

中国木薯病害研究进展与展望

时 涛, 李超萍, 王国芬, 黄贵修*

中国热带农业科学院环境与植物保护研究所/农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室/海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室, 海南海口 571101

摘 要: 木薯是全球第六大粮食作物, 也是中国华南地区重要的经济作物, 相关产业在当地农业经济中占有重要地位。木薯种植中, 田间各种频繁发生的病害常造成严重的经济损失, 是生产中必须关注的重要问题。本文简要回顾了木薯病害研究在建国后至 20 世纪 80 年代缓慢发展阶段, 20 世纪 90 年代至 21 世纪 10 年代快速发展阶段, 以及 21 世纪 10 年代后高速发展阶段的进展情况, 同时着重介绍了最新研究进展。当前, 为害中国木薯的病害有 4 类 11 种, 细菌性萎蔫病为害最为严重, 褐斑病发生面积最大, 而国际木薯第一大病害——花叶病(类)已入侵中国大陆地区, 中国热带农业科学院等机构已开展了木薯病害数据库建设和智能监测技术研究。在危险性病害预警方面, 国内开展了 5 种病害风险评估, 主要针对花叶病和褐条病的抗性评价、致病机理、检测方法等方面的研究。在细菌性萎蔫病方面, 相关机构开展了监测技术、病原菌基因组序列测序和致病(及抗铜)机理、病原种群遗传变异、抗病种质鉴定及抗性机理等方面的研究, 也进行了有效药剂筛选和高效施药、生物防治及种茎消毒等防治技术的研发和推广工作。对于花叶病, 国内已明确其发生范围、病毒种类、远距离扩散关键因子, 并在病毒致病机理、田间传播机制方面取得重要进展。同时, 本文还介绍了褐斑病等 7 种常见病害监控方面的研究进展。随着国民经济的发展, 中国木薯产业出现食用化、规模化等趋势, 以及在参与机构数量及科研进展速度、多学科融合的助推作用, 并对研发新热点等方面进行了展望。本文有助于相关从业人员更好地了解中国木薯病害发生现状及当前研究进展, 也为热区其他作物病害监控技术的研发与应用提供借鉴。

关键词: 中国; 木薯; 病害; 研究历史; 监测技术; 防控方法

中图分类号: S435.33 文献标识码: A

Research Review, Current Progress and Future Outlook on Cassava Diseases in China

SHI Tao, LI Chaoping, WANG Guofen, HUANG Guixiu*

Environment and Plant Protection Institute, China Academy of Tropical Agricultural Sciences / Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Hainan Key Laboratory for Monitoring and Control of Tropical Agricultural Pests, Haikou, Hainan 571101, China

Abstract: Cassava is the sixth-important grain crop in the world and the major cash crop in Southern China. Now cassava related industries play an important role in the local agricultural economy. Various kinds of diseases often happen and cause serious economic losses in the field, which become an important issue. This paper briefly reviewed the progress of cassava disease research, including the slow development stage from the founding of the P. R. China to the 1980s, the fast development stage from the 1990s to the 2010s, and the rapid development stage after the 2010s. The latest research progress is the core part of this paper. Currently, there are four categories and eleven kinds of diseases that harm cassava in China. Cassava bacterial blight (CBB) is the most serious disease, and brown leaf spot occurs in the largest area. Cassava mosaic disease (CMD) is the worst disease in the world, which has invaded mainland China. Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences and other institutions have launched the research of disease data-

收稿日期 2023-07-12; 修回日期 2023-09-11

基金项目 国家木薯产业技术体系项目(No. CARS-11); 海南省自然科学基金高层次人才项目(No. 2019RC274, No. 2019RC285)。

作者简介 时 涛(1977—), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 热区植物病理学。*通信作者(Corresponding author): 黄贵修(HUANG Guixiu), E-mail: hgxiu@vip.163.com。

base construction and intelligent monitoring technology. The researcher had estimated the risk of five kinds of dangerous disease to cassava planting industry of China. For CMD and cassava brown streak disease, the research on the resistance evaluation of the main varieties, damage mechanism of virus, and detection methods were studied. As far as CBB, monitoring technology, genome sequencing of pathogen, pathogenic and copper resistant mechanisms, genetic variation of pathogen populations, selection of resistant germplasm and its function mechanism were investigated. The effective bactericide for CBB was screened, the efficient spraying and biological control technology were formed, along with the stem disinfection method was popularized in the field. In term of CMD, the occurrence area, virus identification, key factors for long range diffusion were confirmed in China, and significant advance was achieved in virus damage and propagation mechanism. The advance of monitoring and control technology on another seven kinds of common diseases was also expounded in this paper. With the development of the national economy, there have been new trends in China's cassava planting industry, such as food consumption and scaling planting. The authors further look forward to the number of participating institutions, the speed of scientific research progress, the boosting role of multidisciplinary integration, and new research hotspots will emerge in the future. This article would help relevant practitioners to better understand the current situation and research progress of cassava diseases in China, and also provide a reference for the research and application of monitoring technologies of other crop diseases in tropical areas.

Keywords: China; cassava; disease; research history; monitoring technology; control method

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.12.001

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 为大戟科木薯属灌木状多年生作物, 是全球第六大粮食作物 (FAO), 具有高产高淀粉、耐寒耐贫瘠等特点, 其块根富含淀粉, 是主要的收获物。1820 年前后, 木薯自东南亚地区首次传入中国广东省高州地区^[1], 目前已在华南地区普遍种植。木薯在中国主要用作工业原料, 可生产淀粉、酒精、山梨醇等 2000 多种产品, 相关产业在当地农业经济中占有重要地位^[2]。随着国民经济的发展, 中国的木薯生产逐渐不能自给, 自 2005 年以来一直是世界上最大的进口国。2021 年我国木薯收获面积为 25.52 万 hm^2 , 产量 (干薯) 244.7 万 t (农业农村部农垦局数据)。据海关统计, 2021 年中国进口鲜薯 9278.20 t, 干薯 549.83 万 t, 木薯淀粉 348.54 万 t。按国内 1.00 t 鲜薯可加工成 0.40 t 干薯或 0.25 t 淀粉计算, 相当于进口 1107.87 万 t 干薯, 对外依存度达 81.91%。国内木薯种植业对于相关产业的发展 and 掌握国际木薯定价权具有重要意义。

木薯种植中, 各种频繁发生的病害常造成木薯产量和品质下降, 产值损失估算常年在 10% 以上, 是生产中必须关注的重要问题。木薯自传入中国后, 病害就是生产中的主要问题之一。经过约 200 年的栽培, 中国木薯的主栽品种、耕作制度、种植范围有很大的变化, 主要病害的种类、发生范围、为害程度和防治技术也在不断变化。在中国木薯病害研究综述方面, 仅有丘海峰^[3]、曾小荣等^[4]分别介绍了木薯细菌性萎蔫病 (也称细菌性疫病或细菌性枯萎病) 及几种常见病害监

控方面的研究综述, 而这类文献存在一定不足且难以充分反映近年来的最新进展, 无法满足相关从业人员对该领域的整体了解和需求。笔者回顾了中国木薯病害的研究历史, 概述了当前的研究进展, 并对下一步的研究重点进行了展望。

1 木薯病害研究历史

木薯最初传入中国时, 由于人们了解少, 因此种植面积很小且发展缓慢。抗日战争爆发后, 受日军封锁影响, 木薯成为广东地区重要的救荒作物, 其种植面积迅速扩大。新中国成立后, 木薯产业发展速度进一步加快, 同时也开始了对病害方面的研究。

1.1 建国后至 20 世纪 80 年代

有关中国木薯病害的研究, 最早可追溯至 20 世纪 50 年代。梁光商^[5]编写并于 1957 年出版的《木薯》一书中, 已记录褐斑病在英德国营大镇农场等粤北种植区严重发生。1958 年, 张受芷^[6]编著的《木薯栽培》中介绍了角斑病和灰霉病的症状和防治方法。1976—1980 年, 华南热带作物科学研究院 (现为中国热带农业科学院, 以下简称“热科院”)^[7]在对广东、云南、广西、福建等热区的调查中, 发现为害木薯的病害有细菌性萎蔫病、多种尾孢菌引起的叶斑病等 7 种。改革开放后, 随着国际交流的增多, 国内科技人员也开展了国外文献的跟踪工作, 翻译了一些重要的研究论文, 从业人员得以了解到国际及中国台湾地区木薯病害的种类和为害状况^[8-9]、细菌性萎蔫病

和花叶病等检疫性病害病原学及防治技术^[10-12]等方面的研究进展。同时，国内也开始了重要病害细菌性萎蔫病的病原鉴定工作^[13]。

1.2 20 世纪 90 年代至 21 世纪 10 年代

20 世纪 90 年代，木薯逐渐成为华南地区最重要的淀粉和酒精原料，病害造成的经济损失受到了广泛关注。科研人员继续对国外文献进行跟踪，有关木薯花叶病的防控技术进展^[14]、褐条病在非洲地区的疫情信息^[15]等报道均得到了转载。国际热带农业中心出版的《Field Problems in Cassava》在国内得到了翻译和出版^[16]。非洲木薯花叶病毒（类）、木薯细菌性萎蔫病菌和木薯细菌性叶斑病菌等 3 种木薯病原列入了 2007 年修订的《中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录》^[17]。

国内研究工作主要集中在病害普查、离蠕孢叶斑病和棒孢霉叶斑病等新发病害病原的鉴定、细菌性萎蔫病的防治技术研究，以及抗褐斑病分子机理研究等方面。花叶病毒病（类）是国际上为害木薯最严重的病害，由双生病毒科（*Geminiviridae*）菜豆金黄色花叶病毒属的非洲木薯花叶病毒（*African cassava mosaic virus, ACMV*）、斯里兰卡木薯花叶病毒（*Sri Lankan cassava mosaic virus, SLCMV*）、印度木薯花叶病毒（*Indian cassava mosaic virus, ICMV*）等和乙型线状病毒科（*Alphaflexiviridae*）马铃薯 X 病毒组（*Potexvirus*）的木薯普通花叶病毒（*Cassava common mosaic virus, CsCMV*）等多种病毒侵染引起，国内开展了抗 ACMV 转基因木薯种质的培育^[18]和检疫行业标准研究，以及 ICMV 基因组结构和侵染机理等方面的研究^[19-20]。

1.3 21 世纪 10 年代后

随着人们生活水平的提高和对木薯的进一步了解，市场对木薯相关产品的需求不断增多，病害研究也获得了更多的关注。相关研究出现了爆发式增长，国外有关重要病害的监测技术^[21]、防控动态^[22]等最新进展继续在国内得到及时介绍。

在病害监测方面，国内新发现了藻斑病^[23]、疫霉根腐病^[24]、白点病^[25]、花叶病（类）^[26-28]等新病害，褐斑病病原菌得到了重新鉴定^[29]，而炭疽病病原也鉴定出多个新种^[30]。细菌性萎蔫病、疫霉根腐病、褐斑病、藻斑病、花叶病（类）等重要病害在主栽区的发生范围、为害特征等进一步得到明确^[23-24, 31-33]。在病害监测技术方面，

国内开展了木薯病害相关数据库的建设工作^[34]，危险性病害细菌性萎蔫病和花叶病的监测技术标准也得以发布^[35-36]，武汉理工大学等机构也开展了基于深度学习的木薯病害图像识别技术研究^[37]。

细菌性萎蔫病、疫霉根腐病、褐斑病、藻斑病、花叶病（类）等重要病害的病原鉴定、检测技术、有效药剂筛选、施药技术和防效评价、主要种质抗性机理、病原种群多样性和致害机理等方面均取得重要进展^[38-41]。热科院环境与植物保护研究所（以下简称“热科院环植所”）发布了木薯病虫害防治的农业行业标准^[42]并出版了《中国木薯主要病虫害草害识别与防治》^[43]。近年来，国内出版的《云南干热区木薯种植技术》^[44]、《木薯及其加工利用 100 问》^[45]、《木薯间套作与高效利用技术》^[46]等著作均介绍了木薯主要病害的防治方法。

针对花叶病（类）、细菌性萎蔫病等危险性病害，国内也开展了相关的检疫和预警等技术研究，修订并发布了非洲木薯花叶病毒检测的检疫行业标准^[47]，以及木薯细菌性萎蔫病菌和叶斑病菌检疫鉴定等方法的国家标准^[48-49]。

2 当前中国木薯病害监控技术研究进展

当前，国内相关科研机构在木薯病害疫情监测预警、病原学、种质抗性、防治技术等方面开展了大量的研发工作，重要病害监控技术已在生产一线得到大面积推广和应用。

2.1 木薯病害普查及监测预警技术研究

2.1.1 木薯病害发生为害情况 热科院环植所经过长期调查，明确当前为害中国木薯的病害有 4 类 11 种，包括细菌性病害 1 种（细菌性萎蔫病）、病毒类 2 种（斯里兰卡木薯花叶病和木薯普通花叶病）、寄生性植物病害 1 种（藻斑病）和真菌性病害 7 种（褐斑病、炭疽病、疫霉根腐病、棒孢霉叶斑病、离蠕孢叶斑病、白点病、枯萎叶斑病），褐条病、丛枝病、蛙皮病、细菌性叶斑病等危险性病害尚未传入中国。曾小荣等^[4]认为细菌性角斑病在我国广西和海南地区发生，且症状与细菌性萎蔫病相似，但李超萍^[31]进行的病原群体鉴定研究表明，国内仅有细菌性萎蔫病 1 种细菌性病害，分析不同田间条件下病害症状存在多样性而被误认为 2 种不同的病害。

在这些病害中，棒孢霉叶斑病^[50]、离蠕孢叶斑病^[51]和藻斑病^[23]为国际木薯新发病害，疫霉根

腐病^[24]和白点病^[25]为国内新发病害,由 SLCMV 和 CsCMV 引起的花叶病也分别于 2018 年和 2019 年传入中国^[26-27]。和 1953—2010 年热科院的调查^[7]相比,病害种类和为害情况并不相同,分析其原因可能和耕作制度、种质布局等变化有关。

2.1.2 木薯病害监测技术 热科院环植所在跟踪国内外研究进展的基础上,构建了图文并茂的木薯有害生物数据库和热带作物重要病虫害监测数据库(木薯病害部分)系统^[34, 52],进一步研发了基于移动客户端的木薯病虫害预警监测与控制手机 APP 软件^[53],并在生产中推广应用。在人工智能与大数据技术研究的基础上,国内也开展了基于深度学习的木薯病害图像智能识别技术研究。彭强等^[37]提出了一种基于 HSV 色彩空间与 EfficientNet 的木薯病害监测方法,设计了木薯病害自动化监测与处理系统,其识别综合准确率为 88.4%。

2.1.3 危险性病害预警 李超萍^[31]、时涛等^[54-55]采用有害生物风险分析方法,分析发现细菌性萎蔫病、花叶病(类)、褐条病、丛枝病和蛙皮病等国际危险性病害对中国木薯产业的综合风险值分别为 2.01、2.42、2.37、2.19 和 2.31,均属于高度危险性病害。

由 ACMV 侵染引起的非洲木薯花叶病是为害最严重的花叶病,国内开展了种质抗性评价、转基因育种等方面的研究。LIU 等^[56]研究发现,ACMV 病毒的侵染可引起叶片中 3210 个基因的差异表达,其中与光合作用有关的基因受影响最大,这与在受感染叶片中观察到的褪绿症状一致。BI 等^[57]构建了该株系的侵染性克隆并进行了农杆菌介导的侵染试验,发现国内主栽品种南植 199、华南 124、华南 8 号受害最重,华南 5 号和华南 205 相对较轻。时涛等^[58]在对引种至乌干达的华南 9 号等 4 个中国木薯品种进行病害调查时,发现非洲木薯花叶病普遍发生。张永江等^[59]用 TaqMan 探针结合纳米磁珠技术,以 ACMV 外壳蛋白基因为靶标,通过特异性及灵敏度评价建立了纳米磁珠荧光 PCR 检测方法,该方法具有灵敏度高、特异性强的优点。由 ICMV 侵染引起的印度木薯花叶病在南亚地区普遍发生,洪益国等^[20]获得了该株系病毒外壳蛋白的组成结构、功能域等特征,发现染病组织中同时存在环状双链 DNA 和环状单链 DNA。斯里兰卡木薯花叶病近年来入侵东南亚地区,时涛等^[60]调查并了解到该病害于

2014 年已在柬埔寨毗邻越南的蒙多基里省发生,2018 年已扩散至 8 个省。

木薯褐条病在非洲的危害性仅次于花叶病(类),时涛等^[58]在乌干达地区的调查发现,华南 9 号等品种同样对褐条病不具抗性。研究表明病毒编码的蛋白能够和木薯的翻译起始因子 4E (eIF4E)或其类似物互作,从而完成病毒基因组蛋白的翻译工作。SHI 等^[61]从木薯种质 TMS60444 中克隆到 5 个 eIF4E 转录本,进一步分析了这些转录本在 14 个耐病和感病种质中的分布情况,发现 2 个 eIF4E 基因的单核苷酸多态性表现出较弱的耐病相关性。

2010 年前后,丛枝病在东南亚的越南、泰国等地严重为害。2018 年,时涛等^[60]在柬埔寨的调查中发现磅湛省的个别木薯园仍然受丛枝病严重为害。

2.2 细菌性萎蔫病监控技术研究

2.2.1 细菌性萎蔫病监测 细菌性萎蔫病是当前中国为害木薯最严重的病害,也是国内研究最多的病害。该病最初称为细菌性疫病,随后发现受害叶片常枯萎变黄,因此也称为细菌性枯萎病。由于农业农村部发布的检疫性有害生物名录中,病原菌被命名为木薯细菌性萎蔫病菌,因此近年来多称为细菌性萎蔫病。该病在海南、广西、广东等主栽区均有发生,重病田产量损失可达 50% 以上。

该病害在木薯整个生育期均可发生,为害程度与天气条件、木薯品种的感病性和生育期等因素密切相关,台风雨天气尤为严重。如果种茎带菌且雨水较多,病害在苗期同样严重发生。黄贵修等^[35]在对中国木薯主栽区系统监测的基础上,制订了该病害的监测技术规程并作为农业行业标准进行了发布。

2.2.2 细菌性萎蔫病病原学研究 细菌性萎蔫病菌最初命名为木薯杆菌 (*Bacillus manihotis* Arthaud-Berthet),随后几经变化,在病原细菌的大种化阶段,该病原菌改称为木薯黄单胞。布坎南等^[62]在《细菌鉴定手册》中列出了黄单胞杆菌的 5 个种,其中木薯细菌性萎蔫病菌的种名相应地修改为野油菜黄单胞木薯萎蔫致病变种 (*Xanthomonas campestris* pv. *manihotis*)。VAUTERIN 等^[63]发现病原菌对碳源的利用情况和其他黄单胞菌不同,因此将其重新分类并命名为地毯草黄单胞木薯萎蔫致病变种 (*X. axonopo-*

dis pv. *manihotis*)。CONSTANTIN 等^[64]通过基于 5 个持家基因的多序列分析, 将 113 个黄单胞菌株聚类为 4 个类群, 其中木薯细菌性萎蔫病菌和菜豆黄单胞 (*X. phaseoli*) 等聚为一个分枝, 因此该病菌再次被命名为菜豆黄单胞木薯萎蔫致病变种 (*X. phaseoli* pv. *manihotis*)。

研究发现, 国内菌株在生物学特性、碳源利用等方面和国外菌株存在一定差异。任希望^[65]和 ZHU 等^[66]分别采用二代和三代测序技术, 对来自海南的 2 个菌株进行了基因组序列测定, 发现 GC 含量分别为 65.33% 和 64.90%, 分别编码 4657 个和 4898 个基因。祝天成^[67]研究发现, 国内菌株群体在培养性状和生理生化特性方面存在较丰富的变异, 基于 RAPD 的聚类分析可以将国内菌株分为 3 个类群, 其中最大的类群还可以细分为 3 个亚群。

岑贞陆等^[68]初步评价了 12 株病原菌的致病力, 根据接种后病斑的大小可分为 3 个级别, 同时还发现胞外淀粉酶的活性和病斑面积呈正相关, 表明胞外淀粉酶在病害为害叶片过程中有较重要的作用。时涛等^[69]建立了病原菌的遗传转化体系, 证明了 *hrpG* 基因参与病原菌的侵染过程。孟繁凡等^[70]发现病原菌的双组分系统 VgrS-VgrR 在致病过程中发挥重要作用, 缺失后致病力、铁等金属离子耐受能力均显著下降。陈江莎^[71]和张长正^[72]通过病原菌转化子库的构建和筛选, 获得一批致病相关突变体, 获得 7 个候选致病相关基因, 并确认精氨酸琥珀酸裂解酶和致病性密切相关。铜基杀菌剂是细菌性病害防控中的常用药剂, 但对细菌性萎蔫病的防效较差^[31]。时涛等^[73]发现国内菌株群体对铜离子具有较高的抗性, 且编码有 *copLAB* 和 *xmeRSA* 等 2 个候选的抗铜相关基因簇, 分析部分基因可能还参与包括致病在内的其他功能。

2.2.3 木薯对细菌性萎蔫病抗性机理 李超萍^[31]采用人工接种和根据田间发病情况调查明确了 603 份木薯种质和 29 个品种的感病程度, 发现 I070 等 6 份种质具有较好的抗性, 而华南系列、桂热系列等主栽品种均不具备抗性。徐春华等^[74]评价了 42 份食用木薯种质的抗性水平, 发现仅有 TCGRI005 等 4 份表现为中抗。陆荣生等^[75]评价了不同浓度菌液粗提物对木薯愈伤组织增殖与分化的影响, 初步建立了离体抗病性筛选技术。热科院环植所等机构也开展了抗细菌性萎蔫病种质的常规育种工作, 获得 RXC9 等 3 份抗性较好的

新种质^[76]。

樊春俊^[77]、林兆威^[78]在筛选获得抗性较好种质的基础上, 通过显微观察发现抗病种质的气孔密度、单位面积气孔开口总面积、蜡质物含量等均高于感病种质, 抗病种质叶片受侵染后, 过氧化物酶 (POD)、多酚氧化酶 (PPO) 等的活性显著高于感病种质。在木薯抗细菌性萎蔫病分子机理方面, 一批抗病相关基因的功能得到了初步验证。根据同源克隆, 以及水杨酸/茉莉酸/病原菌诱导下的基因差异表达分析, 国内学者筛选出 *MKK4*^[79]、*bHLH79*^[80] 等抗病相关基因, *MeWRKY27*^[81]、*MeLRR*^[82] 等参与木薯与病原互作的基因, 同时 *MeRAVs*^[83]、*EIL5*^[84] 等基因在抗病机制中的调控机理也得到了分析。

2.2.4 木薯细菌性萎蔫病控制技术 在该病害的常规防治技术研究中, 卢昕等^[39]开展了防治药剂的筛选工作, 发现铜基杀菌剂对病原菌抑制作用差, 而乙蒜素、硫酸链霉素等药剂的抑菌作用较好。在施药技术方面, 时涛等^[40]利用 MG-1 型八旋翼植保无人机进行了低空喷洒乙蒜素的防治效果评价, 验证了植保无人机的施药参数和用药量。

生物防治是作物病害防控研究中的热点。陈奕鹏等^[85]从田间木薯健康组织中分离到 1 株内生类芽孢杆菌属细菌菌株 CEB33, 其对细菌性萎蔫病菌有较强的抑制作用, 能有效减轻细菌性萎蔫病的为害程度。研究发现, 带病种茎是该病远距离传播的主要因素, 黄贵修等^[86]在筛选抑菌药剂的基础上, 建立了以低浓度甲醛浸泡为核心措施的种茎消毒技术。该技术能够有效杀死种茎组织内的病原菌, 且种植后木薯植株长势和产量不受影响, 目前已在江西抚州、广西北海等地区推广应用。

2.3 花叶病 (类) 监控技术研究

2.3.1 花叶病 (类) 病害监测 花叶病是世界范围内为害木薯最严重的病害。2018 年, 时涛等^[26]在对海南儋州和澄迈地区的调查中发现, 个别木薯园の木薯叶片呈花叶状, 分子鉴定确认相关植株受 SLCMV 为害。2019 年, TUO 等^[27]发现海南儋州地区部分木薯叶片同样出现花叶症状, 小 RNA 测序结果表明其病原为 CsCMV 株系。王国芬等^[33]通过田间系统调查和分子鉴定, 确认 2018—2019 年 2 种花叶病在海南、广东等地均有发生, 约 33% 的田间样品出现了 2 个株系的复合侵染现象, 国内培育的华南系列、桂热系列、南

植系列等木薯品种均受花叶病为害。钟静等^[28]在云南红河也发现田间木薯出现花叶症状。段春芳等^[87]调查了云南怒江干热河谷区木薯花叶病的发生情况,发现 2019 年和 2020 年分别有 42 份和 18 份种质受害,认为带毒种茎调运是该病在当地发生流行的主要原因。在收集国内外相关研究进展的基础上,2023 年王国芬等^[36]发布了木薯花叶病的监测技术标准。

2.3.2 花叶病(类)病原学 王国芬等^[33]选取分别来自海南儋州和贵州望谟的 2 个斯里兰卡木薯花叶病样品,测序获得了全基因组序列。WANG 等^[88]研究了 2 个国内 SLCMV 分离物的基因组,分离物 HN7 的 Rep 蛋白羧基端有一段 7 个氨基酸的缺失突变,导致致病力严重降低。TUO 等^[27]采用 RACE 技术获得了来自海南儋州的 CsCMV 样品的全基因组序列,其全长为 6395 nt (不包括 3'端尾部),和已报道分离物的同源性为 89.9%。

2017 年,钟静等^[28]在云南红河发现了部分木薯叶片呈花叶状,经全序列分析发现其与烟草曲茎病毒、中国胜红蓟黄脉病毒等侵染相关;与双组分的 ACMV 等株系不同,烟草曲茎病毒和中国胜红蓟黄脉病毒为单组分菜豆金色花叶病毒属病毒,这是首次发现该属单组分病毒能够侵染木薯。

2.3.3 花叶病(类)控制技术 WANG 等^[89]基于 SLCMV 株系的 AVI 和 ACI 基因的保守区,设计了 2 个优化的引物对,通过 PCR 扩增能够检测出不同的病毒株系并对各株系进行特异性鉴定,同时制备了该株系 AVI 基因编码蛋白的多克隆抗体,建立了酶联免疫吸附分析(ELISA)检测方法。2 种方法应用后均取得了一致的检测结果,检测中还发现部分样品中存在不同分离物的复合侵染现象。

烟粉虱是 SLCMV 田间传播的主要介体。CHI 等^[90]比较了在亚洲广泛分布的 3 种粉虱对 SLCMV 的传播效率,发现只有亚洲 II 粉虱能够有效传播该株系,分析发现传播效率与粉虱所携带的病毒数量呈正相关,也和病毒在粉虱体内的运动能力有关。

2.4 其他常见病害监控技术研究

2.4.1 褐斑病监控技术 褐斑病是中国最早记录的木薯叶部病害之一^[5],也是当前发生面积最大的病害,通常在木薯生长中后期流行受害。叶片受病原侵染后最初形成水浸状、墨绿色病斑,随后呈灰褐色,最终为黄褐色、近圆形或不规则状

斑块。时涛等^[32]调查发现当前主栽的华南系列、桂热系列等品种,新育成的桂热 8 号、华南 15 号、华南 16 号等品种均不具备抗性。裴月令^[29]在田间采集病样后,确认该病病原菌为亨宁氏钉孢(*Passalora henningsii*),优化了产孢方法并获得了代表性菌株的基础生物学特性等相关数据,筛选出多菌灵、丙环唑和热科院环植所研发的保叶清等田间防效较好的药剂。

2.4.2 炭疽病监控技术 该病在 20 世纪 50 年代即在中国发生。蒋冬荣^[91]报道了该病在木薯品种南植 188 植株上的症状和田间为害情况。近年来的监测结果表明,该病在海南、广东、广西等种植区零星发生,木薯生长中后期相对较重。

蔡吉苗等^[92]在海南儋州的木薯园采集病样,分离后确认病原菌为胶孢炭疽(*Colletotrichum gloeosporioides*)。LIU 等^[30]在云南、广西等地进行病样的采集和病原菌的分离工作,经致病性评价、显微观察和多序列聚类分析等方法,发现多食炭疽(*C. plurivorum*)、喀斯特炭疽(*C. karstii*)、果生炭疽(*C. fructicola*)和暹粒炭疽(*C. siamense*)等同样为害木薯并引起炭疽病。

时涛等^[93]评价了 13 种杀菌剂对木薯胶孢炭疽病菌的抑制作用,发现丙环唑、咪鲜胺和多菌灵的抑菌效果最好。张静雅等^[94]通过平板对峙试验,筛选出 3 株对木薯胶孢炭疽具有较好拮抗作用的木霉菌株,室内防效试验发现菌株 ZJB3-12 对叶片上的病斑具有较强的抑制作用。

2.4.3 疫霉根腐病监控技术 根腐病由多种病原侵染引起,但近年来国内仅确认了由棕榈疫霉(*Phytophthora palmivora*)侵染引起的根腐病^[24]。监测发现,由该病原引起的根腐病在海南、云南、广东等地发生,木薯整个生育期均可受害,海南儋州、云南德宏等新开垦山坡地、地势低洼的木薯园为害尤为严重。

郭涵等^[24]评价了 16 种药剂对病原菌的抑制作用,发现恶霜·锰锌、氟吗·乙铝和甲霜·霜霉威的抑制效果最好。通过接种离体和活体薯根,评价了 58 份种质的抗性水平,其中华南 11 号等 6 份种质表现为高抗。段春芳等^[95]采用田间发病调查和室内离体接种 2 种方法对 32 份木薯种质的抗病性进行了评价,确认华南 8 号等 7 份种质具有较好的抗性。

李超萍等^[41]分析了棕榈疫霉与其他疫霉菌在 ITS 序列保守区的差异,设计出 1 对特异引物

PF1/PR1, 通过优化反应体系和扩增条件后, 建立了该病原菌的分子检测技术, 灵敏度达到了 pg 级。戴婷婷等^[96]以该病菌的 *IGS* 基因为靶序列, 设计了多组 LAMP 引物并对反应体系和条件进行了优化, 建立了该病原菌的 LAMP 检测技术。

2.4.4 棒孢霉叶斑病监控技术 2008 年, 裴月令等^[50]在海南儋州发现部分木薯植株的叶片上出现中央黑褐色、周围有黄色晕圈的新型病斑。病原分离后, 经显微观察和 ITS 序列分析, 发现其为山扁豆生棒孢 (*Corynespora cassiicola*), 因此将该病害命名为棒孢霉叶斑病。人工接种发现除木薯外, 该病菌还能侵染番木瓜和橡胶树, 表明该病原菌有可能来自其他寄主植物。随后的调查发现, 该病在云南保山, 广东云浮、湛江, 海南文昌、白沙等地区均有分布, 通常在木薯生长中期以后发生。

2.4.5 离蠕孢叶斑病监控技术 2008 年, 时涛等^[51]在海南儋州木薯园内发现部分植株叶片上形成和褐斑病等常见病害不同的、圆形且枯黄色的病斑, 初步确认为一种新病害。病原菌分离后, 经鉴定为狗尾草离蠕孢 (*Bipolaris setariae*), 因此命名为离蠕孢叶斑病, 室内药剂筛选结果表明咪鲜胺对该病原菌抑制作用最好。2010 年, 段春芳等^[97]在云南保山地区同样发现了该病害, 但病斑直径、病原菌分生孢子大小等与时涛等^[51]的研究存在一定差异。系统调查发现, 云南、广西、海南等地均有该病害发生, 木薯生长中后期发生较重。

2.4.6 白点病监控技术 李超萍^[31]在调查中发现, 在海南、广东、广西等地的华南 10 号等部分品种中, 零星发生一种以木薯植株中下部叶片上形成以密集分布、白色至黄褐色小型斑点为特有特征的病害, 故称为白点病。蔡吉苗等^[25]经过系统调查, 发现国内绝大多数主栽品种和新育成种质均受为害, 其中华南 10 号和华南 15 为害最为严重。对海南省海口地区病样的研究表明, 该病由链格孢 (*Alternaria alternata*) 侵染引起, 苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯等药剂的抑菌效果最好。

2.4.7 藻斑病监控技术 2011 年 11 月, 海南省儋州地区的木薯园出现了一种新病害, 病原为害叶片后形成以发病后期病斑中央呈灰白色毛毡状为典型特征的病斑。陈奕鹏等^[23]调查发现, 该病在主栽区均有发生, 病原主要为害叶片, 个别木薯品种的嫩茎同样受害。低温是该病害流行的关键因子, 是当前中国木薯北移种植的潜在限制性

因素。对病斑的显微观察结果表明, 该病由寄生性头孢藻 (*Cephaleuros virescens*) 侵染引起。

3 展望

随着国民经济的快速发展, 中国木薯种植业的发展出现食用化、特用化、效益化等趋势, 规模化种植的木薯园越来越多, 对木薯病害监控技术的需求也越来越高。近年来, 细菌性萎蔫病的发生范围不断扩大, 新发花叶病 (类) 在多个种植区零星发生并随时有可能大面积爆发成灾, 而生产中缺少对重要病害具有较好抗性且兼具优良农艺性状的新品种, 病害监控方面的研究任重而道远。受产业发展的吸引, 目前关注及参与木薯病害研究的科研机构 and 人员越来越多, 经费投入也不断增加, 相关监控技术的研发和推广应用方兴未艾。

3.1 参与机构和人员不断增加, 科研进展将不断加快

20 世纪 90 年代前, 有关木薯病害的研究主要集中在热科院环植所等机构, 随后热科院椰子研究所、热带作物品种资源研究所、热带生物技术研究所等机构, 以及中国科学院微生物研究所、广西农业科学院、广西大学等机构也开展了木薯重要病害预警技术、田间监测、种质抗性评价等方面的研究。近年来, 海南大学、中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所、云南省农业科学院、贵州省亚热带作物研究所、武汉理工大学等研究机构同样开展了监测新技术、新病原鉴定、病原致病机理等方面的研究。

检疫性病害细菌性萎蔫病和斯里兰卡木薯花叶病, 普遍发生的褐斑病、白点病、藻斑病和棒孢霉叶斑病等常见病害的监控技术研究均取得较大进展。2018 年, 斯里兰卡木薯花叶病首次在中国海南发生, 2020 年报道了基于分子生物学和血清学方法的分子检测技术体系, 而于 2023 年发布了监测技术标准。随着中国科研投入的增加及相关领域的进步, 木薯病害监控相关研究将不断加快。

3.2 多学科融合, 助推监控新技术的研发与推广

传统的木薯病害研究属于植物病理学领域, 随着分子生物学、农业机械、数字化等学科的交叉融合, 相关监控技术将取得颠覆性新进展。

目前, 基于分子生物学的病原菌检测鉴定技术在木薯病原菌研究中得到普遍应用。基于持家基因的多序列比对方法, 木薯细菌性萎蔫病菌被

重新定名。LIU 等^[30]同样采用多序列比对等方法,发现了 4 种木薯炭疽病的新病原。随着高通量测序技术的发展, HU 等^[98]完成了 388 份木薯种质的基因组序列测定,发现 548 个基因在生长、发育、激素代谢和反应,以及免疫相关过程中存在富集现象,而相关研究结果也有助于推动木薯抗病分子机理方面的研究工作。

随着区块链、大数据、人工智能等数字技术的研究,以及智能手机、IPAD 等移动设备的普遍应用,基于移动客户端、兼具症状精准识别和防治技术指导的监控信息平台 APP 将是生产一线用途最广、效果最好的木薯病害数字植保产品。目前,热科院环植所已研发了相关的 APP 平台,正在和相关机构就木薯病害的智能识别功能研究进行合作商议,未来将在生产一线进行大面积推广应用。

3.3 随着木薯种植业的发展,相关监控技术的研发将出现新的热点

随着健康膳食概念的流行,木薯由于具有低糖、低脂、高纤维等特点而逐渐受到人们的喜爱,食用化成为木薯种植业发展的重要方向。另外,间套作、规模化、山地木薯、周年种植、立体种养等产业模式不断出现,病害疫情出现了新特点,相关的监控技术研发工作也出现了新的热点。

由于木薯在中国主要用作工业原料,生产中主要种植高产高淀粉的工业用品种,相关研究也以这些品种为研究对象。近年来,华南系列^[99]、桂木薯系列^[100]食用木薯新品种陆续得到了审定。这些木薯品种对重要病害的抗性水平如何?已有的防控技术效果如何?这些均需要在生产一线中进行评价。

和常规施药相比,基于无人机的高效施药技术是产业规模化发展的迫切需求。时涛等^[40]初步证明使用无人机喷施乙蒜素可有效防治细菌性萎蔫病,但标准化的施药参数尚未确定。另外,防控有效药剂中缺少飞防专用剂型,生产一线常采用添加助剂的方法来进行施药,常导致施药不均匀、甚至出现药害现象。飞防专用剂型的研发和无人机工作标准将是下一步防控技术研发的重要组成部分。

参考文献

[1] 杨霁修, 兰彬. 光绪高州府志[M]. 广州: 广州岭南出版社, 2009.
YANG J X, LAN B. The record of Gaozhou prefecture in

Guangxv era[M]. Guangzhou: Lingnan Press of Guangzhou, 2009. (in Chinese)

[2] 陈丽珍, 叶剑秋. 我国木薯加工业的发展现状与展望[J]. 园艺与种苗, 2011(3): 87-90.
CHEN L Z, YE J Q. Current situation and development prospect of processing industry in *Manihot esculenta* Crantz[J]. Horticulture and Seed, 2011(3): 87-90. (in Chinese)

[3] 丘海峰. 木薯细菌性枯萎病研究进展[J]. 现代农业科技, 2011(15): 164-165.
QIU H F. Research progress on cassava bacterial wilt disease[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011(15): 164-165. (in Chinese)

[4] 曾小荣, 郑刚辉. 木薯主要病虫害的发生及防治[J]. 现代农业科技, 2011(18): 200, 205.
ZENG X R, ZHENG G H. The occurrence and control of major pests and diseases in cassava[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011(18): 200, 205. (in Chinese)

[5] 梁光商. 木薯[M]. 广州: 广东人民出版社, 1957.
LIANG G S. Cassava[M]. Guangzhou: Guangdong Peoples Publishing House, 1957. (in Chinese)

[6] 张受芷. 木薯栽培[M]. 上海: 科技卫生出版社, 1958.
ZHANG S Z. Cassava cultivation[M]. Shanghai: Science and Health Publishing House, 1958. (in Chinese)

[7] 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所 1953—2010 年科研论文调研工作报告与译文选编(第 1 卷)[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012.
Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences. Research report and translation selection for scientific research papers (Volume 1) of EPPI, CATAs from 1953 to 2010[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 2012. (in Chinese)

[8] 张开明. 木薯病害[J]. 热带农业科学, 1986, 6(1): 77-82.
ZHANG K M. Cassava disease[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 1986, 6(1): 77-82. (in Chinese)

[9] LEU L S, 张开明. 中国台湾省的木薯细菌性疫病[J]. 热带作物译丛, 1985(4): 58-60.
LEU L S, ZHANG K M. Bacterial blight of cassava in Taiwan province of China[J]. Translation Papers of Tropical Crop, 1985(4): 58-60. (in Chinese)

[10] WALTER K T, 张开明. 木薯花叶病的热疗法[J]. 世界热带农业信息, 1983(5): 46-48.
WALTER K T, ZHANG K M. Heat therapy for cassava mosaic disease[J]. World Tropical Agriculture Information, 1983(5): 46-48. (in Chinese)

[11] ELANGO T, 张开明. 木薯细菌性疫病病原菌的致病变异特性[J]. 世界热带农业信息, 1979(6): 47-51.
ELANGO T, ZHANG K M. Pathogenic variability of *Xan-*

- thomonas campestris* pv. *manihotis*[J]. World Tropical Agriculture Information, 1979(6): 47-51. (in Chinese)
- [12] KARTHA K K, 张治仙. 抗花叶病木薯的组织培养[J]. 世界热带农业信息, 1985(5): 52-54.
KARTHA K K, ZHANG Y X. Tissue culture of resistant cassava germplasms to mosaic disease[J]. World Tropical Agriculture Information, 1985(5): 52-54. (in Chinese)
- [13] 文衍堂. 木薯细菌性疫病病原菌鉴定[J]. 热带作物学报, 1982, 3(2): 91-97.
WEN Y T. Identification of pathogen of cassava bacterial blight[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 1982, 3(2): 91-97. (in Chinese)
- [14] 李元和. 木薯非洲花叶病毒[J]. 动植物检疫, 1990(1): 51.
LI Y H. Cassava African mosaic virus[J]. Quarantine of Animals and Plants, 1990(1): 51. (in Chinese)
- [15] 明德南. 木薯褐条病在乌干达再次爆发[J]. 世界热带农业信息, 2008(5): 22-23.
MING D N. Cassava brown streak disease outbreak again in Uganda[J]. World Tropical Agriculture Information, 2008(5): 22-23. (in Chinese)
- [16] 李开绵, 黄贵修. 木薯主要病虫害[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
LI K M, HUANG G X. Cassava major pest[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2009. (in Chinese)
- [17] 农业部, 国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录[R/OL]. (2007-07-03)[2023-05-23]. http://dzwjyjs.aqsq.gov.cn/zwgk/zwjy/jjzwjcp/zmhh/201506/t20150619_442969.htm.
Ministry of Agriculture, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. List of entry plant quarantine pests of the China[R/OL]. (2007-07-03)[2023-05-23]. http://dzwjyjs.aqsq.gov.cn/zwgk/zwjy/jjzwjcp/zmhh/201506/t20150619_442969.htm. (in Chinese)
- [18] VANDERSCHUREN H, AKBERGENOV R, POOGGIN M M, HOHN T, GRUISSEM W, ZHANG P. Transgenic cassava resistance to *African cassava mosaic virus* is enhanced by viral DNA-A bidirectional promoter-derived siRNAs[J]. Plant Molecular Biology, 2007, 64: 549-557.
- [19] 邓大纶, 田波, ROBINSON D J, HARRISON B D. 木薯花叶联体病毒复制形 DNA 提取和克隆及其双体的构建[J]. 植物病理学报, 1993, 23(3): 281-285.
DENG D L, TIAN B, ROBINSON D J, HARRISON B D. The extraction and cloning of cassava mosaic geminivirus replicative DNA and the construction of their dimers[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 1993, 23(3): 281-285. (in Chinese)
- [20] 洪益国, 王小风, 田波, ROBINSON D J, HARRISON B D. 印度木薯花叶双生病毒外壳蛋白的研究 I 外壳蛋白及其基因的一级结构[J]. 微生物学报, 1993, 33(2): 98-103.
HONG Y G, WANG X F, TIAN B, ROBINSON D J, HARRISON B D. Coat protein of *Indian cassava mosaic geminivirus* I. primary structures of coat protein and its gene[J]. Acta Microbiologica Sinica, 1993, 33(2): 98-103. (in Chinese)
- [21] 王方. App 将识别木薯病害[J]. 世界热带农业信息, 2017(Suppl. 2): 21.
WANG F. App will identify cassava diseases[J]. World Tropical Agriculture Information, 2017 (Suppl. 2): 21. (in Chinese)
- [22] 驻尼日利亚使馆经商处. 尼日利亚携手西非 4 国共同应对木薯褐斑病的蔓延[J]. 世界热带农业信息, 2015(9): 20.
Business Office of the Embassy in Nigeria. Nigeria joins hands with four West African countries to cope with the spread of cassava brown stripe disease[J]. World Tropical Agriculture Information, 2015(9): 20. (in Chinese)
- [23] 陈奕鹏, 时涛, 蔡吉苗, 李超萍, 李博勋, 黄贵修. 木薯新发藻斑病在中国的发生调查及病原鉴定[J]. 热带作物学报, 2016, 37(9): 787-1792.
CHEN Y P, SHI T, CAI J M, LI C P, LI B X, HUANG G X. Survey and pathogen identification of a new algae spot disease on cassava in China[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(9): 787-1792. (in Chinese)
- [24] 郭涵. 木薯疫霉根腐病原鉴定及其侵染抗感种质后差异基因表达分析[D]. 海口: 海南大学, 2013.
GUO H. Pathogen identification of root rot disease and differential expression gene analysis of disease-resistant and susceptible cassava varieties after infection[D]. Haikou: Hainan University, 2013. (in Chinese)
- [25] 蔡吉苗, 时涛, 李超萍, 王国芬, 陆翠梅, 黄贵修. 中国木薯白点病发生调查及病原生物学特性研究[J]. 热带作物学报, 2019, 40(1): 130-138.
CAI J M, SHI T, LI C P, WANG G F, LU C M, HUANG G X. Survey, pathogen identification of a white spot disease on cassava and its biological characteristics in China[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(1): 130-138. (in Chinese)
- [26] 时涛, 王国芬, 李超萍, 林兆威, 黄贵修. 木薯花叶病在中国的首次发生报道[J]. 热带农业科学, 2018, 38(10): 99-100.
SHI T, WANG G F, LI C P, LIN Z W, HUANG G X. First report of *Sri Lankan cassava mosaic virus* infected cassava in China[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2018, 38(10): 99-100. (in Chinese)
- [27] TUO D C, ZHAO G Y, YAN P, LI R M, CHEN X, WANG W Q, LI X Y, YAO Y, CUI H G, SHEN W T, ZHOU P. First report of *Cassava common mosaic virus* infecting cassava in mainland China[J]. Plant Disease, 2020, 22(1): 1094.

- [28] 钟静, 赵丽玲, 封庆红, 李婷婷, 丁铭. 侵染木薯的两种单组分菜豆金色花叶病毒属病毒及卫星分子基因组结构特征分析[J]. 植物病理学报, 2021, 51(21): 171-183.
ZHONG J, ZHAO L L, FENG Q H, LI T T, DING M. Molecular characterization of two monopartite begomoviruses associated satellites from *Manihot esculenta* Crantz[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2021, 51(21): 171-183. (in Chinese)
- [29] 裴月令. 木薯褐斑病病原鉴定及其防治技术研究[D]. 海口: 海南大学, 2011.
PEI Y L. Identification and control technology of cassava brown leaf spot disease[D]. Haikou: Hainan University, 2011. (in Chinese)
- [30] LIU X B, SHI T, LI B X, CAI J M, LI C P, HUANG G X. *Colletotrichum* species associated with cassava anthracnose in China[J]. Journal of Phytopathology, 2019, 167(1): 1-9.
- [31] 李超萍. 国内木薯病害调查与细菌性枯萎病防治技术研究[D]. 海口: 海南大学, 2011.
LI C P. Study on control techniques of cassava bacterial blight and cassava diseases investigation in China[D]. Haikou: Hainan University, 2011. (in Chinese)
- [32] 时涛, 李超萍, 蔡吉苗, 王国芬, 陆翠梅, 韩全辉, 黄贵修. 中国木薯褐斑病发病规律调查及田间防治药效试验[J]. 热带作物学报, 2019, 40(9): 2178-2188.
SHI T, LI C P, CAI J M, WANG G F, LU C M, HAN Q H, HUANG G X. Occurrence pattern investigation and fungicides control effect in field for cassava brown leaf spot disease in China[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(9): 2178-2188. (in Chinese)
- [33] 王国芬, 李超萍, 时涛, 周司珊, 李博勋, 蔡吉苗, 林兆威, 黄贵修. 我国木薯花叶病毒病的发生危害及其病原鉴定[J]. 热带作物学报, 2021, 42(6): 1668-1677.
WANG G F, LI C P, SHI T, ZHOU S S, LI B X, CAI J M, LIN Z W, HUANG G X. Distribution and pathogen detection of cassava mosaic virus disease in China[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(6): 1668-1677. (in Chinese)
- [34] 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所. 木薯有害生物数据库查询系统 V1.0: 2014SR192980[CP]. 2014-12-11.
Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences. Cassava pest database query system V1.0: 2014SR192980[CP]. 2014-12-11. (in Chinese)
- [35] 黄贵修, 刘先宝, 李超萍, 时涛, 蔡吉苗, 李博勋, 陈奕鹏. 热带作物病虫害监测技术规程 木薯细菌性枯萎病: NY/T 3005—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
HUANG G X, LIU X B, LI C P, SHI T, CAI J M, LI B X, CHEN Y P. Technical specification for monitoring pest of tropical crop—Cassava bacterial blight: NY/T 3005—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. (in Chinese)
- [36] 王国芬, 黄贵修, 李超萍, 时涛, 李博勋, 蔡吉苗. 木薯花叶病毒病疫情调查与监测技术规程: T/HNBX 164—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
WANG G F, HUANG G X, LI C P, SHI T, LI B X, CAI J M. Technical specification for epidemic investigation and monitoring of cassava mosaic disease: T/HNBX 164—2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023. (in Chinese)
- [37] 彭强, 涂赛飞, 赵中雨, 王卓尔, 王细桃, 高菲. 基于机器视觉的木薯疾病监测系统[J]. 武汉理工大学学报, 2022, 40(9): 95-100.
PENG Q, TU S F, ZHAO Z Y, WANG Z E, WANG X T, GAO F. Design of cassava disease monitoring and treatment integrated system[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2022, 40(9): 95-100. (in Chinese)
- [38] 封立平, 李洪林, 倪新, 王简, 纪瑛, 甘琴华. 木薯细菌性萎蔫病菌的 LAMP 快速检测方法[J]. 植物保护, 2015, 41(3): 93-99.
FENG L P, LI H L, NI X, WANG J, JI Y, GAN Q H. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) for rapid detection of *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*[J]. Plant Protection, 2015, 41(3): 93-99. (in Chinese)
- [39] 卢昕, 李超萍, 时涛, 黄贵修. 木薯细菌性枯萎病菌防控药剂的筛选[J]. 热带农业科学, 2013, 33(2): 53-56.
LU X, LI C P, SHI T, HUANG G X. Bactericide screening against pathogen of cassava bacterial blight[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2013, 33(2): 53-56. (in Chinese)
- [40] 时涛, 刘迎, 徐春华, 陆翠梅, 黄贵修. 木薯细菌性萎蔫病飞防效果评价[J]. 热带农业科学, 2019, 39(7): 53-56.
SHI T, LIU Y, XU C H, LU C M, HUANG G X. Evaluation of arial control of cassava bacterial blight[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2019, 39(7): 53-56. (in Chinese)
- [41] 李超萍, 刘先宝, 时涛, 蔡吉苗, 郭涵, 黄贵修. 木薯根腐病棕榈疫霉病菌的分子检测[J]. 热带作物学报, 2013, 34(7): 1314-1318.
LI C P, LIU X B, SHI T, CAI J M, GUO H, HUANG G X. Molecular detection of *Phytophthora palmivora* from the cassava root rot[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 34(7): 1314-1318. (in Chinese)
- [42] 黄贵修, 刘先宝, 李开绵, 时涛, 蔡吉苗, 林春花, 李超萍. 木薯主要病虫害防治技术规范: NY/T 2046—2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
HUANG G X, LIU X B, LI K M, SHI T, CAI J M, LIN C H, LI C P. Technical specification for cassava pests control: NY/T 2046—2011[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011. (in Chinese)
- [43] 黄贵修, 李开绵. 中国木薯主要病虫害识别与防治[M].

- 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012.
- HUANG G X, LI K M. Identification and control of main pests of cassava in China[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2012. (in Chinese)
- [44] 段曰汤, 袁理春, 沙毓沧. 云南干热区木薯种植技术[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2009.
- DUAN Y T, YUAN L C, SHA Y C. Planting techniques of cassava in Dry Hot Zone of Yunnan[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2009. (in Chinese)
- [45] 张振文, 李开绵. 木薯及其加工利用 100 问[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- ZHANG Z W, LI K M. 100 questions on cassava and its processing and utilization[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017. (in Chinese)
- [46] 黄洁, 周建国. 木薯间套作与高效利用技术[M]. 海口: 海南出版社, 2015.
- HUANG J, ZHOU J G. Intercropping and efficient utilization techniques of cassava[M]. Haikou: Hainan Press, 2015. (in Chinese)
- [47] 李明福, 冯黎霞, 鲁洁, 张永江, 孔君, 李桂芬, 相宁, 魏梅生, 张成良. 非洲木薯花叶病毒检测方法: SN/T 1616—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- LI M F, FENG L X, LU J, ZHANG Y J, KONG J, LI G F, XIANG N, WEI M S, ZHANG C L. Detection of *African cassava mosaic virus*: SN/T 1616—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014. (in Chinese)
- [48] 李伟东, 封立平, 刘福秀, 韩玉春, 周先超, 粟寒, 吴翠萍, 王英超. 木薯细菌性萎蔫病菌检疫鉴定方法: GB/T 28096—2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- LI W D, FENG L P, LIU F X, HAN Y C, ZHOU X C, LI H, WU C P, WANG Y C. Detection and identification of *Xanthomonas axonopodis* pv. *Manihotis* (Bondar) Vauterin et al.: GB/T 28096—2011[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011. (in Chinese)
- [49] 封立平, 厉艳, 管旭芳, 赵丽青, 夏明星, 伦才智, 王简, 王英超, 吴兴海, 邵秀玲. 木薯细菌性叶斑病菌检疫鉴定方法: GB/T 36808—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- FENG L P, LI Y, GUAN X F, ZHAO L Q, XIA M X, LUN C Z, WANG J, WANG Y C, WU X H, SHAO X L. Detection and identification of *Xanthomonas cassavae* (ex Wiehe et Dowson): GB/T 36808—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018. (in Chinese)
- [50] 裴月令, 时涛, 蔡吉苗, 李超萍, 樊春俊, 黄贵修. 木薯棒孢霉叶斑病原鉴定及其生物学特性测定[J]. 热带作物学报, 2011, 32(4): 728-733.
- PEI Y L, SHI T, CAI J M, LI C P, FAN C J, HUANG G X. Identification of a pathogen from *Corynespora* leaf spot disease of cassava and its biological characteristics[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2011, 32(4): 728-733. (in Chinese)
- [51] 时涛, 李超萍, 蔡吉苗, 刘先宝, 林春花, 黄贵修. 木薯新叶斑病原鉴定及其生物学特性[J]. 热带作物学报, 2010, 31(3): 457-463.
- SHI T, LI C P, CAI J M, LIU X B, LIN C H, HUANG G X. Identification of a pathogen from a new leaf spot disease of cassava and its biological characteristics[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2010, 31(3): 457-463. (in Chinese)
- [52] 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所. 热带作物重要病虫草害监测数据库 V1.0: 2018SR320627[CP]. 2021-11-30.
- Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences. Monitoring database of important pests on tropical crops V1.0: 2018SR320627 [CP]. 2021-11-30. (in Chinese)
- [53] 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所. 木薯病虫草害预警监测与控制手机 APP 软件 V1.0: 2018SR320627 [CP]. 2018-05-10.
- Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences. Early warning monitoring and control of cassava diseases, pests, and weeds using mobile app software V1.0: 2018SR320627 [CP]. 2018-05-10. (in Chinese)
- [54] 时涛, 蔡吉苗, 黄贵修. 木薯花叶病和褐条病的安全性评估[J]. 热带农业科学, 2015, 35(5): 23-28.
- SHI T, CAI J M, HUANG G X. Safety assessment of cassava mosaic and brown streak diseases[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2015, 35(5): 23-28. (in Chinese)
- [55] 时涛, 刘先宝, 黄贵修. 木薯丛枝病和蛙皮病入侵我国的风险分析[J]. 热带生物学报, 2015, 6(4): 432-437.
- SHI T, LIU X B, HUANG G X. Risk analysis of cassava witches' broom and frog skin diseases in China[J]. Journal of Tropical Biology, 2015, 6(4): 432-437. (in Chinese)
- [56] LIU J, YANG J, BI H P, ZHANG P. Why mosaic? Gene expression profiling of *African cassava mosaic virus* - infected cassava reveals the effect of chlorophyll degradation on symptom development[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2014, 56(2): 122-132.
- [57] BI H, AILENI M, ZHANG P. Evaluation of cassava varieties for cassava mosaic disease resistance jointly by agro-inoculation screening and molecular markers[J]. African Journal of Agricultural Marketing, 2010, 4(9): 330-338.
- [58] 时涛, 黄贵修. 我国木薯主栽品种在乌干达发生花叶病和褐条病调查[J]. 中国植保导刊, 2016(1): 73-75, 83.
- SHI T, HUANG G X. Investigation of mosaic and brown stripe diseases on the main cassava varieties from China in Uganda[J]. China Plant Protection, 2016(1): 73-75, 83. (in Chinese)

- [59] 张永江, 马洁, 李桂芬, 鲁洁, 辛言言, 孔君, 李明福, 邓丛良, 朱水芳. 应用纳米磁珠实时荧光 PCR 检测非洲木薯花叶病毒[J]. 中国农学通报, 2013, 29(6): 203-207.
ZHANG Y J, MA J, LI G F, LU J, XIN Y Y, KONG J, LI M F, DENG C L, ZHU S F. Detection of *African cassava mosaic virus* by real-time fluorescent PCR combining with magnetic nanoparticles[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(6): 203-207. (in Chinese)
- [60] 时涛, 王国芬, 李超萍, 蔡吉苗, 李博勋, 黄贵修. 柬埔寨木薯主要病害及从中国引进品种花叶病发生情况[J]. 中国植保导刊, 2019(11): 91-95.
SHI T, WANG G F, LI C P, CAI J M, LI B X, HUANG G X. The main diseases of cassava in Cambodia and the occurrence of mosaic disease in introduced varieties from China[J]. China Plant Protection, 2019(11): 91-95. (in Chinese)
- [61] SHI S S, ZHANG X C, MANDEL M A, ZHANG P, ZHANG Y L, FERGUSON M, AMUGE T, ROUNSLEY S, LIU Z X, XIONG, Z G. Variations of five *eIF4E* genes across cassava accessions exhibiting tolerant and susceptible responses to cassava brown streak disease[J]. PLoS One, 2017, 12(8): e0181998.
- [62] 布坎南 R E, 吉本斯 N E. 伯杰细菌鉴定手册(第八版)[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
BUCHANAN R E, GIBBONS N E. Bergey's manual of determinative bacteriology (8th Edition)[M]. Beijing: Science Press, 1984. (in Chinese)
- [63] VAUTERIN L, HOSTE B, KERSTERS K, SWINGS J. Reclassification of *Xanthomonas*[J]. International Journal of Systematic Bacteriology[J]. 1995, 45(3): 472-489.
- [64] CONSTANTIN E C, CLEENWERCK I, MAES M, BAEYEN S, VAN M C, DE V P, COTTYN B. Genetic characterization of strains named as *Xanthomonas axonopodis* pv. *dieffenbachiae* leads to a taxonomic revision of the *X. axonopodis* species complex[J]. Plant Pathology, 2016, 65(5): 792-806.
- [65] 任希望. 木薯细菌性枯萎病菌的分离鉴定与 PTI 途径相关基因的克隆[D]. 海口: 海南大学, 2014.
REN X W. Isolation and identification of cassava bacterial blight pathogen and cloning of PTI related genes[D]. Haikou: Hainan University, 2014. (in Chinese)
- [66] ZHU S S, PAN Y Y, LI K, FAN R C, XIANG L, HUANG S, JIA S, NIU X, LI C X, CHEN Y H. Complete genome sequence of *Xanthomonas phaseoli* pv. *manihotis* strain CHN01, the causal agent of cassava bacterial blight[J]. Plant Disease, 2022, 106(3): 1039-1041.
- [67] 祝天成. 木薯细菌性枯萎病菌遗传多样性分析[D]. 海口: 海南大学, 2014.
ZHU T C. Genetic diversity analysis of *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* of cassava[D]. Haikou: Hainan University, 2014. (in Chinese)
- [68] 岑贞陆, 何忠, 郑露露. 木薯细菌性枯萎病原菌致病力差异及其胞外酶活性的研究[J]. 西南农业学报, 2011, 24(6): 2213-2216.
CEN Z L, HE Z, ZHENG L L. Study on pathogenicity and extracellular enzyme activity of *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(6): 2213-2216. (in Chinese)
- [69] 时涛, 李超萍, 刘先宝, 黄贵修. 木薯细菌性枯萎病菌 *hrpG* 基因突变体的获得[J]. 热带作物学报, 2013, 34(6): 1139-1143.
SHI T, LI C P, LIU X B, HUANG G X. Establishment of *hrpG* gene mutant from *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 34(6): 1139-1143. (in Chinese)
- [70] 孟繁凡, 武瑶, 时涛, 黄贵修, 王莉. 地毯草黄单胞菌双组分系统 *VgrS-VgrR* 基因敲除及表型筛选[J]. 微生物学报, 2021, 61(3): 764-777.
MENG F F, WU Y, SHI T, HUANG G X, WANG L. Gene deletion and phenotype observation of two-component system *VgrS-VgrR* in *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2021, 61(3): 764-777. (in Chinese)
- [71] 陈江莎. 木薯地毯草黄单胞菌 Tn5 转座子插入突变体库的建立及其分子分析[D]. 海口: 海南大学, 2013.
CHEN J S. Transformants library construction and analysis of *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* of cassava[D]. Haikou: Hainan University, 2013. (in Chinese)
- [72] 张长正. 木薯地毯草黄单胞菌 Tn5 转座子筛选及其 *asl_{Xam}* 基因的克隆[D]. 海口: 海南大学, 2016.
ZHANG C Z. Screening of the Tn5 transformants of *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* and cloning *asl_{Xam}* gene[D]. Haikou: Hainan University, 2016. (in Chinese)
- [73] 时涛, 蔡吉苗, 李超萍, 黄洁, 黄贵修. 木薯细菌性萎蔫病菌抗铜性评价及抗铜相关基因簇分子分析[J]. 热带作物学报, 2017, 38(3): 529-540.
SHI T, CAI J M, LI C P, HUANG J, HUANG G X. Sensitivity evaluation to copper and molecule analysis of copper resistance related gene clusters for *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(3): 529-540. (in Chinese)
- [74] 徐春华, 李超萍, 欧文军, 冯岗, 时涛. 不同种质食用木薯的田间病害及对细菌性萎蔫病的抗性[J]. 中国植保导刊, 2022(4): 51-55, 79.
XU C H, LI C P, OU W J, FENG G, SHI T. Field diseases and resistance to bacterial blight disease of edible cassava germplasm[J]. China Plant Protection, 2022(4): 51-55, 79. (in Chinese)
- [75] 陆荣生, 韩美丽, 霍秀娟, 马跃峰. 木薯叶片愈伤组织对

- 枯萎病病原菌的抗性筛选[J]. 热带农业工程, 2012, 36(1): 1-7.
- LU R S, HAN M L, HUO X J, MA Y F. screening for cassava leaf callus resistance to bacterial wilt[J]. Tropical Agricultural Engineering, 2012, 36(1): 1-7. (in Chinese)
- [76] 林兆威, 李超萍, 蔡吉苗, 时涛, 黄贵修. 3 份木薯新种质抗细菌性萎蔫病机理初探[J]. 热带作物学报, 2021, 42(1): 205-212.
- LIN Z W, LI C P, CAI J M, SHI T, HUANG G X. Resistant mechanism to bacterial blight of three new cassava germplasm[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(1): 205-212. (in Chinese)
- [77] 樊春俊. 木薯种质对细菌性枯萎病(*Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*)抗性机理初探[D]. 海口: 海南大学, 2012.
- FAN C J. Studies on resistance mechanism to cassava bacterial blight caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*[D]. Haikou: Hainan University, 2012. (in Chinese)
- [78] 林兆威. 木薯抗细菌性萎蔫病种质鉴定及其抗病机理研究[D]. 海口: 海南大学, 2019.
- LIN Z W. Screening and resistance mechanism of cassava germplasm resistant to bacterial blight[D]. Haikou: Hainan University, 2019. (in Chinese)
- [79] 侯鹏宇, 于心怡, 肖晓蓉, 郑琳琳, 陈银华. 木薯 *MKK* 家族基因的鉴定及表达分析[J]. 热带生物学报, 2019, 10(2): 119-126.
- HOU P Y, YU X Y, XIAO X R, ZHENG L L, CHEN Y H. Identification and expression analysis of *MKK* genes in cassava[J]. Journal of Tropical Biology, 2019, 10(2): 119-126. (in Chinese)
- [80] 樊若晨, 王云鹏, 王睿, 李梦凯, 耿梦婷, 李春霞, 陈银华. 木薯 *bHLH79* 基因的克隆及抗病表型分析[J]. 分子植物育种, 2022, 20(20): 6668-6675.
- FAN R C, WANG Y P, WANG R, LI M K, GENG M T, LI C X, CHEN Y H. Cloning and resistance analysis of *bHLH79* gene in *Manihot esculenta* Crantz[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(20): 6668-6675. (in Chinese)
- [81] ZHU S S, FAN R C, XIONG X, LI J J, XIANG L, HONG Y H, YE Y W, ZHANG X F, YU X H, CHEN Y H. *MeWRKY* *IIas*, subfamily genes of *WRKY* transcription factors from cassava, play an important role in disease resistance[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13(6): 890555.
- [82] ZHANG H, YE Z, LIU Z X, SUN Y, LI X Y, WU J, ZHOU G Z, WAN Y L. The cassava NBS-LRR genes confer resistance to cassava bacterial blight[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13(1): 790140.
- [83] WANG P, YAN Y, LU Y, LIU G Y, LIU J P, SHI H T. The co-modulation of RAV transcription factors in ROS burst and extensive transcriptional reprogramming underlies disease resistance in cassava[J]. Plant Cell Reports, 2022, 41: 1261-1272.
- [84] WEI Y X, ZHU B B, MA G W, SHAO X D, XIE H Q, CHENG X, ZENG H Q, SHI H T. The coordination of melatonin and anti-bacterial activity by EIL5 underlies ethylene-induced disease resistance in cassava[J]. Plant Journal, 2022, 111: 683-697.
- [85] 陈奕鹏, 霍姗姗, 时涛, 李超萍, 杨扬, 蔡吉苗, 黄贵修. 一株木薯拮抗内生细菌 CEB33 的鉴定及田间防效初步测定[J]. 热带作物学报, 2016, 37(12): 2404-2408.
- CHEN Y P, HUO S S, SHI T, LI C P, YANG Y, CAI J M, HUANG G X. Identification of one endophytic bacterium strain CEB33 from cassava and preliminary evaluation of its control effect in field[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(12): 2404-2408. (in Chinese)
- [86] 黄贵修, 李超萍, 时涛, 蔡吉苗, 李博勋, 陈奕鹏, 刘先宝, 杨扬. 一种木薯细菌性萎蔫病种茎消毒方法: 201710674786.9[P]. 2020-11-27.
- HUANG G X, LI C P, SHI T, CAI J M, LI B X, CHEN Y P, LIU X B, YANG Y. One method for disinfecting the stem of cassava infected by *Xanthomonas phaseoli* pv. *manihotis*: 201710674786.9[P]. 2020-11-27. (in Chinese)
- [87] 段春芳, 宋记明, 姜太玲, 杨宇涵, 刘倩, 字雪明, 李博勋, 李超萍, 王国芬, 刘光华. 怒江干热河谷木薯花叶病调查研究初报[J]. 热带农业科学, 2020, 40(12): 55-61.
- DUAN C F, SONG J M, JIANG T L, YANG Y H, LIU Q, ZI X M, LI B X, LI C P, WANG G F, LIU G H. A preliminary survey of cassava mosaic disease in the Nujiang dry hot valley of Yunnan province[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2020, 40(12): 55-61. (in Chinese)
- [88] WANG D, ZHANG X, YAO X, ZHANG P, FANG R, YE J. A 7-amino-acid motif of Rep protein essential for virulence is critical for triggering host defense against *Sri Lankan cassava mosaic virus*[J]. Molecular Plant-Microbe Interactions, 2020, 33(1): 78-86.
- [89] WANG D, HUANG G X, SHI T, WANG G F, FANG R X, ZHANG X, YE J. Surveillance and distribution of the emergent *Sri Lankan cassava mosaic virus* in China[J]. Phytopathology Research, 2020, 2(1): 1-9.
- [90] CHI Y, PAN L L, BOUVAINE S, FAN Y Y, LIU Y Q, LIU S S, SEAL S, WANG X W. Differential transmission of *Sri Lankan cassava mosaic virus* by three cryptic species of the whitefly *Bemisia tabaci* complex[J]. Virology, 2020, 540(15): 141-149.
- [91] 蒋冬荣. ‘南植 188’木薯炭疽病的调查[J]. 广西植保, 1993, 6(4): 39.
- JIANG D R. Investigation of anthrax on cassava variety NANZHI 188[J]. Guangxi Plant Protection, 1993, 6(4): 39. (in Chinese)

- [92] 蔡吉苗, 李超萍, 时涛, 林春花, 黄贵修. 木薯炭疽病原鉴定及其生物学特性研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(10): 5435-5438, 5467.
CAI J M, LI C P, SHI T, LIN C H, HUANG G X. Study on the pathogeny identification and biological characteristics of anthracnose in cassava[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(10): 5435-5438, 5467. (in Chinese)
- [93] 时涛, 黄彩霞, 蔡吉苗, 林春花, 黄贵修. 木薯炭疽病菌的室内杀菌剂筛选[J]. 中国农学通报, 2010, 26(7): 237-240.
SHI T, HUANG C X, CAI J M, LIN C H, HUANG G X. Laboratory screening of fungicides against pathogen of cassava anthracnose[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(7): 237-240. (in Chinese)
- [94] 张静雅, 李欣雨, 张成, 王伟伟, 张鹏, 侯巨梅, 刘铜. 木薯炭疽病拮抗木霉菌筛选与室内防效研究[J]. 中国生物防治学报, 2022, 38(1): 115-124.
ZHANG J Y, LI X Y, ZHANG C, WANG W W, ZHANG P, HOU J M, LIU T. Screening of antagonistic *Trichoderma* against cassava anthracnose and investigation on its control effect in laboratory[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2022, 38(1): 115-124. (in Chinese)
- [95] 段春芳, 李月仙, 刘倩, 宋记明, 易怀锋, 熊贤坤, 张林辉, 沈绍斌, 严炜, 刘光华. 32 份木薯种质对疫霉根腐病的抗性评价和农艺性状分析[J]. 植物保护, 2017, 43(1): 148-152.
DUAN C F, LI Y X, LIU Q, SONG J M, YI H F, XIONG X K, ZHANG L H, SHEN S B, YAN W, LIU G H. Comprehensive assessment of 32 cassava germplasms for resistance to root rot disease (*Phytophthora palmivora*) and agronomic traits[J]. Plant Protection, 2017, 43(1): 148-152. (in Chinese)
- [96] 戴婷婷, 吴小芹. 等温扩增技术快速检测棕榈疫霉[J]. 林业科学, 2016, 52(10): 161-166.
DAI T T, WU X Q. A method for rapidly identifying *Phytophthora palmivora* using the LAMP technique[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2016, 52(10): 161-166. (in Chinese)
- [97] 段春芳, 黄贵修, 李超萍, 时涛, 郭容琦, 李月仙, 刘倩, 严炜, 娄予强, 张林辉, 刘光华. 云南木薯一种叶斑病原的分离鉴定[J]. 江西农业学报, 2012, 24(12): 118-120.
DUAN C F, HUANG G X, LI C P, SHI T, GUO R Q, LI Y X, LIU Q, YAN W, LOU Y Q, ZHANG L H, LIU G H. Isolation and identification of pathogen of a leaf spot disease of cassava in Yunnan[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2012, 24(12): 118-120. (in Chinese)
- [98] HU W, JI C M, LIANG Z, YE J Q, OU W J, DING Z H, ZHOU G, TIE W W, YAN Y, YANG J H, MA L M, YANG X Y, WEI Y X, JIN Z Q, XIE J H, PENG M, WANG W Q, GUO A P, XU B Y, GUO J C, CHEN S B, WANG M C, ZHOU Y, LI X L, LI R X, XIAO X H, WAN Z Q, AN F F, ZHANG J, LENG Q Y, LI Y, SHI H T, MING R, LI K M. Resequencing of 388 cassava accessions identifies valuable loci and selection for variation in heterozygosity[J]. Genome Biology, 2021, 22(1): 316.
- [99] 杨开兴. 6 个食用型木薯新品种引进筛选与品质鉴定[J]. 福建农业科技, 2020(5): 37-40.
YANG K X. introduction and screening of 6 new varieties of edible cassava and their quality identification[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2020(5): 37-40. (in Chinese)
- [100] 广西农业科学院经济作物研究所. “桂木薯 8 号” “桂木薯 9 号” “桂热 12 号” 木薯新品种通过全国热带作物品种审定委员会审定[EB/OL]. (2022-05-11)[2023-05-25]. <http://gxjzs.yfsoft.com.cn/2364.html>.
Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences. Late breed cassava varieties of ‘Gui 8’ ‘Gui 9’ and ‘Regui 12’ had been approved by the National Tropical Crop Variety Approval Committee[EB/OL]. (2022-05-11)[2023-05-25]. <http://gxjzs.yfsoft.com.cn/2364.html>. (in Chinese)