单元,传输频率 2 470 MHz,节点的接收灵敏度 -101 dBm,发射功率 3.2 dBm,使用 1/4 波长的单极天线,天线增益 0 dBi。所有部署的节点均安装在铝合金支架上,保持天线同向,其中,WSN 汇聚节点位于橘园边缘,环境气象监测节点放置于橘园中心位置,其余的橘小实蝇成虫感知节点以 (5±0.1) m 为步长均匀分布于橘园各监测区域。

2 橘小实蝇成虫及环境因子协同监测网络的系统设计

监测设备主要由橘小实蝇成虫监测节点和环境气象监测节点组成,其硬件内部处理单元主要包括 IRIS 模块、传感器、数据扩展模块等,如图 2 所示。

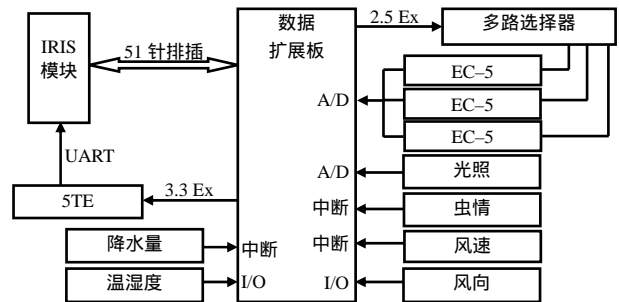


图 2 监测设备内部硬件组成结构

Fig.2 Inner components and structure of the monitoring device

数据扩展板的作用是将 IRIS 内部处理模块的数据接口进行扩展,其中,IRIS 模块内部一路 ADC 接口通过多路选择器分别连接 3 组 EC-5 传感器,另一路 ADC 接口连接光照传感器;IRIS 内部的串行数据接口连接 5-TE 传感器;温湿度传感器和风向传感器分别连接 IRIS 内部的普通 I/O 口;IRIS 外部 3 个中断接口直接与成虫感知器、风速和降水量传感器相连。节点内部各组成模块功能实现和模块间运行调度是基于 TinyOS2.0 嵌入式操作系统(美国加州大学伯克利分校),根据组件模块化和事件驱动的执行模式采用 NesC 语言编制的相应执行程序,其应用程序结构如图 3 所示。

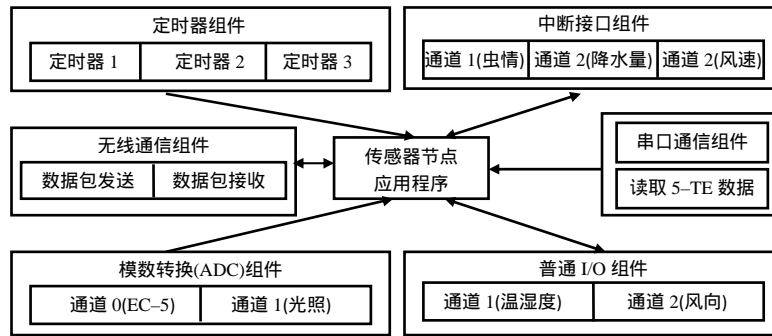


Fig.3 Program structure of the monitoring device

系统设备间的数据通信包括监测节点向 WSN 汇聚节点传输数据的上行链路和 WSN 汇聚节点向监测节点发送指令的下行链路两部分。无线通信数据链路

层数据传输格式，参考 IEEE 802.15.4 通信协议标准，无线通信数据包中监测数据单元格式如表 1 所示。

表 1 无线通信数据包中监测数据单元格式

Table 1 Monitoring data PDU of wireless communication packets

字段	字节数/B	字段描述
节点号	1	传感器节点的逻辑地址
包序号	2	发送数据包的序号
数据包类型	1	0x00: WSN 汇聚节点或传感器节点向基站上传数据，节点号为源地址 0x01: 传感器节点向 WSN 汇聚节点上传数据，节点号为源地址 0x02: 基站向 WSN 汇聚节点和传感器节点发送指令，节点号为目的地址
虫量	2	感知器测量的橘小实蝇成虫数量值
光照度*	2	传感器测量的光照度值
温湿度*	4	传感器测量的空气温湿度值
降水量*	2	传感器测量的大气降水量值
风向*	1	传感器测量的风向值
风速*	2	传感器测量的风速值
EC5-1	2	土层剖面 10.05 cm 深度的土壤含水量值
EC5-2	2	土层剖面 20.10 cm 深度的土壤含水量值
EC5-3	2	土层剖面 30.03 cm 深度的土壤含水量值
VWC	2	土层剖面 10.08 cm 深度 5TE 测量的土壤含水量值
EC	2	土层剖面 10.08 cm 深度 5TE 测量的土壤电导率值
Temp	2	土层剖面 10.08 cm 深度 5TE 测量的土壤温度值

*表示该传感器仅装配于环境气象监测节点。

3 橘小实蝇成虫与环境因子动态监测结果及关联性分析

2011 年 8 月 10 日至 2012 年 1 月 20 日，橘小实蝇成虫及其环境因子协同监测系统运行了近 6 个月，涵盖了橘树生长的挂果期和成熟期，是橘小实蝇为害的主要时期^[10]。选用甲基丁香酚试剂作为成虫性引诱剂，每隔 15 d 更换 1 次^[23]。试验周期内监测的成虫发生量如图 4 所示。

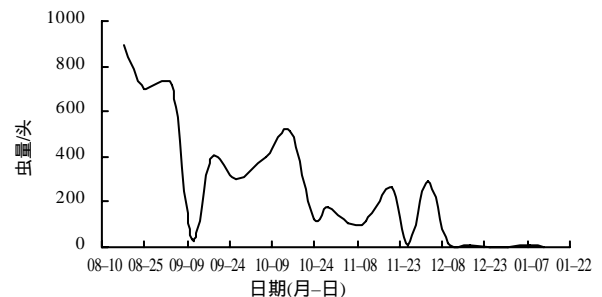


图 4 柑橘挂果期和成熟期橘小实蝇成虫发生量监测结果
Fig.4 Monitoring data for *B. Dorsalis* outbreaks in orchards during the citru's fruiting and mature periods

橘小实蝇成虫在 2011 年 8 月上旬至 10 月上旬处于发生高峰期, 监测区域内平均每个监测节点每周监测的成虫数量为 516~893 头; 从 10 月中旬至 11 月下旬, 虫口密度逐渐呈波动性回落, 周虫量 108~293 头; 从 12 月上旬至翌年 1 月中旬, 橘小实蝇成虫发生量急剧下降, 周虫量为 0~18 头。监测结果表明, 夏季是成虫发生的高峰期, 进入秋季后数量逐渐减少, 冬季虫口密度低。

橘小实蝇成虫发生量与环境因子的协同监测结果如图 5 所示。

监测试验从 8 月开始 图 5-a 和图 5-f 结果显示, 2011 年 8 月至 10 月上旬, 广州地区日均最大降水量仅为 13.1 mm, 但土壤含水量为 0.15~0.32 m³/m³, 表明在开展监测试验的前期, 即 6 至 7 月, 广州地区降水频繁, 且从图 5-c 中空气相对湿度监测数据

可知, 同一监测时期区域内的空气平均相对湿度为 58%, 从而导致监测区域土壤在降水很少的监测周期内仍维持一定的土壤含水量, 周虫量为 516~893 头。综合上述环境因子和虫量的协同监测结果, 说明降水量、空气相对湿度和土壤含水量对橘小实蝇的发生具有重要作用。观察图 5-b 空气温度、土壤温度和虫量协同监测的数据结果, 在成虫发生盛期监测的空气温度为 22.5~36.5 °C, 土壤温度变化幅度为 22.9~35.8 °C, 盛期过后, 虫量呈波动性回落, 相应的空气温度和土壤温度在 16.4~30.1 °C 和 17.7~30.9 °C 变化, 当成虫数量减少至 0~18 头时, 相应的空气和土壤温度降至 10.5~27.5 °C 和 10.2~28.1 °C。由此可知, 橘小实蝇成虫数量与空气温度和土壤温度存在正相关性。

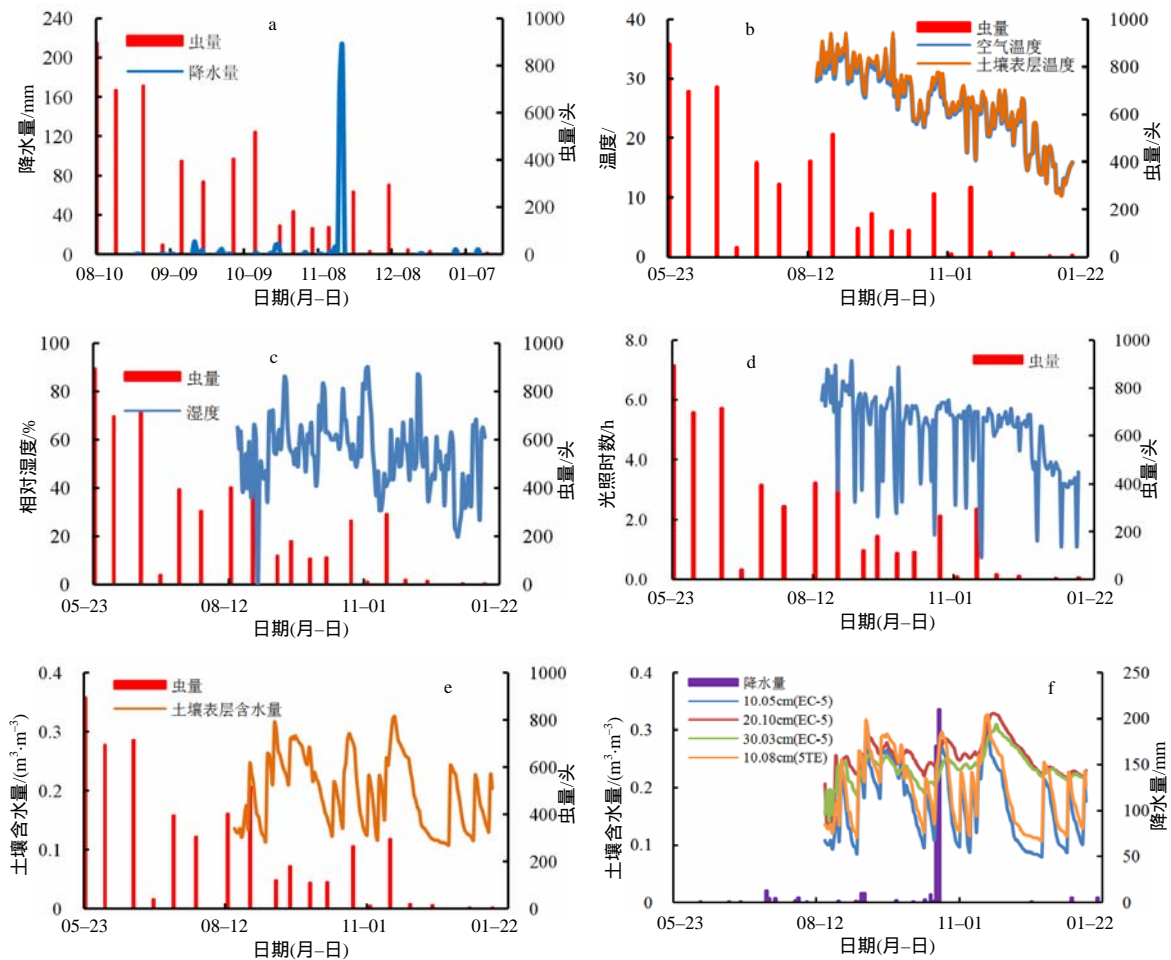


图 5 橘小实蝇发生量及相关环境因子协同监测结果

Fig. 5 Cooperative monitoring results of pests and related environmental factors

考虑到发生区域降水量、空气温度和湿度、光照及土壤墒情对橘小实蝇成虫动态变化存在独立和共同影响的复杂性,采用主成分分析法将试验监测的橘小实蝇成虫发生量与其发生区域的降水量、温度、空气相对湿度、光照时间及土壤墒情数据进行因子分析^[24],结果列于表 2。

第 1 和第 2 主成分累计贡献率达 88.37%,占总信息量的 85%以上,故选第 1 和第 2 主成分作为综合指标,开展成分荷载分析,结果如表 3 所示。

表 3 环境因子主成分荷载分析

主成分	成分荷载					
	降水量	空气相对温度	空气相对湿度	土壤含水量	土壤温度	光照时间
1	-0.253	0.960	0.253	0.185	0.961	0.776
2	0.712	0.145	0.329	0.809	0.145	-0.427

光照时间指每天太阳日照度超过 30 000 lx 的时间。

根据表 3 各环境因子的荷载大小可知,第 1 主成分代替了空气温度、土壤温度和光照时数的作用,称为温光因子;第 2 主成分代替了降水量和土壤含水量的作用,成为降水因子,由此说明温度、降水量和光照对虫量变化作用明显,对照图 5-b、图 5-d、图 5-e 的上述环境因子与虫量变化趋势,可以进一步发现其关联性。由表 2 中第 1 主成分贡献率达到 53.48%,表明温度和光照对虫量变化作用最大,从表 3 第 1 主成分各气象因子荷载分析,空气和土壤的温度荷载分别为 0.960 和 0.961,进一步说明温度是引起虫量变化的主要因素。

橘小实蝇成虫及其发生区域环境因子监测结果表明,虫量变化与气候因子关系密切,适宜的温度和充足降水是影响橘小实蝇成虫动态变化的主要因素,橘小实蝇适宜在空气平均相对湿度为 58%、环境温度 22~35 °C 的条件下活动。

4 结论与讨论

通过在柑橘挂果期和成熟期开展近 6 个月的橘小实蝇成虫动态监测试验,初步掌握了广州地区橘小实蝇成虫发生数量变化规律。虫口密度在 8 月已进入盛期,周虫量达 516~893 头;10 月中旬至 11 月下旬,虫口密度逐渐呈波动性回落,周虫量 108~

表 2 环境因子主成分统计量描述

Table 2 Statistics description of principal component with environmental factors

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	3.209	53.483	53.483
2	2.093	34.883	88.366
3	0.330	5.500	93.866
4	0.232	3.867	97.733
5	0.136	2.267	100.000

293 头;12 月上旬至翌年 1 月中旬虫口密度急剧下降,周虫量降至 0~18 头。

橘小实蝇成虫发生数量与环境因子作用密切相关。研究表明,温光因素和降水因素对橘小实蝇成虫发生数量的影响明显,其中,温光因素影响最大,空气和土壤的温度是其主要因子,相应的成分荷载分别为 0.960 和 0.961,降水因素影响次之,降水量和土壤含水量是其主要因子,相应的成分荷载分别为 0.712 和 0.809。

通过该系统的开发和试验,进一步论证了将无线传感器网络技术应用用于橘园橘小实蝇成虫发生及环境因子协同监测的可行性,初步实现了区域性橘小实蝇成虫动态变化规律与其环境因子的关联性分析。除了环境因子外,影响橘小实蝇成虫发生动态变化的还有寄主因子、营养因子和天敌因子,要完全掌握橘小实蝇成虫发生动态变化过程,实施更加严密和准确的监测和防治,其他因子对橘小实蝇成虫数量动态变化的影响还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 陆永跃,曾玲,梁广文,等. 对性引诱剂监测橘小实蝇成虫技术的改进[J]. 昆虫知识, 2006, 43(1): 123-126.
- [2] 于鑫,曾玲,梁广文,等. 广东省杨桃园橘小实蝇发

- 生高峰期预测[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(2): 28-31.
- [3] 林进添, 曾玲, 陆永跃, 等. 高度和地点对性引诱剂诱集橘小实蝇雄虫效果的影响[J]. 植物保护, 2005, 31(2): 67-69.
- [4] 郑思宁, 黄居昌, 陈家骅, 等. 诱芯和诱捕器对橘小实蝇诱捕效果的影响[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2010, 39(5): 455-459.
- [5] 郑思宁. 橘小实蝇种群动态及田间防治应用的研究[D]. 福州: 福建农林大学植物保护学院, 2009.
- [6] Flentcher B S, Robinson A S, Hooper G. World Crop Pests[M]. Amsterdam: Elsevier, 1989, 1(3): 195-219.
- [7] 刘建宏, 叶辉. 光照、温度和湿度对橘小实蝇飞翔活动的影响[J]. 昆虫知识, 2006, 43(2): 211-214.
- [8] 吴佳教, 梁帆, 梁广勤. 橘小实蝇发育速率与温度关系的研究[J]. 植物检疫, 2000, 22(6): 321-324.
- [9] 和万忠, 孙兵召, 李翠菊, 等. 云南河口县橘小实蝇生物学特性及防治[J]. 昆虫知识, 2002, 39(1): 50-52.
- [10] 李鸿筠, 刘浩强, 姚廷山, 等. 橘小实蝇发生期及发生量预测模型研究[J]. 果树学报, 2010, 27(2): 275-280.
- [11] 张清源, 林振基, 刘金耀, 等. 橘小实蝇生物学特性[J]. 华东昆虫学报, 1998, 7(2): 65-68.
- [12] 林进添, 梁广文, 曾玲, 等. 土壤含水量对橘小实蝇蛹期存活的影响[J]. 昆虫知识, 2005, 42(4): 416-418.
- [13] 詹开瑞. 橘小实蝇的检疫技术与风险分析[D]. 福州: 福建农林大学植物保护学院, 2006.
- [14] 赵岚岚. 温度胁迫及土壤湿度、寄主对橘小实蝇种群的影响[D]. 重庆: 西南大学植物保护学院, 2009.
- [15] 李达林, 汪恩国. 柑橘园柑橘小实蝇入侵扩散规律与危害动态模型研究[J]. 农学学报, 2011, 2(6): 23-28.
- [16] Mahfuz M, Ahmed K. A review of micro-nano-scale wireless sensor networks for environmental protection: Prospects and challenges[J]. Sci Technol Adv Mater, 2005, 6(3/4): 302-306.
- [17] Beckwith R, Teibel C, Bowen P. Report from the field: Results from an agricultural wireless sensor network[C]// Local Computer Networks. Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference. Washington D C: IEEE Computer Society, 2004: 471-478.
- [18] Liu H, Meng Z J, Cui S H. A wireless sensor network prototype for environmental monitoring in greenhouses [C]// IEEE Computer Society. The Thirteenth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking Montreal: IEEE Computer Society, 2007: 2344-2347.
- [19] 李震, Wang Ning, 洪添胜, 等. 农田土壤含水率监测的无线传感器网络系统设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 212-217.
- [20] 尹令, 刘财兴, 洪添胜, 等. 基于无线传感器网络的奶牛行为特征监测系统[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 203-208.
- [21] Rebecca N H, Dave L S, Greg J, et al. Monitoring animal behavior and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing [J]. Sensors, 2009, 9(5): 3586-3603.
- [22] 文韬, 洪添胜, 李震, 等. 橘园无线传感器网络不同节点部署方式下的射频信号传播试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 211-215.
- [23] 李周文婷, 曾玲, 梁广文, 等. 不同温度和光照强度甲基丁香酚对橘小实蝇雄虫的诱捕率[J]. 环境昆虫学报, 2010, 32(3): 363-368.
- [24] 朱星宇, 陈勇强. SPSS 多元统计分析方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.

责任编辑: 罗慧敏
英文编辑: 罗维