

基于物联网的番茄早疫病自动监测预警平台的应用与研究

曾敏, 应巨林, 许驰, 曾铮, 郑乾生* (温州科技职业学院, 浙江温州 325006)

摘要 早疫病是对番茄生产影响较大的一种病害,但现有检测手段落后。为此,利用无线传感器、物联网、数据分析等现代信息技术与传统农业相结合,开展番茄早疫病自动检测预警研究。采用传感网络对番茄病害环境因子进行数据采集,并通过数据融合分析,建立番茄早疫病发生等级与环境因子相关的预警模型,构建番茄早疫病自动监测预警平台,实现对产地番茄病害实时动态监测和预警,可为番茄早疫病测报防治提供一种高效、自动化的技术和手段。该研究既能为番茄早疫病测报提供重要的技术和信息支撑,又可为其他相关治理发展提供参考。

关键词 番茄早疫病;病虫害检测;预警模型;物联网;数据分析

中图分类号 TP 391.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)24-0213-07

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.24.047



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Application and Research on Automatic Monitoring and Early Warning Platform for Tomato Early Blight Based on Internet of Things

ZENG Min, YING Ju-lin, XU Chi et al (Wenzhou Vocational College of Science and Technology, Wenzhou, Zhejiang 325006)

Abstract Early blight is a disease that has great influence on tomato production. But the existing detection methods are backward. Thus, modern information technologies, such as wireless sensor, Internet of Things and data analysis were combined with traditional agriculture, to carry out automatic detection and early warning of tomato early blight. Data on environmental factors of tomato diseases were collected by the sensor network. Data fusion analysis was used to construct automatic monitoring and early warning model. By constructing an automatic monitoring and early warning platform for tomato early blight, it could realize real-time dynamic monitoring and early warning of tomato diseases in the place of origin, and it could also provide an efficient, automated technology and means for the prevention and treatment of tomato early blight. This research could not only provide important technical and information support for the forecast of tomato early blight, but also provided reference for other related control development.

Key words Tomato early blight; Pest detection; Early warning model; Internet of Things; Data analysis

番茄早疫病是由半知菌亚门茄链格孢菌(*Alternaria solani*)引起的,是世界范围内对番茄生产影响较大的一种病害,在世界多国多地区均有发生^[1]。番茄早疫病病原物为茄链格孢,以菌丝或分生孢子形态在病残体或番茄种子上越冬,待翌年环境条件适宜时,通过气流、降水、农事等途径从气孔、皮孔或表皮直接侵入,形成初侵染^[2]。潜伏期一般为2~3 d,可在叶片、茎秆等位置形成病斑,3~4 d后产生下一代分生孢子,通过气流、雨水进行多次重复侵染^[3]。番茄早疫病在番茄植株的整个生长发育阶段均可侵染,一旦遇到高温高湿情况极易暴发流行,严重影响产量和质量,发病严重时减产高达50%,造成重大经济损失。

由于缺少先进的测报预报手段,当番茄发生早疫病灾害时,就会大量使用化学农药,造成土壤和水源严重污染,带来了土壤板结、生态链破坏等突出问题,随着人们对食品安全越来越重视,使得靠农药来降低灾害变得寸步难行^[4]。随着物联网、5G、大数据等新技术快速发展,迫切需要利用现代信息技术手段,进一步提升重大病虫害监测预警能力和植保防灾减灾水平,保障农产品质量安全,保护农业生态环境,促进农业的可持续发展。鉴于此,笔者介绍了基于物联网的番茄早疫病自动监测预警平台的整体架构设计、物联网生物环境信息监测采集设计、番茄早疫病的模型设计和自动监测预警

平台构建。

1 平台整体架构设计

由图1可知,平台整体架构主要包括感知层、服务层、应用层、用户层共4层。在感知层,主要利用物联网、病菌孢子监测设备、环境传感器和高清摄像机等各种信息采集终端,对番茄环境、病害信息等数据进行采集和监测,实现番茄生产环境的实时感知,再通过5G/4G网络将采集的数据传输到云平台进行分析建模;服务层是监测预警系统的神经中枢和数据中心,负责提供对数据进行采集、存储、分析和处理,构建番茄早疫病发生等级与环境因子相关的预警模型,实现对产地番茄病害实时动态监测与预警;应用层主要构建番茄早疫病自动监测预警相关的信息服务平台,实现病害预报可视化、监测数字化,并通过短信、邮件等方式向用户发布预警信息;用户层通过PC端和移动端为用户提供了环境数据监测、病害预警、专家诊断等智能监控及管理服务。

2 物联网生长环境信息监测采集设计

2.1 生长环境信息采集设计架构 生长环境监测采集是作物精准栽培农业数据模型最好的栽培数据库,可为设施生产作物栽培过程中生产管控提供真实准确可靠动态实时数据。为了研究各种气象环境因素与病害数量的相关性和发展趋势,需要在园区部署多种环境数据采集传感器,用于采集监测点附近的多种气象因素和环境数据。物联网生长环境信息采集监测架构图如图2所示。在园区内部署一个物联网无线监测微基站,具有自动采集、固态存储数据及智能控制的功能,微基站采用LPWAN(Sub-G)+5G/4G组合的无线通信技术,并支持太阳能和有源市供电。由多组不同的气象和

基金项目 温州市科技局基础性农业科技项目(N20210007);温州市科技计划项目(N20210006)。

作者简介 曾敏(1984—),女,湖南新化人,副教授,硕士,从事农业信息化和机器学习研究。*通信作者,副教授,硕士,从事农业信息化研究。

收稿日期 2023-01-11

土壤传感器连接到物联网无线通信节点上,再将采集到的数据通过 LoRa 远距离无线传输协议发送给无线控制微基站,

基站再通过 5G/4G 移动通信模块与远程云监测预警平台进行交互,实现节点控制和数据传输。

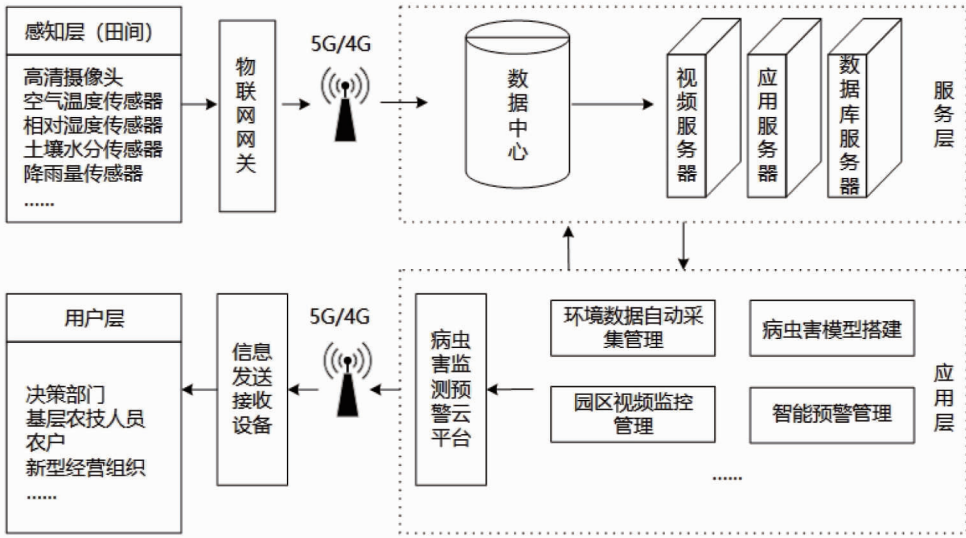


图 1 基于物联网的番茄早疫病自动监测预警总体架构

Fig.1 Overall architecture of automatic monitoring and early warning of tomato early blight based on Internet of Things

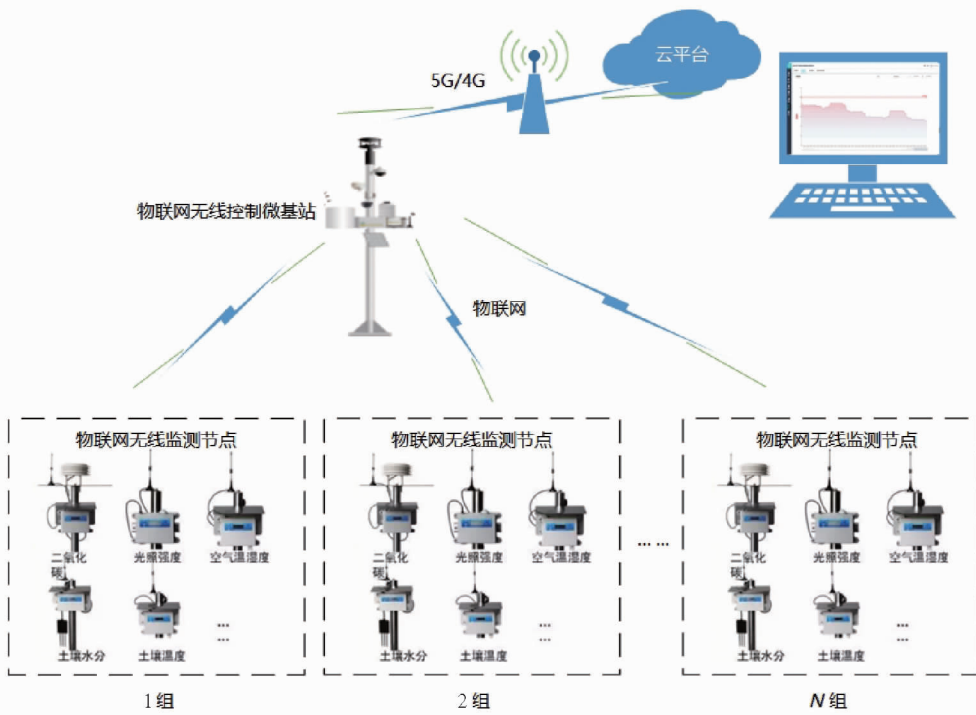


图 2 物联网生长环境信息采集监测设计架构

Fig.2 Design framework of growth environment information collection and monitoring of Internet of Things

2.2 物联网传感器部署 根据需要监测的气象和土壤因素,选取空气温湿度、降雨量、土壤温湿度等传感器组建多组无线传感器节点,各类传感器均统一选用 RS485 接口标准,实现传感器采集数据的无线信号转换。每种类型传感器的详细参数如表 1 所示。

2.2.1 设施空气环境监测。通过在园区设施温室内选取代表性监测。部署空气环境传感器实时采集园区内的空气环境,为系统的病害数据模型提供分析决策依据。在规划示范温室内对番茄作物的生长环境进行全面的监控,每个温室根

据种植分区选择合适位置和合适数量的温室环境监测点,部署空气环境传感器内容包括 4 组物联网无线监测节点、4 组空气温度传感器和 4 组相对湿度传感器。

2.2.2 种植土壤墒情监测。系统可实时精准采集种植区域的不同作物的根系集中范围,确定相应的土壤环境监测深度,通过配设相应的土壤传感器实现对土壤温度、土壤湿度、土壤 EC、土壤 pH 等土壤墒情数据在线监测,为制定作物科学的灌溉方案和养分投入提供科学合理支撑。在规划示范温室内根据温室番茄的特点和根系集中土层深度、灌溉分

区、灌溉计划等内容选择合适土壤位置部署土壤环境传感器,具体每套监测点内容包括 5 组物联网无线监测节点、4 组

土壤水分传感器、4 组土壤温度传感器、1 组土壤 pH 传感器和 1 组土壤 EC 传感器。

表 1 不同传感器类型及参数

Table 1 Types and parameters of different sensors

| 序号 Code | 传感器类型 Sensor type | 传感器详细参数 Sensor detail parameters |
|------------|----------------------|-------------------------------------|
| 1 | 空气温度传感器 | 温度范围-25~60 ℃,分辨率≤0.1 ℃ |
| 2 | 相对湿度传感器 | 湿度范围 0~100% RH,分辨率 0.1% |
| 3 | 无线降雨量传感器 | 雨强测量范围 0~4 mm/min(毫米/分),分辨率≤0.5 mm |
| 4 | 无线土壤水分传感器 | 测量范围 0~100 %VWC,测量精度≤2% |
| 5 | 无线土壤温度传感器 | 量程-20~70 ℃,分辨率 0.1 ℃ |
| 6 | 无线土壤 pH 传感器 | 量程 0~14 pH,精度≤0.05 pH |
| 7 | 无线土壤电导率(EC)传感器 | 测量范围 0~23 mS/cm,精度≤10%(0~7 mS/cm) |

2.3 物联网智能网关系统设计 物联网智能网关系统是专门针对农业病虫害监测应用需求而研发,集数据采集、协议转换、数据处理、数据封装、安全传输等功能于一体的智能化传输设备。设备要求支持通过多种通讯方式从业务底层的传感器、PLC、DCS 以及各类智能设备仪表中采集数据,将数据解析、打包、封装、加密后实时推送至上层数据平台。同时还可根据现场需求,实现协议转发功能,按上层数据平台所需的数据格式实现联网通信。物联网智能网关数据采集和

传输示意图如图 3 所示。设备部署了 10/100 兆网口、RS-232、RS-485、USB Host 等多种采集接口,支持各种病虫害监测设备的接入;集成 LoRa 芯片,通过与设备配套的 DTU 传输设备,可用于超远距离(2~10 km)数据的采集与传输;内置定位模块,支持 GPS 和北斗 2 种定位方式;配置 1 个 miniPCIe 接口和 5G/4G 自适应全网通无线数据传输模块,通过与配套的无线视频传输设备的匹配,实现了视频数据、高分辨率图片的采集与传输。

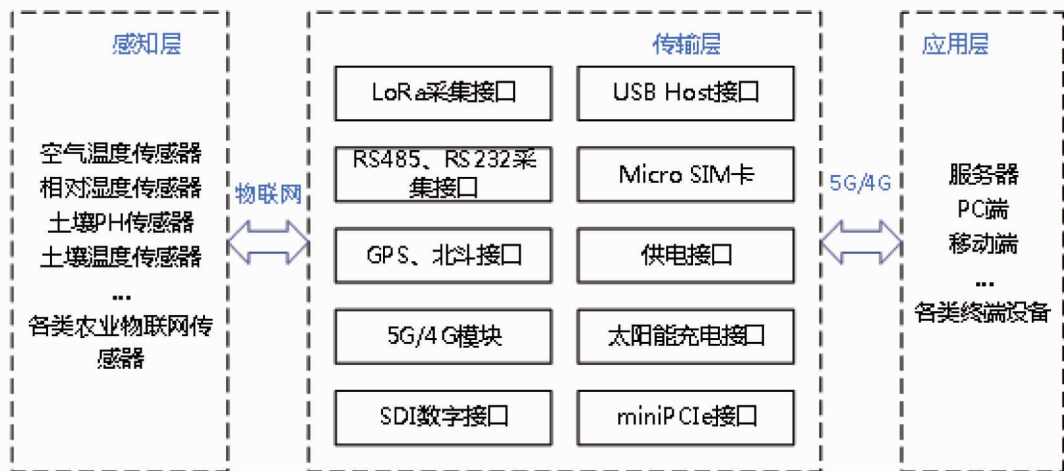


图 3 物联网智能网关数据采集与传输

Fig.3 Intelligent gateway data acquisition and transmission of Internet of Things

物联网网关内置丰富的外围接口,有上位机或数据中心命令采集和主动定时采集 2 种数据采集模式;数据处理支持对连接设备所监测数据的解析,支持多种算数运算功能,同时根据远传数据包格式,在数据包中添加多种元素,如相关行政区划代码、监测点名称、监测点类别、时间、设备识别码、设备运行状态等附加信息,进行数据打包;数据存储网关设备内置支持大容量数据的存储空间,还为未来数据量的不断增多做了资源池的扩容预留;设备全部采用工业级电子元件,具备很好的防护措施,支持恶劣环境下设备的稳定运行与数据传输,还支持通信故障恢复后数据续传功能;通过平台软件,支持对现场设备的远程配置、升级、管理、控制,实时查看设备运行状态。

3 番茄早疫病的模型设计

1987 年,吕佩珂等^[5]团队通过对 1979—1984 年的包头市田间番茄早疫病的发生进行分析,阐明了降雨量、相对湿度、温度与番茄早疫病发生和流行之间的关系。包头市番茄早疫病发生和流行的气象条件如表 2 所示,结论指出引起番茄早疫病发生和流行的主导因素是气象条件。吕佩珂团队根据试验结果得出,发病前 5 d,温度在 20~30 ℃,相对湿度 80%的情况下,早疫病发病率高,病情扩展快,潜育期为 64 h,如果发病前 5~6 d 有 2.2 mm 小到中雨,番茄早疫病即可发生。吕佩珂团队的研究结论为番茄早疫病预测模型的构建提供了重要的参考。

1999 年,刘孝峰等^[6]团队通过试验得出温度对分生孢子

萌发的影响(表3),结果显示番茄早疫病病菌分生孢子在6~35℃均可萌发,适宜温度为25~32℃,分生孢子在水滴中适宜温度下经过1h即可萌发。湿度对分生孢子萌发的影响如表4所示,病菌分生孢子在温度为25℃,空气相对湿度分别为65%、75%、90%、100%的环境下,经过24h分生孢子的萌发率分别为0、0、0、2%,在水滴中的萌发率为98%。这说明分生孢子要求100%的空气相对湿度,在水滴中才萌发良好。

表2 吕佩珂团队研究的包头市番茄早疫病发生和流行的气象条件

Table 2 Meteorological condition of occurrence and prevalence of early blight in tomato in Baotou City researched by Lu Pei-ke team

| 年份 Year | 发病前5d 平均气温 Average temperature on 5 d before occurrence ℃ | 发病前5d 平地表面温度 Surface temperature on 5 d before occurrence ℃ | 发病期6d 降水量 Precipitation on 6 d before occurrence mm | 发病病 情指数 Disease index of occurrence |
|------------|---|---|--|---|
| 1979 | 18.90 | 21.56 | 16.90 | 91.94 |
| 1980 | 21.00 | 24.88 | 2.20 | 78.75 |
| 1981 | 22.12 | 22.46 | 46.30 | 100 |
| 1982 | 25.48 | 27.50 | 28.90 | 67.08 |
| 1983 | 21.02 | 23.34 | 23.50 | 82.81 |
| 1984 | 21.42 | 24.80 | 17.10 | 92.21 |

表3 刘孝峰团队研究的温度对分生孢子萌发率的影响

Table 3 Effects of temperature on conidia germination by Liu Xiao-feng team 单位:%

| 温度 Temper- ature //℃ | 1 h | 3 h | 6 h | 12 h |
|----------------------------|------|------|------|------|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 21.2 |
| 10 | 0 | 0 | 56.4 | 73.0 |
| 15 | 0 | 5.3 | 60.8 | 80.7 |
| 20 | 0 | 33.8 | 87.2 | 93.5 |
| 25 | 6.3 | 70.5 | 94.3 | 96.2 |
| 28 | 8.2 | 86.4 | 96.8 | 98.1 |
| 30 | 10.0 | 96.7 | 98.0 | 98.3 |
| 32 | 5.6 | 91.0 | 96.5 | 98.0 |
| 35 | 0 | 63.8 | 82.6 | 93.6 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表4 刘孝峰团队研究的湿度对分生孢子萌发率的影响

Table 4 Effects of humidity on conidia germination by Liu Xiao-feng team 单位:%

| 序号 Code | 相对湿度 Relative humidity | 24 h 分生孢子 萌发率 Germination rate of conidia on 24 h |
|------------|------------------------------|---|
| 1 | 65 | 0 |
| 2 | 75 | 0 |
| 3 | 90 | 0 |
| 4 | 100 | 2 |
| 5 | 水滴 | 98 |

2010年郑寰宇等^[7]团队通过试验得出,早疫病病菌分生孢子萌发的关键因子是空气相对湿度或是否存在水滴,在

30℃环境下经过10h,当空气相对湿度高于85%时,分生孢子才开始萌发,但萌发率很低,只有0.3%;在水滴存在的条件下萌发最好,萌发率为98.3%(表5)。早疫病病菌分生孢子在5~40℃均可萌发(表6),在25~35℃的温度条件下容易萌发,在5和40℃条件下分生孢子萌发率较低,而在45℃条件下分生孢子不能萌发,该研究结论基本与刘孝峰团队的相符。

表5 郑寰宇团队研究的湿度对分生孢子萌发率的影响

Table 5 Effects of humidity on conidia germination by Zheng Huan-yu team 单位:%

| 序号 Code | 相对湿度 Relative humidity | 10 h 分生孢子萌发率 Germination rate e of conidia on 10 h |
|------------|------------------------------|---|
| 1 | 75 | 0 |
| 2 | 80 | 0 |
| 3 | 85 | 0.3 |
| 4 | 91 | 2.0 |
| 5 | 96 | 3.3 |
| 6 | 100 | 4.7 |
| 7 | 水滴(CK) | 98.3 |

表6 郑寰宇团队研究的温度对分生孢子萌发率的影响

Table 6 Effects of temperature on conidia germination by Zheng Huan-yu team 单位:%

| 温度 Temper- ature //℃ | 1 h | 3 h | 6 h | 10 h |
|----------------------------|-----|------|------|------|
| 5 | 0 | 0 | 0 | 13.7 |
| 10 | 0 | 0 | 53.3 | 70.2 |
| 15 | 0 | 3.2 | 57.4 | 80.4 |
| 20 | 0 | 32.7 | 84.7 | 92.5 |
| 25 | 6.4 | 73.2 | 92.8 | 95.1 |
| 30 | 9.2 | 92.4 | 96.1 | 98.3 |
| 35 | 0 | 57.4 | 80.1 | 92.6 |
| 40 | 0 | 0 | 8.0 | 8.7 |
| 45 | 0 | 0 | 0 | 0 |

浙江省农业科学院植物保护研究所的王莲平团队通过对番茄早疫病的病菌生物学特性的研究^[8]、国外Harrison对美国科罗纳多马铃薯早疫病流行性病学研究^[9]、Moore对影响茄链孢菌侵染的环境因素的研究^[10]都得出茄链孢菌孢子和分生孢子的萌发需在合适的温度范围内,空气相对湿度较高,在叶片上已形成水滴且有一定程度降雨量的条件下发生。根据以上对番茄早疫病的病原菌孢子萌发的一系列相关研究,可以得出番茄早疫病孢子萌发的最主要因素是环境温湿度,在20~35℃的条件下均能较好萌发,最适宜温度是25~30℃,其在不同含水量时,湿度越高,萌发率越高,当空气相对湿度达100%时萌发最好。

该研究以空气温度、相对湿度和田间降雨量三者的关系构建风险等级预报模型,从而预测番茄早疫病发生,指导防治。在病菌的发育中,温度是决定病害发育起始以及发育速度的关键因素,因此在早疫病的模型构建中,参照诸多研究中对于早疫病病菌发育速率最快的温度范围是以20和35℃

为阈值,低于 20 ℃或高于 35 ℃时病菌的发育速率较慢,无法形成规模化的发病,或发病程度轻;相对湿度为病菌的发育提供水分,尤其是对早疫病菌来说,空气足够湿润,有水滴或叶面湿润则有利于病菌的生长发育;降雨量则是作为病菌分生孢子传播的重要途径,当分生孢子发育成熟后,通过雨水的溅起,传播到健康的植株体上,从而开始下一阶段的侵染过程,同时降雨容易形成水滴或水膜,为病菌的发育提供充足的水分条件,即相对湿度和降雨量满足条件都可为病菌的发育提供必要的水分条件。因此,在风险等级的划分上以温度作为首要条件,相对湿度和降雨量作为有利因素,参照前面的研究结论,根据前 5 d 环境温湿度度的情况,将风险等级 S 划分为 5 级,S 数值越大风险越高,风险等级如表 7 所示。

表 7 基于前 5 d 温湿度划分的番茄早疫病风险等级(S)

Table 7 Risk grade of tomato early blight classified by temperature and humidity on first 5 days

| 序号 Code | 平均空气温度 Mean air temperature//℃ | 相对湿度>80% 的小时数 Hours with relative humidity >80% //h | 累计降雨量 Cumulative precipitation mL | S 发生等级 S occurrence grade |
|------------|--------------------------------------|---|--|---------------------------------|
| 1 | <20 或 >35 | <64 | <2.2 | 0 |
| 2 | ≥20 且 ≤35 | <64 | <2.2 | 1 |
| 3 | <20 或 >35 | ≥64 | <2.2 | 2 |
| 4 | <20 或 >35 | <64 | ≥2.2 | 2 |
| 5 | <20 或 >35 | ≥64 | ≥2.2 | 3 |
| 6 | ≥20 且 ≤35 | ≥64 | <2.2 | 4 |
| 7 | ≥20 且 ≤35 | <64 | ≥2.2 | 4 |
| 8 | ≥20 且 ≤35 | ≥64 | ≥2.2 | 5 |

连续 5 d 期间,当没有适宜病菌发育的水分和温度条件,病菌很难发育,故风险等级定义为 0;当没有适宜病菌发育的水分条件,但是温度合适,病菌有发育的风险,故风险等级定义为 1;当温度不适合,但相对湿度和累计降雨量 2 个条件中有 1 个满足,则分生孢子萌发可进行发育,故将风险等级定义为 2;当相对湿度和累计降雨量都满足条件,则水分条件非常满足,但因温度不适宜,病菌发育缓慢,故将风险等级定义为 3;当温度适合,相对湿度和累计降雨量满足其中 1 个,则表示病菌的发育温度和水分均有适宜条件,病菌的发育速率快,故将风险等级定义为 4;当温度、相对湿度和累计降雨量 3 个条件同时满足,则表示环境条件非常适宜病菌的发育、侵染和传播,故将风险等级定义为 5。

根据连续 5 d 的风险等级计算 CS5,当 CS5<9 时,为低风险期;当 CS5≥9 时,进入中风险期;当 CS5≥15 时,则为高风险期。进入不同的风险期,需要喷洒相应的防治药剂进行预防,再结合田间病情人工调查表,将人工田间调查实际数据和系统模型分析数据进行对比分析,及时调整预警模型参数,便于预警模型更加准确。

4 番茄早疫病自动监测预警平台构建

系统的开发环境主要是采用 visual studio 2015,开发语言采用 Java、HTML、CSS、JavaScript,数据库采用 Mysql,部署云服务器,通过物联网和 5G/4G 移动网络实现园区前端节点和云服务器的互联互通。

4.1 系统软件功能设计 根据病虫害监测预警的功能需要,系统的功能设计如图 4 所示。番茄早疫病自动监测预警平台主要包括环境数据采集、园区视频监控、病害预警模型、智能预警四大功能模块,主要由首页、控制管理、预警管理、视频监控、数据分析、模型设计、系统管理共 7 个管理功能组成。

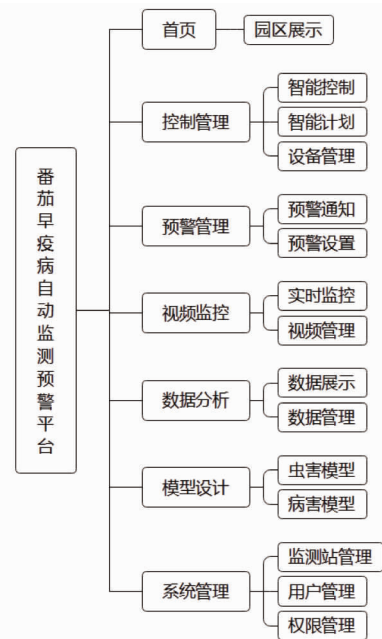


图 4 监测预警平台功能结构

Fig.4 Functional structure of monitoring and early warning platform

(1) 首页主要是展示整个园区的 2D 平面地图,还可以显示各个监测区的气象环境和土壤墒情。

(2) 控制管理主要包括智能控制、智能计划和设备管理。智能控制可以对各类病虫害监测设备进行开启、暂停、关闭等操作;智能计划可以设置相应的时间或条件来制定设备的运行状态;设备管理可以对智能控制设备进行编辑、增加、删除等功能。

(3) 预警管理主要分为预警通知和预警设置。预警通知向用户提供各种传感器、控制器、病虫害、气象、网关等预警消息;预警设置可以设置预警接收方式和预警接收人员信息等。

(4) 视频监控主要分为实时监控和视频管理。实时监控负责对园区的环境、作物和病虫害的情况进行远程视频监控;视频管理可以对录制的视频数据进行数据备份和导出等操作。

(5) 数据分析主要包括数据展示和数据管理。数据展示主要直观地向用户展示园区温湿度、土壤温湿度等传感器采集的环境数据;数据管理负责建立和维护园区气象指标库、土壤指标库和病虫害样本库,为数据分析和智能诊断提供标准数据源和决策分析依据^[2]。

(6) 模型设计包含虫害模型和病害模型。模型设计主要是对园区气象数据和病虫害数据进行分析 and 处理,得出当前病虫害发生等级,进行预警并形成智能诊断和决策分析建议。

(7)系统管理包括监测站管理、用户管理和权限管理。可以对监测站信息进行管理和维护,给用户分配角色和权限,并记录系统的运行情况、用户的登录情况等。

4.2 环境数据采集 该模块主要为用户展示园区种植过程中实时采集的各种维度的传感器数据,如空气温度、相对湿度、土壤温度、土壤水分等区域环境数据统计查询,可以按

时、按日、按时间段进行统计,并以图表或表格等各种可视化形式展示各类传感器采集的数据,方便管理者进行查询统计、分析决策。用户还可以通过对监测指标进行阈值设定,当监测数据超过阈值立即向用户发送预警信息或自动执行相关操作来进行环境调控。园区环境数据采集管理界面如图 5 所示。



图 5 园区环境数据采集管理界面

Fig.5 Collection management interface of park environmental data

4.3 园区视频监控 操作人员通过远程视频监控可查看园区环境和作物生长情况等多画面图像景象,可实现对园区的实时画面的全景监控,可对番茄植株生长长势及病虫害进行

图像分析,及时调整管控策略,加强基地生产监管。园区视频监控管理如图 6 所示。

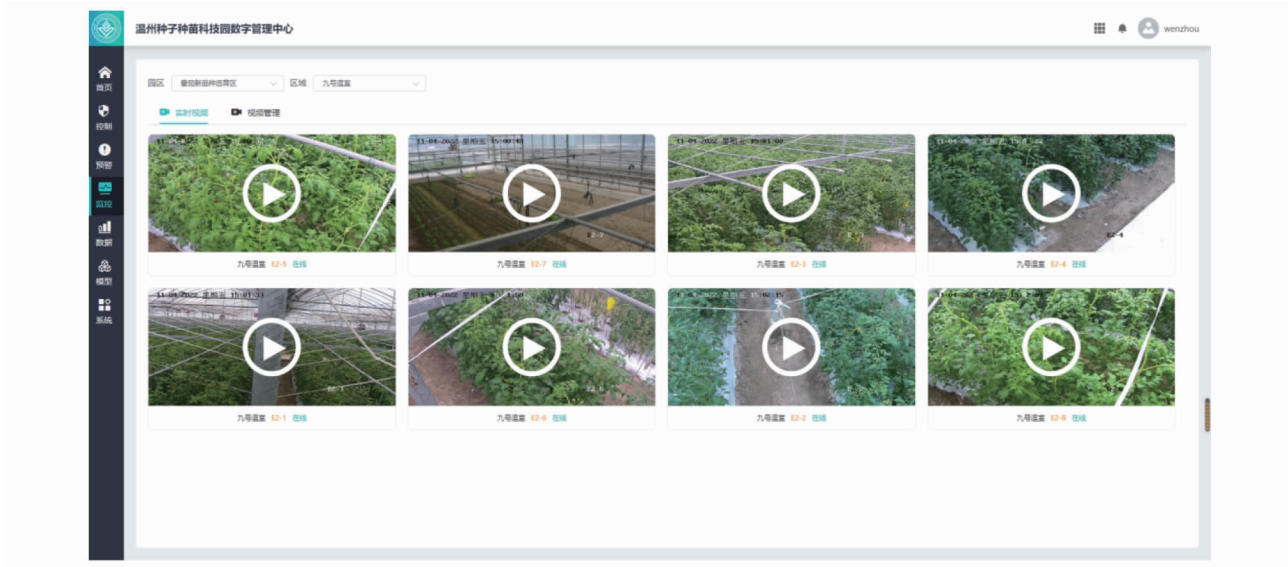


图 6 园区视频监控管理界面

Fig.6 Park video surveillance management interface

4.4 病害模型设计 模型设计根据作物病虫害专家研究出的早疫病暴发的影响因子和影响系数构建番茄易爆发的早疫病数据模型,通过大数据处理方法对记录数据进行处理,得出病害爆发时间的模型关系,并通过曲线图、柱状图等多种图表来显示趋势变化情况。根据湿度、温度和符合温湿度

条件的持续时间,计算湿润期,判断是否进入侵染期,进入侵染期之后根据温度判断侵染风险等级 S,系统每天计算 1 次过去 5 d S 值的累加值 CS5,并形成晚疫病侵染曲线图,用户可以在系统内查看晚疫病实时侵染曲线图,并根据曲线图显示的发病情况决定采取不同防虫害措施。当风险等级进入

中高风险时,进行风险提示并及时给出防治措施建议,记录打药情况。番茄早晚疫病的模型设计如图 7 所示,构建的数

据模型可对数据进行分析进行智能生产决策和管控,后续还可以根据需要构建不同病虫害模型。



图 7 番茄早晚疫病的模型设计

Fig.7 Model design of tomato morning and evening blight

4.5 智能预警管理 用户可以设置风险预警阈值和选择接收预警信息的方式,当病害爆发风险超过预警阈值或设备出现故障时,系统自动向用户即时发送预警信息,可以通过邮件、短信、微信等多种方式进行预警。用户第一时间收到预

警提醒,及时进行调度防控,提高植保风险规避管理,为管理者的快速决策提供及时正确的依据。智能监测预警管理界面如图 8 所示。

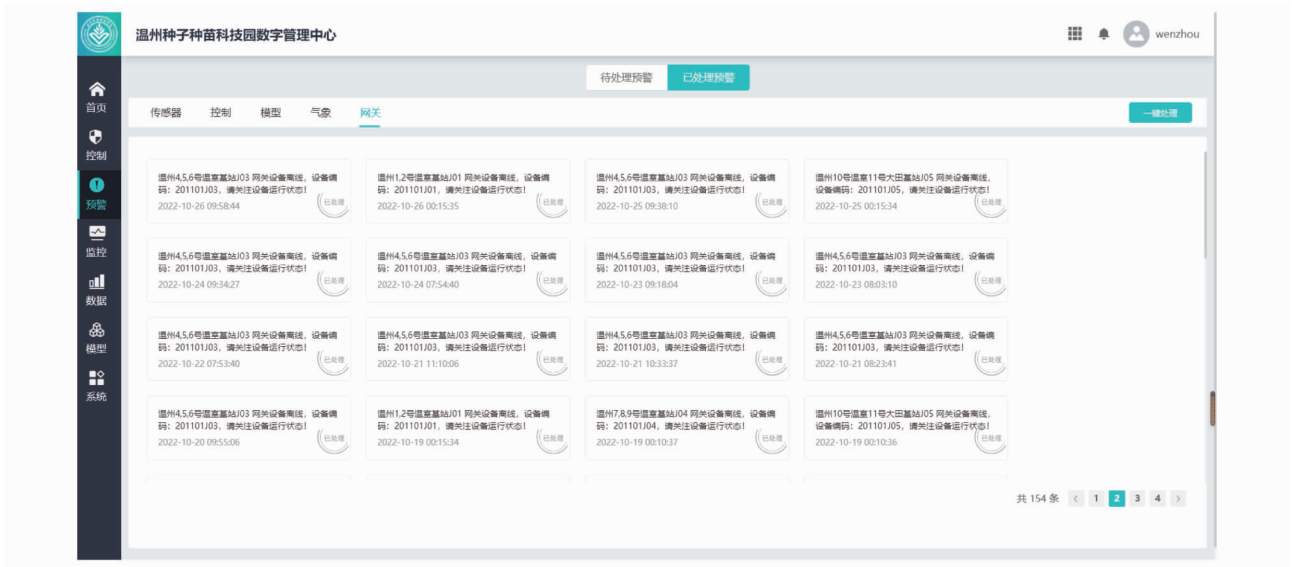


图 8 智能监测预警管理界面

Fig.8 Intelligent monitoring and early warning management interface

5 结语

利用信息技术和数字化技术加强病虫害数字化监测预警建设,提高病虫害监测预警能力和植保水平,已成为病虫害测报工作发展的必然趋势^[11]。该研究通过构建番茄早疫病自动监测预警平台,对番茄生长环境和病害数据进行遥感数据采集、监测、数据建模等分析,实现对番茄早疫病的远程监控和监测预警发布等功能,提早全面获取田间病害发生初期信息,实现精准防控、有效控害,大幅度减少病虫害和农药对

农产品及环境的污染,以实现“早发现、早预报、早防控”,进一步提升番茄灾情测报的时效性和科学防控水平,为精准指导农业生产提供助力,具有广泛的应用前景。预警系统目前主要以番茄高发的早疫病为监测对象,以后可以逐步开展更多病害或虫害的研究模型。

参考文献

[1] 贺观清.九种药剂对番茄早疫病的防治作用[D].杨凌:西北农林科技大学,2014.

- [30] 李荣,张文辉,何景峰,等.不同间伐措施对辽东栎幼苗自然更新及生长状况的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(1):52-60,68.
- [31] 姜仲茂.5种乡土红树植物定居无瓣海桑人工林林下限制因子研究[D].北京:中国林业科学研究院,2019.
- [32] 谭露.唐家河自然保护区岷江冷杉林的天然更新状况及其影响因子[D].绵阳:绵阳师范学院,2017.
- [33] FRANKLIN J F, MITCHELL R J, PALIK B J. Natural disturbance and stand development principles for ecological forestry[R]. 2007.
- [34] SZWAGRZYK J, MACIEJEWSKI Z, MACIEJEWSKA E, et al. Forest recovery in set-aside windthrow is facilitated by fast growth of advance regeneration[J]. Annals of forest science, 2018, 75(3):1-12.
- [35] 邱均平,吕红.近五年国际图书情报学研究热点、前沿及其知识基础:基于17种外文期刊知识图谱的可视化分析[J].图书情报知识,2013(3):4-15,58.
- [36] KLEINBERG J. Bursty and hierarchical structure in streams[C]//Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining. New York, USA: ACM, 2002:91-101.
- [37] IJIMA H, SHIBUYA M. Evaluation of suitable conditions for natural regeneration of *Picea jezoensis* on fallen logs[J]. Journal of forest research, 2010, 15(1):46-54.
- [38] KUNZ S H, MARTINS S V. Soil seed bank in seasonal semideciduous forest and abandoned pasture[J]. Rev. Árvore, 2016, 40(6):991-1001.
- [39] ROUSI M, POSSEN B J M H, RUOTSALAINEN S, et al. Temperature and soil fertility as regulators of tree line Scots pine growth and survival-implications for the acclimation capacity of northern populations[J]. Global change biology, 2018, 24(2):e545-e559.
- [40] HANSEN W D, FITZSIMMONS R, OLNES J, et al. An alternate vegetation type proves resilient and persists for decades following forest conversion in the North American boreal biome[J]. Journal of ecology, 2021, 109(1):85-98.
- [41] 李荣,何景峰,张文辉,等.近自然经营间伐对辽东栎林植物组成及林木更新的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(7):83-91.
- [42] 李荣.近自然经营强度对辽东栎种群与群落恢复影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [43] 陈晓丽,王根绪,杨燕,等.贡嘎山不同林龄峨眉冷杉种子雨及土壤种子库[J].生态学杂志,2013,32(5):1141-1147.
- [44] 雷静品,李慧卿,江泽平.在我国实施近自然森林经营的分析[J].世界林业研究,2007,20(5):63-67.
- [45] 程中倩,吴水荣,刘世荣.我国森林天然更新及人工促进天然更新的现状与展望[J].山西农业大学学报(自然科学版),2018,38(10):71-76.
- [46] 陈永富.森林天然更新障碍机制研究进展[J].世界林业研究,2012,25(2):41-45.
- [47] 丁惠萍,张社奇,钱克红,等.森林生态系统稳定性研究的现状分析[J].西北林学院学报,2006,21(4):28-30,61.
- [48] 黄润霞,贾小容,刘婷,等.亚热带生态公益林冠层结构与林下辐射动态[J].西北林学院学报,2020,35(1):28-36.
- [49] ZHANG X R, TAN X F, WANG R Q, et al. Effects of soil moisture and light intensity on ecophysiological characteristics of *Amorpha fruticosa* seedlings[J]. Journal of forestry research, 2013, 24(2):293-300.
- [50] 李娜,康永祥,曾商春,等.太白红杉林窗更新与环境因子的关系研究[J].西北林学院学报,2019,34(6):30-36.
- [51] DAVIS K T, DOBROWSKI S Z, HOLDEN Z A, et al. Microclimatic buffering in forests of the future: The role of local water balance[J]. Ecography, 2019, 42(1):1-11.
- [52] 刘济明.茂兰喀斯特森林主要树种的繁殖更新对策[J].林业科学,2000,36(5):114-122.
- [53] 夏虹,夏春燕,宋海燕,等.重庆金佛山3种喀斯特森林群落木本植物种子雨、土壤种子库与幼苗更新[J].林业科学,2022,58(1):1-11.
- [54] SOLOMON S, QIN D W, MANNING M, et al. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC) [J]. Computational geometry, 2007, 18(2):95-123.
- [55] 岳天祥,范泽孟.典型陆地生态系统对气候变化响应的定量研究[J].科学通报,2014,59(3):217-231.
- [56] 郭朝霞,邓玉林,王玉宽,等.森林生态系统生态服务功能研究进展[J].西北林学院学报,2007,22(1):173-177,182.
- [57] 祁万宜,应中华,王军辉,等.几种针叶树种引种试验研究[J].河南农业大学学报,2006,40(1):38-44.
- [58] 兰士波.高寒地区国外用材树种引种驯化及早期评价[J].湖北农业科学,2011,50(12):2467-2471.
- [59] HILLE M, DEN OUDEN J. Improved recruitment and early growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings after fire and soil scarification[J]. European journal of forest research, 2004, 123(3):213-218.
- [60] KARA F, TOPAÇOĞLU O. Influence of stand density and canopy structure on the germination and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings [J]. Environmental monitoring and assessment, 2018, 190(12):749.
- [61] CZACHAROWSKI M, DROZDOWSKI S. Management of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands under changing environmental and social conditions [J]. Sylwan, 2021, 165(5):355-370.
- [62] SUKHAATAR G, NACHIN B, PUREVRAGCHAA B, et al. Which selective logging intensity is most suitable for the maintenance of soil properties and the promotion of natural regeneration in highly continental scots pine forests? -Results 19 years after harvest operations in Mongolia [J]. Forests, 2019, 10(2):1-21.

(上接第219页)

- [2] 潘春华.基于机器学习的南方蔬菜重大害虫识别预警研究[D].广州:华南农业大学,2019.
- [3] 迟静娣,张丽芳,李荣琼.石林县人参果几种病虫害的发生与防治[J].云南农业科技,2021(2):43-46.
- [4] 张浩.基于WebGIS和物联网的水稻病虫害监测与预警系统研究[D].长春:吉林农业大学,2016.
- [5] 吕佩珂,邵玉琴.番茄早疫病发病动态与防治研究[J].中国蔬菜,1987(1):23-27.
- [6] 刘孝峰,邢国文,徐奇功.番茄早疫病菌分生孢子萌发与环境条件的关系的研究[J].河南职业技术学院学报,1999,27(2):15-16.
- [7] 郑寰宇,马力,左豫虎,等.马铃薯早疫病菌分生孢子萌发条件的研究[J].植物保护,2010,36(6):91-95.
- [8] 王连平,王汉荣,茹水江,等.浙江省番茄早疫病病菌生物学特性研究[J].浙江农业学报,2022,14(6):320-325.
- [9] REN S Q, HE K M, GIRSHICK R, et al. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks [J]. IEEE transactions on pattern analysis & machine intelligence, 2017, 39(6):1137-1149.
- [10] AHMADI M, OUARDA W, ALIMI A M. Efficient and fast objects detection technique for intelligent video surveillance using transfer learning and fine-tuning [J]. Arabian journal for science and engineering, 2020, 45(3):1421-1433.
- [11] SALIH T A, ALI A J, AHMED M N. Deep learning convolution neural network to detect and classify tomato plant leaf diseases [J]. Open access library journal, 2020, 7(5):1-12.