

杜英杰,宗哲英,王 祯,等. 农作物病害诊断方法现状和展望[J]. 江苏农业科学,2023,51(6):16-23.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.06.003

农作物病害诊断方法现状和展望

杜英杰,宗哲英,王 祯,苑文博,李亚男,吴 晗

(内蒙古农业大学机电工程学院,内蒙古呼和浩特 010018)

摘要:为了给农作物病害诊断研究提供参考依据,更好地指导农作物病害诊断相关实践,本文介绍了农作物病害的产生原因及病害诊断的实现原理,并按病害诊断的实现依据对当前研究方法进行分类。基于环境成因的诊断方法主要通过传感器、物联网技术采集农作物的生长环境信息,从而实现病害诊断,适用于非侵染性病害和环境对病害发展起促进作用的侵染性病害。基于生物性成因的诊断方法主要依靠孢子检测、聚合酶链式反应(PCR)检测技术识别生物性病原,进而判断侵染性病害的种类。基于作物病症表现的诊断方法适用于处于病症表现期的农作物病害的诊断,根据具体实现方式可分为基于光谱技术的农作物病害诊断和基于图像处理技术的农作物病害诊断。其中光谱技术可用于对病症表现不明显的早期病害进行检测,图像处理技术主要针对病症表现明显时期的病害诊断。最后总结了不同诊断方法的性能、效果和特点,同时对未来农作物病害诊断技术发展趋势进行了展望。

关键词:农作物病害;诊断;环境因素;生物病原;病症表现

中图分类号:S431.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)06-0016-07

我国是农业生产大国,耕地面积占世界耕地面积的7%^[1]。过去20年里,我国农产品总产量与单位生产能力在全球范围内均位于世界前列^[2]。农作物病害是农业生产上重要的生物灾害,具有种类多、影响大、时常暴发成灾的特点,能够准确地诊断识别病害,并针对病害种类开展对应的防控防治措施对于农业生产具有十分重要的意义。

据联合国粮食及农业组织估计,世界粮食生产因植物病害造成的年损失约为总产量的10%^[3]。全国农业技术推广服务中心在《2022年全国农作物重大病虫害发生趋势预报》中指出,2022年的主要粮食作物的重大病虫害仍呈重发态势,预计发生面积达20.26亿亩次^[4]。2022年中共中央发布一号文件,即《中共中央国务院关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的意见》,其中指出“要强化农

业科技和装备支撑。更加重视依靠农业科技进步,坚持农业科技自立自强,推进关键核心技术攻关,夯实农业设施装备条件,创制运用新型农机装备,健全农业防灾减灾体系,促进农业提质增效”^[5]。由此可见,农作物病害检测科学化、智能化既是当前农业生产发展的现实需要,也是实现“全面推进乡村振兴、加快农业农村现代化”的历史发展的必然要求。

1 病害诊断依据

传统的病害诊断主要依靠人眼观察判断,这种方法需要有一定的病害知识储备和经验作为前提,并且具有主观性强、准确率低的缺点,容易导致误诊进而影响病害的及时防治,造成农作物的产量损失。农作物的病害种类有很多,一般可根据病害成因分为非侵染性病害、侵染性病害两大类^[6]。非侵染性病害一般是由非生物因素引起的,如气候因素(环境低温、高温)和不适宜农作物的生长环境(土壤中的矿物质元素、水分)引起的农作物病害。侵染性病害是指由生物(细菌、真菌、病毒等)侵染引起的农作物病害。病害发生后通常会引起农作物生理机能失常、失调,主要表现为作物的生长状态发生改变,进而引起作物发育不良、枯萎或死亡。目前,农作物病害的诊断一般基于检测病害的成因和通过识别作物病症表现的方法来进行,详见表1。

收稿日期:2022-04-21

基金项目:内蒙古自治区教育厅重点项目(编号:NJZZ22509);内蒙古自治区研究生教育教学改革研究与实践项目(编号:YJG20181012905);内蒙古自治区2021年硕士研究生科研创新项目(编号:S20210227Z);2019年度内蒙古自治区人才开发基金。

作者简介:杜英杰(1997—),男,内蒙古赤峰人,硕士研究生,主要从事数字化农牧业关键技术和装备研究。E-mail:duyingjie0305@163.com。

通信作者:宗哲英,博士,教授,主要从事数字化农牧业关键技术和装备研究。E-mail:zongzheyang@163.com。

表 1 农作物病害的主要检测方式和应用类型

检测方式	主要检测手段	病害应用
传统方法	人眼观察	侵染性病害、非侵染性病害
基于环境成因的诊断方法	物联网、传感器检测	非侵染性病害、部分侵染性病害
基于生物性成因的诊断方法	孢子检测、PCR 反应	侵染性病害
基于病症表现的诊断方法	光谱检测、图像检测	侵染性病害、非侵染性病害

2 基于环境成因的诊断方法

作物所处的环境是作物赖以生存生长的基础,对作物的成长起到决定性作用。不同作物对生长环境的要求不同,当环境要素不满足作物生长的要求时,便会影响作物发育,严重的可导致作物患病甚至死亡。以主要的粮食作物为例,玉米缺氮会导致苗期玉米植株矮小,叶色黄绿;在生长盛期缺氮会使玉米叶片由下而上、从叶尖沿中脉向基部变得黄枯,直至全叶枯黄变死;在生长关键期缺氮会导致雌株发育延迟或停止,使得果穗短小、顶部籽粒不充实、粒少粒轻,并产生空秆^[7]。除了土壤营养元素缺乏导致的胁迫病害外,常见的病害还有因温度原因导致的低温冻害等。不适宜的环境不仅可以直接导致作物患病,在特定情况下,环境也可以间接促进生物病原造成的作物患病。如马铃薯晚疫病的病原为致病疫霉,早晚雾浓露重或阴雨连绵的天气以及气温在 10~25℃、相对湿度为 75% 以上的环境条件为该病害的流行条件,在此条件下致病疫霉极易繁殖孳生,马铃薯晚疫病一般也在这种天气条件下大规模暴发^[8]。综上所述,准确及时地获取环境信息可以为病害的实时监测诊断及科学防控、指导提供必要依据。

对于非侵染性病害和部分侵染性病害,可以通过作物生长环境信息进行诊断,详见表 2。其中对于环境信息的采集,一般通过部署传感器来实现。随着信息技术的发展,云平台为用户提供了一种新的、高效率的信息整合方式,极大地节省了传感器的信息收集、信息处理的时间成本。此外,相较于传统传感器,云平台还具有数据横向整合、直观的数据可视化分析等突出优势,相较于传统传感器,数据收集可以更好地实现数据交互。传感器和云平台是支持 1 个完整物联网系统而形成的核心软硬件内容,随着物联网系统对数据采集过程的集成,研究者能够省略繁琐的采集步骤,转而从其他角度对病害进行检测研究,其中包括对数据分析算法的

研究等。对于受环境因素促进而非主导影响的病害种类,将环境因素与其他检测手段进行信息融合的判别模式也是主要的研究方向。除此之外,环境信息的获取不仅局限于物联网采集,气象局、气象站和高程卫星对特定病害同样可以起到检测或监测作用。

3 基于生物性成因的诊断方法

病原微生物对作物的侵染是作物发生病害的最常见因素,2020 年农业农村部发布的《一类农作物病虫害名录》中被列为一类的农作物病害全部为由生物病原导致的侵染性病害^[20],可见侵染性病害在农作物中的广泛性和危害性。常见的侵染性病害有小麦条锈病、小麦赤霉病、马铃薯晚疫病和稻瘟病等。准确获取病原微生物信息有助于对病害种类进行判断,从而提升病害诊断的精准性和可靠性。目前在生物性成因检测方面较为流行的技术主要有电镜技术、生物芯片技术等。

基于生物性成因的检测诊断方法只针对侵染性病害,详见表 3。孢子是由许多真菌、藻类和原生动物产生的一种有繁殖或休眠作用的生殖细胞,在适宜情况下可以发展为导致病害的病原个体,通过研究田间孢子的生长情况有助于对农作物病害进行检测与评估。同时,由于孢子生殖是某些病害病原个体的繁殖方式,因而通过对孢子情况的监测研究有助于了解农作物病害的发展趋势。在研究病菌孢子数与病害、病情的关系时,通常借助孢子显微图像,基于图像处理技术对其进行计数。对于田间病害种类的直接检测,更便捷的方法是采用聚合酶链式反应(PCR)检测技术,该检测方式相较于孢子检测具有直接快速的技术特点,有助于在田间快速制备用于诊断各种植物病害的分子诊断样品。

4 基于作物病症表现的诊断方法

作物在受不适宜的生长环境或病原生物影响后,会在形态、生理和生化上发生一系列病理变化,

表 2 基于环境信息的农作物病害诊断研究现状

研究依据	研究对象	研究方法	研究结果	参考文献
生长环境信息	马铃薯晚疫病	传感器检测环境信息,建立马铃薯晚疫病的监测和预警系统	实现了对马铃薯晚疫病的监测和预警,监测准确率为 97%	[9]
	马铃薯晚疫病	传感器检测环境信息借助物联网云平台进行汇总分析	构建了 1 个马铃薯晚疫病评估和防治决策支持平台	[10]
	苹果冻害	通过物联网收集环境信息并构建基于 ARIMA 算法的诊断模型	实测数据结果和预测结果一致,实现了对未来一周内苹果冻害的准确预警	[11]
	小麦赤霉病	通过传感器实时采集小麦生长的环境参数,通过内置预测模型对环境参数进行模拟预测	对小麦赤霉病病穗率、发生程度的平均预测准确率分别为 79.9%、67.1%	[12]
	茶叶霜冻害	根据气象局、气象站的精细化预报产品数据和 30 m 分辨率的 DEM 数据对浙江地区茶叶霜冻害进行精细化预警	预警结果与实地调查结果基本一致	[13]
	水稻的 13 种病害	选取水稻生长的环境信息针对病害的侵入期和潜育期,构建了基于模糊推理预警模型的水稻病害短期分级预警应用系统	预警模型的设计符合水稻病菌侵染寄主以及病害发生与流行的实际规律,能够为预警系统客户端的开发提供可靠的算法支撑	[14]
	黄瓜霜霉病	传感器采集室内环境信息,构建基于径向基核函数的支持向量机模型	准确率为 95%	[15]
生长环境信息融合其他信息	油菜病害	基于物联网采集油菜生长环境信息,融合无人机遥感平台采集的低空遥感信息,构建了基于多源数据的油菜病害物联网监测系统	总体准确率为 87.8%	[16]
	水稻稻瘟病	传感器检测环境信息借助物联网云平台进行汇总分析,同时融合图像信息共同诊断	实现了水稻稻瘟病的检测和诊断功能	[17]
	设施蔬菜环境	采用对蔬菜生长环境布设物联网传感器及监测摄像头的方式,建立蔬菜环境视频监测系统	实现了对设施内蔬菜生长环境的全面智能感知	[18]
	黄瓜白粉病、角斑病、炭疽病、菌核病 4 种病害	物联网周期性的采集环境信息以及图像信息,构建了病害特征识别模型	模型识别准确率为 79.4%~93.6%	[19]

此外在通常会表现出变色、坏死、腐烂、萎蔫、畸形等 5 种类型的病症表现。病症表现对于不同病害类型及其在不同作物上的病症表现各不相同,这就为以作物病症表现为切入点的植物病害识别诊断方法的实现提供了可能。光谱技术对于检测作物病害的生理化学信息具有较好的效果,它能直接反映分子内部结构及运动状态,因为该技术采集到的光波段远超过可见光范围且是肉眼不能感知的,从而使光谱仪器采集到的样本信息量大大增加^[33]。在农业病害诊断领域中,光谱技术最大的贡献是可以近端、远端(主要为无人机搭载)和遥感(卫星搭载)多个观测范围观测农作物的病害情况,从而为病害诊断提供可靠、直观的理论依据^[3]。除此之外,近年来随着计算机算力的提升和各种创新性算法的涌现,通过图像进行病害识别也成为可能。目前依据图像识别对植物病症进行诊断的方法主要分为 2 类,一类是使用经典图像处理方法提

取特征识别病害,另一类是采用深度学习方法构建病害判别模型来识别病害。

4.1 基于光谱技术的农作物病害诊断方法研究现状

光谱可以检测到很多人眼无法看到的作物病害的生理化学信息,这个特点对于病害检测诊断任务具有独特优势,详见表 4。手持式近端光谱仪器的出现使得获得光谱数据的成本大为降低。近年来,随着民用无人机技术的广泛快速发展,光谱仪器有了更高的搭载平台,人们可以通过无人机搭载的光谱仪器进行田块尺度的病害检测与诊断,从而从宏观角度掌控田块尺度农作物的生长态势。相较于无人机,遥感卫星的光谱数据具有更大的宏观优势,其执行的任务通常是地区尺度的。除了直接使用光谱对病害区域进行分析外,还有研究者通过研究叶片中叶绿素的光谱响应特点来检测农作物生长的健康状况,进而判断作物是否染病。

表 3 基于生物病原信息的农作物病害诊断研究现状

研究方式	研究对象	研究方法	研究结果	参考文献
PCR 检测	白菜黑斑病	利用 PCR 检测技术,分别设计并合成了鉴定白菜黑斑病菌的 3 种特异性引物	可对白菜种子携带的黑斑病菌实现快速检测	[21]
	番茄晚疫病	在茄叶片上应用一次性聚合物微针(MN),提取病原 DNA 并将其用于直接聚合酶链式反应(PCR)	对接种 3 d 后样品的晚疫病感染检测率达到 100%	[22]
	小麦白粉病	利用病菌孢子捕捉器捕获孢子,并建立了基于 Real-time PCR 的病菌孢子定量技术的白粉病田间病情的估计模型	PCR 检测结果与基于显微孢子计数技术所得结果呈极显著正相关($r^2 = 0.8654$)	[23]
	冬小麦炭疽病和黑斑病	基于巢式多重 PCR 技术,建立可同时快速准确检测炭疽病原菌山麦炭疽菌和黑斑病原菌互隔交链孢菌的方法	检出率为 80%	[24]
病菌孢子数	小麦白粉病	利用孢子捕捉器对病原菌孢进行取样,借助放有叶片的培养皿捕获小麦白粉病菌孢子,在室内培养并统计每皿叶片上的侵染点数	建立病菌孢子数与田间小麦病害病情的关系	[25]
	小麦赤霉病	利用孢子捕捉器捕获,探究小麦赤霉病菌孢子田间释放动态;并研究环境因素对小麦赤霉病菌孢子囊孢子释放的影响	随着相对湿度的增加,子囊孢子释放量呈递增趋势	[26]
	大麦黄矮病	用电子显微镜技术观察到大麦黄矮病毒对植物叶绿体细胞的侵染过程		[27]
	水稻稻瘟病	对病菌孢子的显微图像分水岭算法实现了对病菌孢子的分离	结果显示,该研究孢子平均检测率为 98.5%	[28]
	水稻病害	根据孢子的气传特性构建了基于微流控与衍射重构技术的水稻病害孢子获取和检测方法	准确率为 85%	[29]
	小麦白粉病	基于改进 YOLOv3 设计实现了 1 种小麦白粉病孢子图像检测算法	算法检测的查准率为 79.63%,查全率为 83.21%	[30]
	稻瘟病	利用衍射成像复合重构计算设计了 1 种包含富集、进样机构的真菌病害孢子检测系统,对稻瘟病孢子进行检测识别	检测结果与人工显微镜识别结果呈高度线性相关,决定系数为 0.99,平均检测误差为 5.91%	[31]
	小麦锈病	通过捕捉小麦锈病菌孢子,并通过显微镜拍摄,基于 opencv 以形态学的方法进行识别	对小麦锈病菌孢子的识别准确率达到了 83.14%	[32]

4.2 基于图像处理技术的农作物病害诊断方法研究现状

基于图像处理技术的农作物病害诊断可按研究方式分为经典图像算法、深度学习技术 2 类,详见表 5。对于使用经典图像处理算法的病害叶片识别,常用的处理步骤如下:先对图像进行病斑区域分割,再通过算法对病斑区域提取病害特征,最后构建判别模型,对获取的特征进行判断,以识别其是否染病。此外,还有一些学者省略了病斑区域的分割步骤,直接在病害图像上提取图像全局的统计学特征,再对统计学特征进行分析判别。近年来,随着深度学习算法的发展和涌现,许多深度学习模型也逐渐应用到病害诊断领域,研究者通过对深度学习模型的结构或激活函数进行改进,使其在执行病害检测任务时表现出更好的准确性和鲁棒性。

影响模型性能的因素不仅包含模型结构和激活函数,模型的超参数的选择也是一个重要方面,通过试验选取最优的超参数组合,也可以提高病害检测模型的识别准确率。

5 总结

在当前推进乡村振兴、加快农业农村现代化的社会背景下,传统的人工诊断病害的方法因存在主观性强、效率和准确率低等缺点,应用于病害诊断任务已具有较大局限。环境是影响植物病害的一项重要因素,基于环境信息监测的病害诊断方法不仅可以依据作物生长环境数据对植物病害进行诊断,而且可以结合环境变化趋势对作物病害进行进一步预测和预警,这是环境信息相较其他病害诊断依据而言独有的特点和优势。但是从我国的农

表 4 基于光谱信息检测的农作物病害诊断研究现状

数据获取方式	研究对象	研究方法	研究结果	参考文献
近端光谱	水稻纹枯病	用高光谱技术采集水稻的光谱信息,研究不同纹枯病发病阶段的光谱响应,构建基于光谱特征的决策树分类器	准确率为 95.5%	[34]
	茶树炭疽病	通过获取茶树叶片光谱信息进行分析,确定茶树炭疽病敏感波段,并采用迭代自组织数据分析算法 (ISODATA) 对光谱数据进行分类识别	总体识别准确率为 98%	[35]
	烟草花叶病	采集地面近端高光谱结合高分辨率的遥感影像,探寻光谱数据与叶绿素含量、叶片含水量的关系,建立烟草花叶病诊断模型和病害时空分布图,实现烟草花叶病的快速无损监测	检验精度达 76.86%	[36]
	鳄梨月桂枯萎病	使用手持式光谱仪收集来自健康树木和感染月桂枯萎病树木的可见近红外光谱数据;使用多层感知器的分类	准确率为 98%	[37]
卫星光谱遥感	大豆猝死综合征	使用高分辨率卫星图像获取的 RGB 图像和光谱图像数据,通过计算归一化植被指数 (NDVI) 和作物轮作信息,检测和分辨大豆田中健康大豆和被猝死综合征病原感染的大豆	光谱特征与地面信息相结合,在叶片症状出现之前就可以检测出大豆地块中存在病害风险的区域	[38]
	水稻纹枯病	利用时间序列卫星数据提取特征变量作为模型输入的特征,应用支持向量机 (SVM) 分类方法构建水稻生育期监测模型,将得到的多时相水稻生育期监测结果用于水稻纹枯病的生境评估	水稻生育期监测模型的总体监测精度为 89.00%	[39]
	小麦白粉病	通过卫星遥感影像提取地面植被指数、各波段反射率等特征与地面气象特征结合,采用相关向量机算法构建白粉病发生预测模型	遥感气象数据模型的总体精度为 84.2%	[40]
无人机光谱	马铃薯晚疫病	通过无人机搭载光谱仪器采集光谱图像,并将图像通过深度学习模型进行训练,构建晚疫病自动检测模型	对测试数据集、独立数据集的平均准确率分别为 98.09%、95.75%	[41]
	柑橘树胶病	使用无人机搭载的高光谱传感器采集光谱数据,基于光谱角的分类算法 SAM 进行分类	柑橘树胶病的检测准确率为 79%	[42]
	油棕的茎腐病	通过无人机搭载获取光谱图像,并建立油棕健康指数评价系统	系统可以自动对农田中的油棕进行识别、筛选,并实时计算每颗油棕的健康指标,以检测油棕的茎腐病发生情况	[43]

业发展情况看,除天气原因人们较难干预外,其他如氮磷钾等环境营养物质的缺失情况少之又少,而且与环境有关的农作物病害大部分是因为环境适宜生物病原繁殖传播而间接导致的,因此环境因素逐渐成为多源数据融合诊断病害的一个辅助判据。

依靠对生物病原进行检测的病害诊断技术直接对生物病原进行检测识别,进而判断病害种类,因此该方法具有识别的可靠性和准确率高等特点,但生物病原的检测识别过程较为专业、复杂,病原识别和获取需要有专业人员操作,具有局限性。便于田间快速检测的病原探测微针或试剂盒等 PCR 技术的出现,弥补了其专业性不高、效率低等局限,但是田间农作物生长环境复杂,其侵染病原有一定的随机性,病原探测微针或试剂盒等产品可检测的病原单一,仍不能作为具有普适性的田间诊断样品被有效推广使用。

光谱技术能直接反映分子的内部结构及运动状态,因此该技术对检测染病作物的生理状态具有较好的效果^[33],并且在病害初期,许多病症表现不明显,肉眼很难观察,使用光谱仪器却可以很好地洞悉植物的生长状态异常,便于在早期发现病害,早期防治。目前根据检测距离不同可以将光谱诊断技术分为近端光谱、远端光谱和遥感光谱。随着无人机技术的发展,远端光谱的代表——无人机+光谱仪器模式极大地方便了农户对农作物区域病害情况进行巡视检查。除了近端光谱诊断方法外,远端光谱、遥感光谱的数据采集受天气影响,尤其是云、雾等天气的影响较大,而且远端、遥感光谱实际采集的数据仅是作物冠层的光谱信息,对于作物其他部位的病害检测仍需结合近端光谱或其他检测手段实现。另外,高精度的光谱仪器价格高昂,遥感卫星的高精度光谱数据较为昂贵且不容

表 5 基于图像处理技术的农作物病害诊断现状

研究方式	研究对象	研究方法	研究结果	参考文献
经典图像处理	苜蓿病斑	使用 K - Medoids 聚类算法结合线性判别分析对苜蓿病斑叶片进行图像分割,在此基础上提取苜蓿病斑叶片的 129 个图像特征并使用支持向量机进行训练	准确率为 93.10%	[44]
	苹果枯叶病	应用 k - means 聚类算法先对病斑叶片进行图像分割,再根据分割的病斑区域计算其三阶颜色矩参数,进而通过与正常叶片三阶颜色矩的对比判断叶片是否染病	检测精度为 93.3%	[45]
	茶叶病害	通过灰度共生矩阵来构造茶叶病害的纹理特征和将支持向量机应用到茶叶病害的识别方法	识别率为 86.67%	[46]
	檀香叶炭疽病和白粉病病害	通过对颜色、形状和纹理特征的提取组建成特征向量,再通过 SVM 分类器进行分类	白粉病、炭疽病和健康样品的正确识别率分别为 84%、92% 和 92%	[47]
	黑腐病、轮斑病和褐斑病等葡萄叶片病害	用统计学方法分别获取病害叶片的纹理特征、颜色矩特征和直方图特征,并将特征融合,通过支持向量机进行分类	平均识别率为 93.41%	[48]
深度学习方法	黄瓜叶片的 8 个类别病害图像	基于不同层数及不同卷积核数量组合试验,最终确定 3 层卷积模型(分别使用 64、32、16 个卷积核),每层卷积层后连接最大池化层的轻量化 CNN 模型,并联合引入修改后的 ReLU 激活函数	准确率为 93.75%	[49]
	自创的 11 类病害叶片及 4 类健康叶片的农作物数据集	首先采用数据增强操作构造不同的识别场景。然后在 Mobile Net - V2 的基础上,嵌入轻量化坐标注意力机制,再采用分组卷积并删除模型中不必要的分类层,减少模型参数量,达到改进模型的目的	改进模型的识别准确率为 92.20%	[50]
	水稻的 3 种病害	应用 Otsu 的全局阈值技术对图像进行预处理,去除图像的背景噪声。再接入全连接 CNN 网络,对 4 000 张病叶图像样本和 4 000 张健康水稻叶片图像样本进行训练	在数据集上的准确率为 99.7%	[51]
	水稻、玉米、大豆 3 种农作物的 12 种常见病害	采用小卷积核连续卷积层结合稀疏 Maxout 激活函数层的卷积网络改进策略,对常见病害图像进行分类识别	模型的平均识别准确率为 91.67%	[52]
	PlantVillage 项目数据集中包含的病害叶片和健康叶片	选用 NASNetMobile 模型对图集进行训练,探讨批大小、优化函数、周期、学习率等超参数的选择对模型性能及表现的影响,进而选择最优的超参数组合	准确率为 93.82%	[53]

易购买也是制约光谱诊断技术发展和推广的关键因素。

根据图像处理技术诊断病害的方法具有设备易操作、使用成本低的优势,并且近年来随着计算机算力的提升和各种创新性算法的涌现,该技术可诊断病害的种类明显增多,同时其诊断准确率也处于较高水平,但是局限于图像数据,该技术对于病症表现不明显的早期病害有一定局限性,同时该方法一般只局限于近端检测,对大范围农田尺度的植物病害诊断表现不佳。

6 展望

近年来,随着在病害领域研究的深入,先后涌现了越来越多的作物病害诊断方法。总体上看,各种方法对特定病害的识别准确率都表现出较高水平,但是也存在一些有待优化的问题,具体如下:

(1) 在自然界和实际生产中,作物可能发生的常见

病害有很多,不是只局限于其中一种或几种,而在目前诸多病害诊断方法中,其研究对象一般只设定为特定的某种作物上的一种或几种病害,而对于研究对象以外的病害种类,诊断方法往往表现乏力,缺乏普适性。(2) 作物的生存环境十分复杂,环境中常伴有多种病原共同孳生、作用于植物体的现象,使得作物同时感染 2 种或 2 种以上的疾病。目前研究方法具有高准确率的前提是对单一病害的诊断,对于多种病害对作物的相互作用还有待进一步探究。(3) 随着时代的发展,数据的获取成本在逐渐降低。对于作物病害领域,采用多源数据融合、交叉验证诊断将是未来发展的一个方向,并且随着对环境即时数据、预测数据的引用,可实现的功能除了对病害的诊断外,还可以对于某些特定病害产生预警效果,也可以实现对作物生长状态进行多元、实时监控,从而进一步实现农作物的智能化、自动化管理。

参考文献:

- [1] 陈 民, 胡雪琼, 鲁韦坤, 等. 神经网络在农业病害预测中的应用[J]. 现代农业科技, 2020(21):136-140.
- [2] 王亚华, 臧良震, 苏毅清. 2035 年中国农业现代化前景展望[J]. 农业现代化研究, 2020, 41(1):16-23.
- [3] 王翔宇, 温皓杰, 李鑫星, 等. 农业主要病害检测与预警技术研究进展分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(9):266-277.
- [4] 全国农业技术推广服务中心. 2022 年全国农作物重大病虫害发生趋势预报[N]. 农民日报, 2022-02-16(6).
- [5] 国家粮食和物资储备局. 2022 年中央一号文件(全文)[EB/OL]. (2022-02-22)[2022-04-16]. http://www.lswz.gov.cn/html/xinwen/2022-02/22/content_269430.shtml.
- [6] 奚云红. 植物病害分类及其防治措施[J]. 云南农业科技, 2021(5):27.
- [7] 赵艳宏, 封力源, 牛 真. 玉米缺素症的发生识别及防治措施[J]. 农业与技术, 2014, 34(4):108.
- [8] 陈利锋. 农业植物病理学[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2007:359-362.
- [9] 赵中华, 车兴壁, 张 君. 物联网技术在马铃薯晚疫病防控中的应用实践[J]. 中国植保导刊, 2015, 35(7):37-40.
- [10] Foughali K, Fathallah K, Frihida A. Using cloud IOT for disease prevention in precision agriculture [J]. Procedia Computer Science, 2018, 130:575-582.
- [11] 刘力宁. 基于物联网的苹果生长环境监测与苹果冻害预警系统研究[D]. 济南: 山东农业大学, 2019.
- [12] 黄 冲, 刘万才, 姜玉英, 等. 小麦赤霉病物联网实时监测预警技术试验评估[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(9):28-32.
- [13] 李时睿, 王治海, 金志凤, 等. 茶叶霜冻害精细化预警——以浙江省松阳县为例[J]. 生态学杂志, 2017, 36(10):2979-2987.
- [14] 韩国鑫. 基于气象条件的水稻病害短期分级预警系统的研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2019.
- [15] 贾 媛. 基于数据驱动的温室黄瓜霜霉病监测预警系统[D]. 济南: 山东农业大学, 2019.
- [16] 曹 峰. 基于多源数据的油菜病害快速诊断方法与物联网监测系统[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- [17] Menaka R, Keshav G, Chandra K, et al. Monitoring and disease diagnosis of *Oryza sativa* crops through an IoT enabled embedded system [J]. International Journal of Recent Technology and Engineering, 2019, 8(1):191-197.
- [18] 张领先, 李鑫星. 蔬菜病害识别诊断与预警物联网技术研究与应用[J]. 蔬菜, 2017(8):50-55.
- [19] 高荣华, 李奇峰, 孙 想, 等. 多结构参数集成学习的设施黄瓜病害智能诊断[J]. 农业工程学报, 2020, 36(16):158-165.
- [20] 农业农村部. 中华人民共和国农业农村部公告第 333 号[EB/OL]. (2020-09-15)[2022-04-16]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-09/17/content_5544165.htm.
- [21] 肖长坤, 李健强, 师迎春, 等. 十字花科蔬菜黑斑病菌的 PCR 鉴定[J]. 植物病理学报, 2005(3):278-282.
- [22] Paul R, Saville A C, Hansel J C, et al. Extraction of plant DNA by microneedle patch for rapid detection of plant diseases[J]. ACS Nano, 2019, 13(6):6540-6549.
- [23] 王奥霖. 田间空气中小麦白粉菌分生孢子的动态监测及远程传播气流轨迹分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- [24] 杨怡华, 王明郎, 曹颖艳, 等. 麦冬主要病害病原菌巢式多重 PCR 检测方法的建立[J]. 植物保护学报, 2021, 48(4):742-747.
- [25] 周益林, 段霞瑜, 程登发. 利用移动式孢子捕捉器捕获的孢子量估计小麦白粉病田间病情[J]. 植物病理学报, 2007(3):307-309.
- [26] 张曼玉. 小麦赤霉病菌孢子释放规律研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2021.
- [27] Tao Y, Nadege S W, Huang C, et al. *Brachypodium distachyon* is a suitable host plant for study of barley yellow dwarf virus[J]. Virus Genes, 2016, 52(2):299-302.
- [28] 齐 龙, 蒋 郁, 李泽华, 等. 基于显微图像处理的稻瘟病菌孢子自动检测与计数方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(12):186-193.
- [29] 陈驰原. 基于微流控与衍射重构技术的水稻病害孢子检测方法[D]. 镇江: 江苏大学, 2020.
- [30] 段 迎. 小麦白粉病害及气象信息监测管理系统的键技术研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2019.
- [31] 杨 宁, 陈驰原, 李国晓, 等. 基于衍射重构技术的作物真菌病害孢子微型检测装置[J]. 农业机械学报, 2019, 50(4):42-48.
- [32] 王程利. 脉冲云智能孢子捕捉仪的研制与小麦锈病远程监测[D]. 济南: 山东农业大学, 2018.
- [33] 王海超, 高 雄, 陈铁英, 等. 农作物病害检测中光谱和图像处理技术现状及展望[J]. 农机化研究, 2015, 37(10):1-7, 12.
- [34] Lin F, Guo S, Tan C, et al. Identification of rice sheath blight through spectral responses using hyperspectral images[J]. Sensors, 2020, 20(21):6243.
- [35] Yuan L, Yan P, Han W, et al. Detection of anthracnose in tea plants based on hyperspectral imaging[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 167:105039.
- [36] 徐冬云. 基于遥感技术的烟草花叶病监测研究[D]. 济南: 山东农业大学, 2016.
- [37] Abdulridha J, Ehsani R, de Castro A. Detection and differentiation between laurel wilt disease, phytophthora disease, and salinity damage using a hyperspectral sensing technique[J]. Agriculture, 2016, 6(4):56.
- [38] Raza M M, Harding C, Liebman M, et al. Exploring the potential of high-resolution satellite imagery for the detection of soybean sudden death syndrome[J]. Remote Sensing, 2020, 12(7):1213.
- [39] 田洋洋. 基于多源卫星遥感数据的水稻纹枯病生境适宜性评价研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2021.
- [40] 马慧琴, 黄文江, 景元书. 遥感与气象数据结合预测小麦灌浆期白粉病[J]. 农业工程学报, 2016, 32(9):165-172.
- [41] Shi Y, Han L, Kleerekoper A, et al. Novel CropDocNet model for automated potato late blight disease detection from unmanned aerial vehicle-based hyperspectral imagery[J]. Remote Sensing, 2022, 14(2):396.
- [42] Moriya É A S, Imai N N, Tommaselli A M G, et al. Detection and mapping of trees infected with citrus gummosis using UAV hyperspectral data[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021, 188:106298.

徐 晗, 鄢紫薇, 覃卫林, 等. 生物质炭调控辣椒连作障碍研究进展[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(6): 23-31.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.06.004

生物质炭调控辣椒连作障碍研究进展

徐 晗¹, 鄢紫薇¹, 覃卫林², 邢 丹³, 王 玺¹, 郑志杰¹, 林 杉¹

(1. 华中农业大学资源与环境学院/农业农村部长江中下游耕地保育重点实验室, 湖北武汉 430070;

2. 湖北省省长阳土家族自治县农业农村局, 湖北宜昌 443500; 3. 贵州省农业科学院辣椒研究所, 贵州贵阳 550006)

摘要:随着我国农业的发展, 由于长期连作引起的生长不良、产量下降且品质变差等连作障碍问题日益影响了我国农产品的经济效益, 并造成食品安全风险。我国是辣椒种植大国, 由于不合理的栽培和管理措施, 辣椒连作障碍已经成为种植区的共性问题。辣椒连作障碍表现为土壤严重酸化、土壤养分失衡并且辣椒出现严重病虫害, 因此对辣椒连作土壤进行修复是解决辣椒连作障碍的关键。近年来, 生物质炭因其具有独特的结构以及吸附性、碱性等性质, 在农业生产中作为一种重要的土壤改良剂得到广泛的关注与应用, 故利用生物质炭作为调理剂来缓解辣椒连作障碍具有一定的潜力。本文总结了辣椒连作障碍的危害以及在不同方面的产生原因, 总结了为缓解辣椒连作障碍所提出的农艺措施和物理化学调控方法以及这些方法的局限性, 综述了生物质炭在改良连作酸化土壤、调控失衡土壤养分、改善土壤微生物群落结构、抑制辣椒疫病和抑制连作辣椒的自毒作用 5 个方面的研究进展, 分析了利用生物质炭缓解辣椒连作障碍的应用潜力, 并对未来生物质炭应用于连作土壤改良的研究作出展望。

关键词: 生物质炭; 辣椒连作障碍; 酸性土壤改良; 土壤养分; 化感作用

中图分类号: S641.306 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2023)06-0023-09

辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 因其果实营养丰

富、味道鲜美而在世界各地广泛栽培, 在我国种植面积达 210 万 hm^2 以上, 其中在河南、贵州、云南和江苏 4 省种植面积均超过 13 万 hm^2 ^[1]。近年来, 由于连作障碍造成的产量下降且品质变差等问题已经严重影响到我国农作物的经济收益。在我国辣椒主产区发生的生长不良、产量下降、病害频发等辣椒连作障碍问题日益严重^[2], 有研究指出辣椒连作后产量和品质都会出现一定程度的下降^[3], 辣椒

收稿日期: 2022-05-09

基金项目: 国家重点研发计划 (编号: 2021YFD1901202); 湖北省重点研发计划 (编号: 2021BCA156); 武汉市科技计划 (编号: 2020020601012284)。

作者简介: 徐 晗 (1998—), 男, 吉林松原人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态研究。E-mail: 1778967364@qq.com。

通信作者: 林 杉, 博士, 副教授, 主要从事土壤改良与温室气体减排研究。E-mail: linshan@mail.hzau.edu.cn。

[43] See B D, Hashim S J, Shafri H, et al. A new rapid, low-cost and GPS-centric unmanned aerial vehicle incorporating in-situ multispectral oil palm trees health detection [J]. *Journal of Agricultural Science and Botany*, 2018, 2(4): 12-16.

[44] 秦 丰, 刘东霞, 孙炳达, 等. 基于图像处理技术的四种苜蓿叶部病害的识别[J]. *中国农业大学学报*, 2016, 21(10): 65-75.

[45] 李亚文, 张 军, 陈月星. 基于 K-means 和特征提取的植物叶部病害检测与实现[J]. *陕西农业科学*, 2021, 67(6): 33-37, 41.

[46] 陈 荣, 李 旺, 周文玉. 基于灰度共生矩阵和支持向量机的茶叶病害诊断研究[J]. *贵州科学*, 2021, 39(4): 80-84.

[47] Wu C, Wang X. Preliminary research on the identification system for anthracnose and powdery mildew of sandalwood leaf based on image processing[J]. *PLoS One*, 2017, 12(7): e0181537.

[48] 郑建华, 朱立学, 朱 蓉. 基于多特征融合与支持向量机的葡萄病害识别[J]. *现代农业装备*, 2018(6): 54-60.

[49] Agarwal M, Gupta S, Biswas K K. A new Conv2D model with modified ReLU activation function for identification of disease type and severity in cucumber plant [J]. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 2021, 30: 100473.

[50] 孙 俊, 朱伟栋, 罗元秋, 等. 基于改进 MobileNet-V2 的田间农作物叶片病害识别[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(22): 161-169.

[51] Upadhyay S K, Kumar A. A novel approach for rice plant diseases classification with deep convolutional neural network [J]. *International Journal of Information Technology*, 2022, 14(1): 185-199.

[52] 卜翔宇. 基于叶片图像的农作物病害识别方法研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.

[53] Adedoja A, Owolawi P A, Mapayi T. Deep learning based on nasnet for plant disease recognition using leave images [C]//2019 International Conference on Advances in Big Data, Computing and Data Communication Systems (icABCD). IEEE, 2019: 1-5.