

新中国果树科学研究70年——香蕉

谢江辉

(中国热带农业科学院,海口 571101)

摘要:回顾新中国成立70年以来中国香蕉产业发展与科学研究的历程。系统阐述我国在香蕉引种、新品种选育、病虫害防治、栽培与施肥、机械化采摘及采后与保鲜等领域取得的研究进展及成果,并就未来香蕉产业和科技发展急需解决的关键问题及研究方向,提出了意见建议。

关键词:香蕉;新中国;70年;科学研究;回顾;展望

中图分类号:S668.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2019)10-1429-12

Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Banana

XIE Jianghui

(Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, Hainan, China)

Abstract: In this article, we review the industrial development and scientific research of banana in China since the founding of the People's Republic of China. This paper systematically introduces the research progress and achievements of China's banana, including banana germplasm introduction, new variety selection, pest and disease control, cultivation and fertilization, mechanized harvesting as well as postharvest preservation. It also puts forward the key issues and research directions in the banana industry and technology development in the future.

Key words: Banana; New China; 70 years; Scientific research; Review; Prospect

香蕉(*Musa* spp.)属芭蕉科(Musaceae)芭蕉属果树,被世界粮农组织定位为仅次于水稻、小麦、玉米的第四大粮食作物^[1]。中国是香蕉原产地之一,有着3 000多年的栽培历史。战国时期的《庄子》(约公元前369—前286年)和屈原(约公元前343—277年)的《九歌》就记载了香蕉茎秆可用于纺织。新中国成立70年来,随着农业种植结构调整和中央系列惠农政策的落实,我国香蕉产业发展迅速,已成为热带高效农业的支柱产业。香蕉科学研究与香蕉产业发展息息相关,产业发展中的问题为科学研究提供了命题与方向,科学技术的进步为产业健康发展提供了有力的支撑与保障。笔者简要回顾了新中国成立70年来中国香蕉产业与科学研究发展的历程,概述了不同领域香蕉科学研究取得的成效,展望了未来需要强化的重点方向研究。

1 中国香蕉科技发展的历程

回顾我国香蕉在资源引进、品种改良、种苗生产以及现代生物技术应用等领域的研究进展,可将中国香蕉研究发展分为4个阶段。

1.1 第1阶段(1949—1979年)

建国初期至1979年以前,中国香蕉多为小面积零星种植,缺乏必要的栽培技术,发展速度缓慢,几乎没有规模化栽培,国家也没有将其纳入计划管理,属于自由购销商品。截至1978年,全国香蕉种植面积仅为1.46万hm²,总产量只有8.5万t。科技文献检索结果获悉,第一部关于香蕉栽培的书籍是1960年福建林日荣撰写的《香蕉及其栽培》,但无相关科学研究报道,没有专业的研究团队和研究机构,多数处于庭院和粗放栽培阶段。栽种植种多为地方的农

收稿日期:2019-08-19 接受日期:2019-09-21

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0202105);国家现代农业产业技术体系建设(CARS-31)

作者简介:谢江辉,男,研究员,博士,国家香蕉产业技术体系首席科学家,研究方向为种质资源与遗传育种。Tel: 0898-66962903, E-mail: 2453880045@qq.com

家种,有东莞高(中)把、台湾高(中)把、越南河口蕉、海南牛角蕉及福建天宝蕉等。

1.2 第2阶段(1980—1999年)

随着农村开始实施土地家庭承包责任制改革,特别是1986年党中央、国务院做出大规模开发热带作物资源的决定,香蕉等热带水果产业快速发展。截止到1999年全国香蕉种植面积为20.69万 hm^2 。此时,优良品种的引种试种和繁育成为香蕉研究的主要任务。20世纪末由中国热带农业科学院、中科院华南植物研究所等科研单位先后引进一些优良品种。具有代表性的有:1985年曾碧露从澳大利亚引进‘Williams’(‘威廉斯’)品种;1987年广东省湛江农业生物技术研究中心从澳大利亚引进“巴西”蕉;李宝荣在1989年分别引进原产于洪都拉斯的‘Grand Naine’(‘大奈因’)和南美洲的‘巴西蕉’等品种。其中‘威廉斯’和‘巴西蕉’逐步成为我国香蕉的主栽品种。同时,香蕉组培苗生产与工厂化育苗技术的研究快速推进,组培健康种苗开始推广应用。为规范香蕉生产,国家制定了第一项产品标准《香蕉》(GB 9827—1988),该标准规定了香蕉收购的等级规格、质量指标、检验规则、方法及包装等要求。1999年广东省农业科学院果树研究所完成的“香蕉种质资源的收集、保存、分类、评价与利用综合研究”获国家科技进步三等奖。这一阶段,种植品种逐渐由传统地方品种转变到引进优良品种,种苗生产由使用吸芽苗转变到使用组培苗,种植面积由零星种植到规模化栽培,进而形成优势生产区域,实现了香蕉产业发展的第一次飞跃。此时,我国香蕉研究处于开始起步,主要是以引进消化国外先进技术与品种。

1.3 第3阶段(2000—2008年)

香蕉产业的继续高速发展,栽培面积由1999年的20.69万 hm^2 增加到2008年的33.69公顷 hm^2 。该阶段香蕉研究主要任务由良种引进选育转向良种良法的配套栽培管理、营养施肥技术、保鲜和包装等技术的研发。国家和地方各级政府相继加大了对科技研究经费的投入,2003年国家农业部将香蕉产业化发展列为重要议事日程,香蕉“采后商品化处理技术”的引进与应用和2006年国家农业公益性行业科技专项“香蕉标准化种植技术研究”等先后立项实施,进而推动了研发队伍力量逐步成长壮大,香蕉产前、产中、产后的研究取得全面进展。代表性的成果

有王壁生等完成的“香蕉真菌病害发生、病原菌鉴定及防治技术研究”获得2001年广东省科技进步一等奖;杨护等完成的“优质高效香蕉新品种组培繁育及配套栽培技术推广”获得2004年广东省农业技术推广一等奖;刘康德等完成的“香蕉组培苗技术产业化及推广”获得2006年海南省科学技术进步奖特等奖。此时,中国香蕉研究在原有的引进、消化的基础上开始集成创新和自主创新,创新能力与水平由跟跑逐步转向并跑。

1.4 第4阶段(2009年至今)

香蕉产业稳定发展,国内栽培面积保持在35万~40万 hm^2 ,产业开始“走出去”,在老挝等境外建立10万~20万 hm^2 的生产基地,市场供需基本平衡。此阶段,国家科技体制改革进一步深化,2008年国家农业部、财政部启动建设国家现代农业产业技术体系,2009年国家香蕉产业技术体系正式运行,围绕产业链,组建了从资源育种到采后加工全学科链共100多人技术研发团队、实现了稳定的经费支持。从此,我国香蕉各学科领域创新能力和水平突飞猛进,部分研究处于国际领先水平,由并跑开始向领跑跨越转变。在基础与应用基础研究方面,共获得国家自然科学基金资助138项,其中包括国际联合项目3项和重大项目1项。香蕉B基因组、果实品质调控与成熟衰老、枯萎病抗性机制等研究成果相继发表在Nature Plant、Plant Physiology、New Phytologist、Plant Biotechnology of Journal等国际主流期刊。在资源与育种方面,金志强等完成的“香蕉功能基因挖掘与应用技术研究”获得2009海南省科技进步一等奖;林贵美等完成的“香蕉新品种桂蕉6号的选育与产业化”获2012年广西科学技术进步一等奖;易干军等完成的“高产、优质、矮化、抗枯萎病香蕉新品种选育与应用”获得2016—2017年度神农中华农业科技奖科研成果一等奖;邹瑜等完成的“寒粉蕉新品种‘金粉1号’的选育与应用”获2017年广西科学技术进步一等奖;金志强等完成的“香蕉辐射诱变及定向育种新技术”成果获得2018海南省技术发明奖一等奖。在栽培与采后保鲜研究方面,袁德保等完成的“香蕉果品质量劣变与控制”获2016年度海南省科技进步一等奖。

2 中国香蕉研究概况

2.1 香蕉种质资源研究

2.1.1 资源收集、鉴定与保存 新中国成立70年

来,中国学者先后鉴定发表了 *Musa paracoccinea*、*M. tongbiguanensis*、*M. ruiliensis* 等多个新种^[1]。先后引进不少国外品种资源,并在1980年建立了国家香蕉种质资源圃(广东省农业科学院果树研究所国家种质香蕉圃),收集香蕉种质300多份^[2],是目前国内规模最大、最完善的香蕉种质资源圃。曾惜冰等完成的“香蕉种质资源的收集、保存、分类、评价与利用综合研究”分别获得1998年广东省科技进步一等奖和1999年国家科技进步三等奖。

此外,中国热带农业科学院国家热带果树种质资源圃收集和保存香蕉种质资源245份。广西农业科学院收集保存了特色蕉类种质151份。云南省红河热带农业科学研究所收集和保存了野生香蕉种质131份。但我国香蕉种质资源保存的数量与印度国家香蕉研究中心(NRCB)保存1 000多份和比利时鲁汶大学香蕉种质交换中心(ITC)保存1 500多份相比差距较大,特别是香蕉野生资源保存的数量极少。

2.1.2 香蕉种质资源遗传多样性评价 香蕉在热带、亚热带地区经过长期的生物演化和人工选择,已形成了一个包括野生蕉和栽培蕉在内的巨大的种质基因库。目前对香蕉种质资源遗传多样性的研究经历了从形态学研究、细胞标记、生化标记到分子标记的过程。

不同DNA分子标记技术的开发为了解香蕉种质多样性和起源以及优良种质创建提供了重要参考。杜道林等^[3]和陈源^[4]利用RAPD分别对一些香蕉品种的遗传变异和野生蕉群体的遗传多样性进行了分析。易干军等^[5]利用AFLP研究了32个大蕉、粉蕉、龙牙蕉品种的遗传多样性。李典范^[6]通过AFLP发现野生蕉的多态性并不比栽培蕉丰富。谭卫萍等^[7]用AFLP技术研究了60个栽培蕉和野生蕉种质资源的遗传多样性,分析了野生蕉种间、野生蕉与栽培蕉、栽培蕉各类型之间以及各类型内部品种(系)之间的亲缘关系。后期基于SSR^[8]和ISSR^[9]的分子标记也广泛用于香蕉种质资源指纹图谱绘制和遗传多样性的分析。并开发了EST-SSR和叶绿体cpSSR等分子标记^[10-11]。王芳等^[12]利用与香蕉B基因组相关的gypsy-IRAP分子标记,成功开发了一对SCAR引物,用于鉴定香蕉资源是否含有B基因组,为后期香蕉分子辅助育种提供了重要的参考。

2.1.3 香蕉B基因组解析 由中国热带农业科学院

金志强团队带领完成香蕉B基因组的精细图谱绘制,在全基因组层面比较了A和B基因组的遗传特质,揭示B基因组在香蕉抗逆、抗病及果实品质形成中的贡献^[13],为后期深入探讨香蕉的分子遗传机制奠定基础。

2.2 品种选育

2.2.1 杂交育种 香蕉高度杂合特性使得理想亲本材料的鉴定变得困难,杂交后代仅能获得少量的种子,开展香蕉杂交育种历史最长的是洪都拉斯的FHIA,主要集中在鲜食蕉和大蕉的杂交育种^[14]。我国进行传统杂交育种起步较晚,广东省农业科学院果树研究所利用‘金手指(AAAB)’与‘SH-3142(AA)’杂交选育出‘中蕉9号’,表现出抗香蕉枯萎病特性,已通过品种审定推广;该团队在2017年又从‘广粉1号粉蕉’经自然杂交选育出抗病品种‘粉杂1号’。魏岳荣团队用‘广粉1号’粉蕉和‘中粉1号’分别与‘Calcutta 4(AA)’杂交,得到了一些杂交后代^[15]。中国热带农业科学院南亚热带作物研究所李伟明等也开展了系列的杂交育种工作,在亲本选择和种子萌发技术方面取得了进展,获得了一批杂交群体。

2.2.2 突变育种 芽变育种。芽变育种在香蕉育种工作中占有极其重要的地位。‘高把香牙蕉’、‘油蕉’、‘仙人蕉’等优良品种都是从芽变中选育出来的^[16]。李丰年等^[17]通过芽变筛选获得‘63-1’和‘74-1’两个具有优良性状的香蕉新品系。台湾香蕉研究所Hwang等^[18]从香蕉组培苗的变异植株中选育出具有抗香蕉枯萎病的‘台蕉1号’等品种。黄秉智等^[19]通过芽变选育出的‘广粉1号粉蕉’,具有假茎高大粗壮、产量高、品质优的特点。陈厚彬等^[20]通过芽变获得高抗香蕉枯萎病及较好农艺性状的‘粤优抗1号’新品种。庄西卿等^[21]从‘台湾北蕉’田间芽变体选育出了‘热蕉11号’,该品系的产量和主要营养指标均比‘巴西蕉’和‘北蕉’高。韦绍龙等^[22]从严重感枯萎病的巴西蕉蕉园中筛选获得抗(耐)枯萎病的‘巴西蕉’芽变植株‘桂蕉9号’。

体细胞变异育种。相对于芽变选种,体细胞突变也是香蕉新品种选育的主要方法之一。早在1984年,台湾香蕉研究所开始利用体细胞变异进行香蕉枯萎病抗病育种的研究,先后选育出抗枯萎病的‘台蕉1号’、‘台蕉2号’和‘宝岛蕉’等一系列品种(系)^[18]。目前大面积种植的‘巴西蕉’和‘桂蕉6号’

也是基于体细胞突变产生的变异株^[16]。刘绍钦等^[23]从‘巴西蕉’组培苗变异株中筛选出具有抗枯萎病的‘农科1号’,并通过品种审定(粤审果2018002)。黄秉智等^[24-25]先后利用组培苗体细胞突变选育出‘广粉1号’和‘大丰2号’。近几年,通过体细胞突变也选育出一些优异抗枯萎病粉蕉的新品系如‘中科红粉’和‘粉杂1号’,表现出对枯萎病1号生理小种的抗性^[26]。

诱变育种。物理和化学诱变也广泛用于香蕉新种质的创建。叶春海等^[27]分析不同剂量⁶⁰Coγ对香蕉组培苗的诱变效应,旨在选育大果、高产、中矮秆的新品种。对未成熟香蕉雄花诱导愈伤组织及芽的外植体进行辐射,用于抗寒突变体和高品质优良株系的筛选^[28-29]。郭建辉^[30]用⁶⁰Coγ对‘台湾北蕉’离体试管芽进行诱变,获得果品较优的‘漳蕉8号’。中国热带农业科学院热带生物技术研究所金志强等完成的“香蕉辐射诱变及定向育种新技术”,选育出抗枯萎病4号生理小种的‘中科1号’和‘中科2号’抗性品种,并获得2018年海南省技术发明一等奖。胡玉林等^[31]通过化学诱变选育出香蕉抗枯萎病的新品种‘8818-1’。秋水仙素多用于香蕉多倍体或抗病品种培育的种质创新^[32]。近期,有些学者通过在培养基中添加枯萎病菌粗毒素,筛选抗性植株^[33]。尽管诱变能够产生大量的突变体,但突变方向无目的性,易产生嵌合体,且在选择过程中耗时耗力。为克服这些缺点,基因工程定向育种解决了上述难题。

2.2.3 香蕉遗传转化及应用 近年来,我国在香蕉组织培养如分生组织培养、愈伤组织培养、悬浮细胞培养、原生质体培养等取得了显著的进展。黄霞^[34]和张妙霞^[35]相继报道了采用横切薄层培养方法建立香蕉的高效再生体系。徐春香等^[36]建立了胚性细胞悬浮系,并获得了再生植株。肖望等^[37]通过体细胞胚胎发生途径获得了‘过山香’品种的原生质体和再生植株。李敬阳等^[38]利用农杆菌介导法成功地将乙肝表面抗原基因转化到香蕉中。至今共成功培养12个香蕉品种的原生质体。近期,胡春华等^[39]建立了香蕉CRISPR/Cas9体系,实现对*MaPDS*的定点敲除,为后期利用基因编辑技术开展香蕉基因功能研究和香蕉育种工作开辟新的路径。

2.3 病虫害防控

据不完全统计,目前我国共鉴定出香蕉病虫害57种。其中病害28种,包括18种真菌性病害、3种

细菌性病害、3种病毒病和4种线虫病;害虫29种。香蕉枯萎病是我国乃至世界香蕉产区发生最为严重、最难防治的一种毁灭性真菌病害。目前在香蕉枯萎病致病机制和防控技术等方面我国处于国际领先水平。发现了香蕉细胞膜水解酶受体MaLYK1可选择性识别真菌细胞壁的组分,诱导香蕉*SRO*基因家族成员和自噬相关基因(*MaATGs*)的表达,产生过敏反应^[40-42]。其次,一些长链非编码RNA和MicroRNA也参与香蕉植株对枯萎病的抗病调控^[43]。MamiR169a和b在香蕉抗性品种中具有较高的表达水平^[44]。最近,Dou^[45]在植物细胞中过表达真菌基因,诱导病原菌基因沉默,赋予植株对枯萎病的抗性。

枯萎病防控是香蕉植物保护领域研究的热点和重点,也是目前受国家自然科学基金资助最多的方向。主要涉及以下内容:(1)抗病新品种选育与栽培技术(如‘桂蕉早1号’、‘粉杂1号’、‘突变体HD-1’)^[46];(2)拮抗菌株的筛选与拮抗机制的研究(如‘卢娜林瑞链霉菌’、‘薰衣草灰链轮丝菌’)^[47-48];(3)枯萎病致病机制分析(如香蕉枯萎病菌致病相关基因的克隆、致病突变体的筛选、组学分析致病因子)^[49-50];(4)香蕉抗病机制(如抗性生理、枯萎病诱导香蕉组织学差异、根系分泌物与枯萎病侵染的关系、枯萎病诱导植株中差异基因筛选及DNA甲基化变化特征)^[51-52];(5)香蕉枯萎病综合防控(有机肥和复合微生物菌剂联合施用、钾肥与生物有机肥配施、植物水提液和拮抗菌、新型杀菌剂、土壤微生物群落对枯萎病菌致病性的影响)^[53-55]。在总结国内外香蕉枯萎病防控研究的基础上,初步建立和集成了针对香蕉枯萎病的无病区、轻病区和重病区的三大综合防控核心技术体系。通过不同抗性品种的合理选配、无病基质种苗的培育、有机肥和生物菌肥的应用、栽培管理标准化等核心技术的进一步完善和推广,有效遏制了香蕉枯萎病在我国香蕉产区进一步蔓延和扩展的势头^[55]。

2.4 营养施肥与栽培管理

香蕉营养与施肥研究始于20世纪90年代初,着重关注香蕉营养特性与施肥标准。庄伊美^[56]系统总结了国内外香蕉营养特性,提出了我国香蕉营养施肥与诊断标准。周修冲等^[57]开展了高产矮香蕉需肥规律及施肥研究。2000年后,香蕉营养施肥研究系统全面展开,张立丹^[58]、刘芳^[59]、杨苞梅等^[60]先后研究

了香蕉大量元素、中量元素和微量元素的累积吸收规律。刘庆虎^[61]确定了‘巴西蕉’的叶片 SPAD 营养诊断标准及土壤诊断标准。刘延涛^[62]建立香蕉系列控释配方肥的产量效应方程,确定适于香蕉生长发育的控释氮、磷、钾比例,进而研制了香蕉系列控释配方肥。臧小平等^[63]研究了不同灌溉施肥方式对香蕉生长和产量的影响。李宝深^[64]开展了滴灌蕉园养分综合管理技术的研究与应用。至今,通过众多专家学者的共同努力,我国香蕉营养施肥由经验施肥逐步向精量平衡施肥转变,尤其是香蕉专用同步营养肥的研制已处于国际领先水平,但养分综合管理技术研究还需进一步完善,与信息技术相结合的精量施肥技术研究仍是努力的方向。

在耕作制度与种植模式研究方面。何应对等^[65]研究了不同耕作措施对香蕉产量和效益的影响。洪珊等^[66]研究了茄子与香蕉轮作配施生物有机肥对连作蕉园土壤微生物区系的影响。林威鹏等^[67]研究了香蕉-甘蔗轮作模式防控香蕉枯萎病的持续效果与土壤微生物生态机制。赖朝圆等^[68]研究了辣椒、甘蔗、冬瓜等与香蕉轮作,以及对香蕉生产及土壤肥力质量的影响。吕顺等系统研究了香蕉与大豆间作对香蕉生长的影响及其生态效应和经济效益,建立和优化了香蕉间作模式,研发了一套香蕉群体质量评价与优质高产高效精确定量栽培管理新技术,“香蕉高效栽培关键技术与应用”成果,并获得了2018年广东省科学技术进步二等奖。总体而言,我国香蕉耕作制度与种植模式研究,与国际同类研究相比,尚有一定的差距,需要迎头赶上。

针对我国北缘产蕉区普遍存在冬季低温寒害(霜冻)的问题,韦弟等^[69]研究了乙烯利对香蕉抗寒性的影响。牟海飞等^[70]开展了香蕉寒害生理指标变化及防寒越冬栽培关键技术研究,创制了“香蕉吸芽大苗截茎覆盖防寒技术”(俗称“天地膜”)等多项新技术,“香蕉防寒及其产期调节技术研究与应用”成果获得2014年广西科技进步奖二等奖。陈业渊等集成了香蕉营养诊断与平衡施肥技术,采前花果综合管理技术,病虫害综合防治技术,无伤采收与采后商品化处理等技术,“香蕉优质高产技术集成与推广”获2009年海南省科学技术进步二等奖。然而,我国蕉园果实养护与标准化生产技术研究仍有待加强。

2.5 果园生产机械化

果园生产机械化研究与应用在我国尚处于起

步阶段,差距较大。(1)果园施药:主要集中在喷雾器件和新型喷雾机的设计以及喷雾高效利用的基础研究领域。石宝宝等^[71]设计了一种双流体喷嘴,对于高粘度和低粘度的液体都有良好的雾化性能,并且可以灵活改变气压与液体流量来控制喷施距离、喷施量等特性参数,从而满足不同条件的喷施要求。(2)果园施肥:主要集中在新的施肥机理研究及相关施肥机的设计。刘彪等^[72]根据果园施肥的现状,设计了一种基于旋切变深机理的有机肥施肥机,并对建立的三维模型进行了虚拟仿真运动和静力学模态分析。(3)果实采收:香蕉果实采收机械研究国内尚未见报道。在辅助采摘装置设计和采摘机器人的果实识别与定位技术的研究方面可借鉴背负式水果采摘机和按压式水果枝干切断机的设计原理^[73-74],以及基于果实颜色和形状特性构建的识别技术^[75-76]。(4)果园运输:主要围绕山地、丘陵地区果园运输机行驶和制动稳定与安全性能展开研究。刘佛良等^[77]研究了果园运输机的振动特性,并设计了一套钢丝绳避振装置;欧阳爱国等^[78]设计了一套双轨果园运输车的行走机,以提高运输车在弯曲起伏轨道上的平稳性和安全性;姜飞^[79]采用虚拟仿真技术和试验研究相结合的方法,对牵引果园运输机载物车断绳制动装置进行了相关研究。

2.6 采后保鲜与综合利用

从香蕉专利申请的态势来看,采后处理与综合利用的专利申请居香蕉之首,是当前研究的热点,主要包括香蕉采后保鲜、精深加工与副产物利用研究3个方面。

2.6.1 采后保鲜研究 Liu等^[80]发现编码香蕉乙烯合成途径两个关键酶 ACS 和 ACO 基因;乙烯反应因子 *MaERF9/11* 可直接调控乙烯合成相关基因 *ACO* 和 *ACS* 参与果实成熟^[81]。Han等^[82]证实 *MaERF11* 可与组蛋白去乙酰化酶 *MaHDA1* 互作,招募 *MaHDA1* 识别下游乙烯合成及细胞壁代谢相关基因启动子的 *GCC-box* 区域,通过 *MaHDA1* 去乙酰化作用进一步抑制成熟相关基因的表达。Shan等^[83]发现香蕉果实淀粉降解受一系列淀粉降解酶在转录和蛋白水平上调控,并且 *MabHLH6* 和 *MaMYB3* 分别作为重要的正调控和负调控因子参与香蕉果实淀粉降解过程。*MaNAC1/2* 转录因子与 *MaEIL5* 互作,参与香蕉果实成熟的调控。Kuang等^[84]发现

MaDREB2不仅可以调控697个靶基因,也可以与自身启动子互作,通过信号放大,参与果实成熟调控。有研究表明,茉莉酸甲酯、丙烯、一氧化氮、硫化氢以及3℃冷激处理可减轻香蕉果实冷害,增强果实耐冷性^[85-87]。Zhao等^[85]和Peng等^[88]发现MYC2和bHLH等转录因子通过与冷信号关键组分ICE1的互作来发挥重要作用。Ge等^[89]和Hu等^[90]发现褪黑素和硫化氢等处理可以延缓果实成熟,与乙烯合成和淀粉降解抑制有关。从文献分析来看,我国在香蕉保鲜处理的基础理论和技术上已处于国际领先水平。

2.6.2 精深加工研究 香蕉精深加工主要集中在香蕉汁、香蕉酸乳、香蕉粉、香蕉复合饮料等方面。北大荒集团和广西金穗农业集团合作推出了“我爱蕉汁”香蕉复合饮料。陈智理等^[91]优化了香蕉汁的加工工艺;饶雪甜等^[92]开展了青香蕉抗性淀粉提取工艺优化及物理特性研究;郝欣等^[93]研发了香蕉抗性淀粉饼干。总体而言,我国香蕉精深加工研究不多,产品尚未被主流市场接受,与印度等国有较大的差距。

2.6.3 副产物利用研究 我国香蕉副产物利用主要集中在香蕉茎秆的饲料化、肥料化、工业化(纤维)、医药化、能源化等的利用;李志春等^[94]开展了香蕉茎叶青贮饲料对波尔山羊血液生化指标影响的研究。郭志祥等^[95]进行了香蕉茎叶青贮饲料对肉牛育肥效能的研究,发现香蕉茎叶青贮饲料对育肥肉牛饲喂效果可替代玉米植株等常用饲料。邹雨坤等^[96]比较了不同还田方式下香蕉茎秆的腐解及养分释放特征。徐树英等^[97]进行了香蕉茎秆酶法脱胶和化学脱胶工艺及其脱胶纤维性能的研究。盛占武等发明了“一种香蕉茎秆纤维精干麻的生产方法(ZL201610351257.0)”。曾会才等制订了农业行业标准《香蕉纤维清洁脱胶技术规范》(NY/T 2265—2012)。Sheng等^[98]开展了香蕉花中抑制 α -葡萄糖苷酶活性组分的提取与特性的研究。“香蕉雄花、茎秆和残次果等废弃物高值化综合利用技术与示范”达到国际先进水平,并于2014年获海南省科学技术进步一等奖。

3 国际交流合作

随着我国科技创新实力的整体提升,中国香蕉研究逐步融入全球香蕉创新网络,一批中国科学家

活跃在国际香蕉研究与交流的大舞台。广东省农业科学院易干军研究员担任FAO国际热带水果组织副主席和国际香大蕉改良网络组织中国代表。广东省农业科学院承办第二届国际香蕉研讨会(2009年9月)、云南省农业科学院即将承办第十二届国际香蕉研讨会(2020年9月)。葛学军、彭军等专家先后承担了国家自然科学基金国际(地区)合作与交流重点项目,金志强研究员与D'HONT A等合作,完成了香蕉B基因组的精细图谱绘制。为响应国家“一带一路”倡议,张锡炎、李小泉等专家积极服务东南亚等国香蕉产业发展,开展援外技术培训,建立境外香蕉产业园区,示范带动受援国产业发展。

4 展 望

经过70年的发展,我国香蕉科学研究虽然取得长足的进步,但随着产业的发展需要和引领学科发展的要求,今后一段时间要在以下方向继续努力。(1)加强全球香蕉种质资源的收集、新种质的创制与优良品种的培育。(2)香蕉多组学研究协同整合,挖掘重要经济性状形成的关键基因,解析其调控网络。(3)深化香蕉有害生物危害机制与防控基础的研究,研发绿色生态防控技术。(4)开展香蕉生长发育与环境互作机制的研究,研发优质、高效、抗逆栽培技术。(5)推动果园生产机械化研究,全面提高产业机械化水平,降低生产成本。(6)拓展香蕉精深加工技术研究,进一步提升无伤采收、冷链物流等采后保鲜技术,开发高附加值的香蕉系列产品。

致谢:感谢国家香蕉产业技术体系各岗位科学家及实验站站长提供的支持和帮助。

参考文献 References:

- [1] 李伟明,陈晶晶,段雅婕,庞振才,孙德权,胡玉林,胡会刚,谢江辉,陈文娜. 香蕉野生种质资源的分类、分布和分子系统发育研究进展[J]. 园艺学报, 2018, 45(9): 1675-1687.
LI Weiming, CHEN Jingjing, DUAN Yajie, PANG Zhencai, SUN Dequan, HU Yulin, HU Huigang, XIE Jianghui, CHEN Wenna. Research advances on taxonomy, geo-distribution and molecular phylogenetics of wild banana germplasm resources [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2018, 45(9): 1675-1687.
- [2] 许林兵,黄秉智,吴元立,黄永红,董涛. 中国香蕉枯萎病地区栽培种多样性生产分析与建议[J]. 福建农业科技, 2011(1): 33-36.
XU Linbing, HUANG Bingzhi, WU Yuanli, HUANG Yonghong, DONG Tao. Analysis and suggestions on the diversity pro-

- duction of cultivated species in banana wilt disease areas in China[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2011(1): 33-36.
- [3] 杜道林, 苏杰, 周鹏, 郑学勤, 黄秉智, 李丰年. 香蕉 33 个品种的 RAPD 研究(英文)[J]. 植物学报, 2001, 43(10): 1036-1042. DU Daolin, SU Jie, ZHOU Peng, ZHENG Xueqin, HUANG Bingzhi, LI Fengnian. RAPD analysis of 33 varieties of banana [J]. Acta Botanica Sinica, 2001, 4(10): 1036-1042.
- [4] 陈源. 福建栽培和野生香蕉种质资源离体保存及 RAPD 分析[D]. 福州: 福建农林大学, 2007. CHEN Yuan. In vitro conservation and RAPD analysis of banana (*Musa* spp.) germplasm in Fujian[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2007.
- [5] 易干军, 余晓英, 霍合强, 谭卫萍, 黄自然, 陈大成, 黄秉智. 粉蕉、大蕉和龙牙蕉的 AFLP 分类研究[J]. 园艺学报, 2002, 29(5): 413-417. YI Ganjun, YU Xiaoying, HUO Heqiang, TAN Weiping, HUANG Ziran, CHEN Dacheng, HUANG Bingzhi. AFLP classification of Fenjiao, Dajiao and Longyajiao[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29(5): 413-417.
- [6] 李典范. 几种芭蕉属植物的 AFLP 分析及分类研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2002. LI Dianfan. AFLP analysis and classification of several species of *Musa*[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2002.
- [7] 谭卫萍, 张秋明, 于晓英, 曾继吾, 黄秉智, 易干军. 香蕉种质遗传多样性与亲缘关系的 AFLP 分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(6): 715-720. TAN Weiping, ZHANG Qiuming, YU Xiaoying, ZENG Jiwu, HUANG Bingzhi, YI Ganjun. Studies on the genetic diversity and relationship of banana by AFLP[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(6): 715-720.
- [8] 冀小蕊, 陈业渊, 王静毅, 郑丽珊, 魏守兴, 谢子四, 武耀廷. 香蕉 A 基因组品种间遗传关系的 SSR 检测[J]. 果树学报, 2007, 24(6): 783-787. JI Xiaorui, CHEN Yeyuan, WANG Jingyi, ZHENG Lishan, WEI Shouxing, XIE Zisi, WU Yaoting. Analysis of genetic diversity of A genome among banana cultivars using SSR markers[J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(6): 783-787.
- [9] 牟海飞, 林贵美, 邹瑜, 李小泉, 李朝生, 韦华芳, 吴代东, 张进忠, 王趣有, 潘永杰, 陈忠良. 利用 ISSR 分子标记分析香蕉品种的遗传多样性[J]. 西南农业学报, 2010, 23(4): 1206-1210. MOU Haifei, LIN Guimei, ZHOU Yu, LI Xiaoquan, LI Chaosheng, WEI Huafang, WU Daidong, ZHANG Jinzhong, WANG Quyou, PAN Yongjie, CHEN Zhongliang. Genetic diversity analysis of banana (*Musa* spp.) based on ISSR molecular marker[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2010, 23(4): 1206-1210.
- [10] 王静毅, 冀小蕊, 武耀廷. 香蕉品种(系)遗传多样性的 SSR 分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(10): 5706-5710. WANG Jingyi, JI Xiaorui, WU Yaoting. SSR Analysis of the genetic diversity of banana variety (line)[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2011, 39(10): 5706-5710.
- [11] 李博, 冯慧敏, 王静毅, 童和林, 陈友, 武耀廷. 基于 cpSSR 分子标记的香蕉种质资源分类[J]. 果树学报, 2011, 28(6): 1012-1018. LI Bo, FENG Huimin, WANG Jingyi, TONG Helin, CHEN You, WU Yaoting. The classification of *Musa* species using chloroplast SSR primers[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(6): 1012-1018.
- [12] 王芳, 牛玉清, 黄秉智, 崔广娟, 张珂恒, 曾莉莎, 刘文清, 吕顺, 郭权香, 何建齐. 香蕉与 B 基因组相关的 SCAR 标记研究[J]. 园艺学报, 2019, 46(03): 577-589. WANG Fang, NIU Yuqing, HUANG Bingzhi, CUI Guangjuan, ZHANG Keheng, ZENG Lisha, LIU Wenqing, LV Shun, GUO Quanxiang, HE Jianqi. Studies on SCAR marker related with B genome in *Musa*[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2019, 46(03): 577-589.
- [13] WANG Z, MIAO H X, LIU J H, XU B Y, YAO X M, XU C Y, ZHAO S C, FANG X D, JIA C H, WANG J Y, ZHANG J B, LI J Y, XU Y, WANG J S, MA W H, WU Z Y, YU L L, YANG Y L, LIU C, GUO Y, SUN S L, BAURENS F, MARTIN G, SALMON F, GARSMEUR O, YAHIAOUI N, HERVOUET C, ROUARD M, LABOUREAU N, HABAS R, RICCI S, PENG M, GUO A, XIE J, LI Y, DING Z, YAN Y, TIE W, D'HONT A, HU Wei, JIN Zhiqiang. *Musa balbisiana* genome reveals subgenome evolution and functional divergence[J]. Nature Plants, 2019, 5(8): 810-821.
- [14] ROWE P R, ROSALES F E. Breeding cooking bananas for areas with marginal growing conditions by using Cardaba (ABB) in cross-pollinations[M]. Biotechnology Applications for Banana and Plantain Improvement, 1993: 128.
- [15] 邓彪. 香蕉杂交育种技术初探[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014. DENG Biao. A preliminary study of cross breeding of banana (*Musa*). [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.
- [16] 陈石, 郑加协, 周红玲, 颜元培, 方志坚. 香蕉品种选育研究进展[J]. 中国热带农业, 2010(1): 55-58. CHEN Shi, ZHENG Jiaxie, ZHOU Hongling, YAN Yuanpei, FANG Zhijian. Research progress in selection and breeding of banana varieties[J]. China Tropical Agriculture, 2010(1): 55-58.
- [17] 李丰年, 黄秉智, 曾惜冰, 杨护, 许林兵. 香蕉优良新品系“74-1”与“63-1”[J]. 中国果树, 1990(4): 4-6. LI Fengnian, HUANG Bingzhi, ZENG Xibing, YANG Hu, XU Linbing. The excellent new lines of bananas "74-1" and "63-1" [J]. China Fruit Tree, 1990(4): 4-6.
- [18] HWANG S C, KO W H. Cavendish banana cultivars resistant to fusarium wilt acquired through somaclonal variation in Taiwan [J]. Plant Disease, 2004, 88(6): 580-588.
- [19] 黄秉智, 杨护, 许林兵, 易干军, 吴元立, 魏岳荣, 邱继水. 广粉 1 号粉蕉的选育及示范推广[J]. 福建果树, 2005(3): 3-5. HUANG Bingzhi, YANG Hu, XU Linbing, YI Ganjun, WU Yu-

- anli, WEI Yuerong, QIU Jishui. Breeding and demonstration of Guangfen No.1 Banana[J]. Fujian Fruit Tree, 2005(3): 3-5.
- [20] 陈厚彬,冯奇瑞,徐春香,霍日祥,李建国,王泽槐. 抗枯萎病香蕉种质筛选[J]. 华南农业大学学报, 2006, 27(1): 9-12.
- CHEN Houbin, FENG Qirui, XU Chunxiang, HUO Rixiang, LI Jianguo, WANG Zehuai. Screening of banana clones for resistance to fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*) [J]. Journal of South China Agricultural University, 2006, 27(1): 9-12.
- [21] 庄西卿,刘长全,曹明华,徐晓新,罗德超. 香蕉新品系“热蕉 11 号”植株及果实性状的观测与分析[J]. 热带作物学报, 2007(3): 5-9.
- ZHUANG Xiqing, LIU Changquan, CAO Minghua, XU Xiaoxin, LUO Dechao. Observation and analysis of plant and fruit characters of banana new line "Haijia 11"[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2007(3): 5-9.
- [22] 韦绍龙,黄素梅,韦莉萍,韦弟,李朝生,覃柳燕,田丹丹,张进忠,周维,龙盛风,杨柳. 香蕉抗(耐)枯萎病新品种桂蕉 9 号的选育及其高产栽培技术[J]. 南方农业学报, 2016, 47(4): 530-536.
- WEI Shaolong, HUANG Sumei, WEI Liping, WEI Di, LI Chaosheng, QIN Liuyan, TIAN Dandan, ZHANG Jinzhong, ZHOU Wei, LONG Shengfeng, YANG Liu. Breeding on new banana variety Guijiao 9 resistant or tolerant to Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense*, race 4) and its high-yield cultivation technologies[J]. Journal of Southern Agriculture, 2016, 47(4): 530-536.
- [23] 刘绍钦,梁张慧,黄焯辉,黄玉香. 抗枯萎病香蕉新品系农科 1 号的选育[J]. 广东农业科学, 2007(1): 30-32.
- LIU Shaoqin, LIANG Zhanghui, HUANG Chihui, HUANG Yuxiang. Breeding of new banana variety Nongke No.1 with resistance to fusarium wilt[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2007(1): 30-32.
- [24] 黄秉智. 广粉 1 号粉蕉[J]. 中国热带农业, 2005(4): 38.
- HUANG Bingzhi. Guangfen No.1 banana [J]. China Tropical Agriculture, 2005(4): 38.
- [25] 黄秉智,杨护,许林兵,易干军,魏岳荣,邱继水. 香蕉优质新品系大丰 2 号的选育[J]. 中国果树, 2006(4): 11-12.
- HUANG Bingzhi, YANG Hu, XU Linbing, YI Ganjun, WEI Yuerong, QIU Jishui. Breeding of a new high quality banana line Dafeng 2[J]. China Fruits, 2006(4): 11-12.
- [26] 陈国华,黄春华,陈新桃,朱恒昌,叶秀彝,胡群英. 高抗性粉蕉新品系“中科红粉”选育及田间示范应用[J]. 热带农业科学, 2010, 30(9): 11-12.
- CHEN Guohua, HUANG Chunhua, CHEN Xintao, ZHU Huanchang, YE Xiulin, HU Qunying. Selection and field demonstration of new banana clone “zhongkehongfen” with high resistance[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2010, 30(9): 11-12.
- [27] 叶春海,丰锋,吕庆芳,李洪波. 香蕉 ^{60}Co 辐射诱变效应的研究[J]. 西南农业大学学报, 2000(4): 301-303.
- YE Chunhai, FENG Feng, LV Qingfang, LI Hongbo. Studies on γ -ray induce mutation effect in banana[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2000(4): 301-303.
- [28] 王安邦. 香蕉抗寒种质创新、筛选及鉴定[D]. 海口: 海南大学, 2013.
- WANG Anbang. Creating, screening and identification of cold-tolerance germplasm in banana (*Musa* AAA Cavendish cv. Brazil)[D]. Haikou: Hainan University, 2013.
- [29] 黄旭. 香蕉辐射诱变株系性状观察及品质鉴定[D]. 海口: 海南大学, 2015.
- HUANG Xu. Morphological observation and quality research in banana radiation lines[D]. Haikou: Hainan University, 2015.
- [30] 郭建辉. 香蕉新株系“漳蕉 8 号”的选育[J]. 热带作物学报, 2003(4): 6-9.
- GUO Jianhui. Breeding of a new banana line "Zhuojia No. 8"[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2003(4): 6-9.
- [31] 胡玉林,谢江辉,江新华,左雪冬,周红霞. 威廉斯香蕉 8818 及其抗枯萎病突变体的细胞学与组织学研究[J]. 果树学报, 2008, 25(6): 877-880.
- HU Yulin, XIE Jianghui, JIANG Xinhua, ZUO Xuedong, ZHOU Hongxia. Cytological and histological studies of Williams banana cultivar and its resistant mutant to banana fusarium wilt disease[J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(6): 877-880.
- [32] 孙嘉曼,卢江,韦绍龙,韦弟,李朝生,张进忠. 不同浓度秋水仙素对二倍体野生蕉的多倍体诱导[J]. 西南农业学报, 2017, 30(9): 2097-2100.
- SUN Jiaman, LU Jiang, WEI Shaolong, WEI Di, LI Chaosheng, ZHANG Jinzhong. Polyploid induction of diploid wild banana by different concentrations colchicine[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(9): 2097-2100.
- [33] 徐春香,陈佳越,潘晓,王泽槐,陈厚彬. 利用胚性细胞悬浮系研究香蕉枯萎病抗性离体筛选技术[J]. 果树学报, 2008, 25(5): 686-690.
- XU Chunxiang, CHEN Jiayue, PAN Xiao, WANG Zehuai, CHEN Houbin. Study on *in vitro* screening technique for mutants resistant to Fusarium wilt through embryogenic cell suspension of banana (*Musa* spp. AAA group)[J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(5): 686-690.
- [34] 黄霞,黄学林,王鸿鹤,李筱菊. 果用香蕉薄片外植体植株再生的研究[J]. 园艺学报, 2001, 28(1): 19-24.
- HUANG Xia, HUANG Xuelin, WANG Honghe, LI Xiaoju. Studies on the plant regeneration from the micro cross sections of banana[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28(1): 19-24.
- [35] 张妙霞. 香蕉与龙眼转化受体系统建立及转化 *PEAS* 基因初步研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2004.
- ZHANG Miaoxia. Establishment of banana and longan transgenic receptor system and the preliminary study on the transformation of the *PEAS* Gene[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2004.

- [36] 徐春香,李华平,肖火根,范怀忠. 香蕉分生小球体途径胚性细胞悬浮系的建立[J]. 园艺学报,2003,30(5): 580-582.
XU Chunxiang, LI Huaping, XIAO Huogen, FAN Huaizhong. Establishment of embryogenic cell suspensions from meristematic globules of *Musa* spp.[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(5): 580-582.
- [37] 肖望,黄霞,魏岳荣,赵杰堂,戴雪梅,黄学林. ‘过山香’香蕉原生质体培养及植株再生[J]. 园艺学报,2008,35(6): 873-878.
XIAO Wang, HUANG Xia, WEI Yuerong, ZHAO Jietang, DAI Xuemei, HUANG Xuelin. Plant regeneration from protoplast culture of *Musa* AAB Silk cv. Guoshanxiang[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(6): 873-878.
- [38] 李敬阳,张建斌,徐碧玉,金志强. 香蕉转化中的抗褐化及再生研究[J]. 生物技术通报,2008(5): 115-117.
LI Jingyang, ZHANG Jianbin, XU Biyu, JIN Zhiqiang. Regeneration from decreased browning of explants from banana male flower by agrobacterium tumefaciens mediated gene transformation[J]. Biotechnology Bulletin, 2008 (5): 115-117.
- [39] 胡春华,邓贵明,孙晓玄,左存武,李春雨,邝瑞彬,杨乔松,易干军. 香蕉 CRISPR/Cas9 基因编辑技术体系的建立[J]. 中国农业科学,2017,50(7): 1294-1301.
HU Chunhua, DENG Guiming, SUN Xiaoxuan, ZUO Cunwu, LI Chunyu, KUANG Ruibin, YANG Qiaosong, YI Ganjun. Establishment of an efficient CRISPR/Cas 9-mediated gene editing system in banana[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(7): 1294-1301.
- [40] ZHANG L, YUAN L B, STAEHELIN C, LI Y, RUAN J X, LIANG Z W, XIE Z P, WANG W, XIE J H, HUANG S Z. The LYSIN MOTIF-CONTAINING RECEPTOR-LIKE KINASE 1 protein of banana is required for perception of pathogenic and symbiotic signals[J]. New Phytologist, 2019, doi.org/10.1111/nph.15888.
- [41] ZHANG L, ZHOU D, HU H, LI W, HU Y, XIE J H, HUANG S Z, WANG W. Genome-wide characterization of a *SRO* gene family involved in response to biotic and abiotic stresses in banana (*Musa* spp.)[J]. BMC Plant Biology, 2019, 19(1): 211.
- [42] WEI Y X, LIU W, HU W, LIU G Y, WU C J, LIU W, ZENG H Q, HE C Z, SHI H T. Genome-wide analysis of autophagy-related genes in banana highlights *MaATG8s* in cell death and autophagy in immune response to *Fusarium* wilt[J]. Plant Cell Reports, 2017, 36(8): 1237-1250.
- [43] LI W B, LI C Q, LI S X, PENG M. Long noncoding RNAs that respond to *Fusarium oxysporum* infection in ‘Cavendish’ banana (*Musa acuminata*) [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 16939.
- [44] SONG S, XU Y, HUANG D M, ASHRAF M A, LI J Y, HU W, JIN Z Q, ZENG C Y, TANG F L, XU B Y, ZENG H C, LI Y J, XIE J H. Identification and characterization of miRNA169 family members in banana (*Musa acuminata* L.) that respond to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* infection in banana cultivars [J]. Peer J, 2018, 6: e6209.
- [45] DOU T X, SHAO X H, HU C H, LIU S W, SHENG O, BI F C, DENG G M, DING L J, LI C Y, DONG T, GAO H J, HE W D, PENG X X, ZHANG S, HUO H Q, YANG Q S, YI G J. Host-induced gene silencing of *Foc TR4 ERG6/11* genes exhibits superior resistance to *Fusarium* wilt of banana[J]. Plant Biotechnology Journal, 2019, 1-3.
- [46] 柯月华. 抗枯萎病香蕉品种‘粉杂1号’的特性及栽培技术[J]. 中国果树, 2017(5): 83-86.
KE Yuehua. Characteristics and cultivation techniques of banana variety ‘Fuza No.1’ with resistance to fusarium wilt[J]. Chinese Fruit Tree, 2017(5): 83-86.
- [47] 周登博,井涛,起登凤,冯仁军,段雅捷,陈宇丰,王飞,张锡炎,谢江辉. 抗香蕉枯萎病菌的卢娜林瑞链霉菌的分离及防效鉴定[J]. 园艺学报, 2017, 44(4): 664-674.
ZHOU Dengbo, JING Tao, QI Dengfeng, FENG Renjun, DUAN Yajie, CHEN Yufeng, WANG Fei, ZHANG Xiyan, XIE Jianghui. Isolation and identification of streptomycetes *Lunalinharesii* and its control effect on the banana fusarium wilt Disease[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2017, 44(4): 664-674.
- [48] 起登凤,邹良平,周登博,冯仁军,高祝芬,张锡炎. GA1-2 菌株的分离鉴定及其对香蕉尖孢镰刀菌的抑菌效果[J]. 植物保护学报, 2017, 44(5): 809-816.
QI Dengfeng, ZOU Liangping, ZHOU Dengbo, FENG Renjun, GAO Zhufen, ZHANG Xiyan. Isolation, identification of strain GA1-2 and its antifungal activity against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*[J]. Journal of Plant Protection, 2017, 44(5): 809-816.
- [49] LI X S, BAI T T, LI Y F, RUAN X L, LI H P. Proteomic analysis of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4-inoculated response to *Fusarium* wilts in the banana root cells[J]. Proteome Science, 2013, 11(1): 41.
- [50] DONG H H, FAN H Y, LEI Z, WU C, ZHOU D B, LI H P. Histological and gene expression analyses in banana reveals the pathogenic differences between races 1 and 4 of banana fusarium wilt pathogen[J]. Phytopathology, 2019, PHYTO- 10- 18- 0384-R.
- [51] FAN H Y, DONG H H, XU C X, LIU J, HU B, YE J W, MAI G W, LI H P. Pectin methylesterases contribute the pathogenic differences between races 1 and 4 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 13140.
- [52] LI W B, LI C Q, SUN J B, PENG M. Metabolomic, biochemical, and gene expression analyses reveal the underlying responses of resistant and susceptible banana species during early infection with *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*[J]. Plant Disease, 2017, 101(4): 534-543.
- [53] 秦艳梅,张志红,刘春卯. 钾肥与生物有机肥配施防治香蕉枯萎病效果初探[J]. 植物保护, 2017, 43(3): 65-69.
QIN Yanmei, ZHANG Zhihong, LIU Chunmao. Effects of the combination of bio-fertilizer and potassium fertilizer on control

- of banana Fusarium wilt[J]. *Plant Protection*, 2017, 43(3): 65-69.
- [54] 漆艳香,张欣,彭军,谢艺贤. 植物水提液和拮抗菌对香蕉枯萎病及土壤微生物的影响[J]. *西南农业学报*, 2017, 30(5): 1092-1096.
- QI Yanxiang, ZHANG Xin, PENG Jun, XIE Yixian. Effects of aqueous extracts of some plants and antifungal strains on banana fusarium wilt disease and soil microorganisms[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 30(5): 1092-1096.
- [55] 李华平,李云锋,聂燕芳. 香蕉枯萎病的发生及防控研究现状[J]. *华南农业大学学报*, 2019, 40(5): 1-9.
- LI Huaping, LI Yunfeng, NIE Yanfang. Research status of occurrence and control of fusarium wilt of banana[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2019, 40(5): 1-9.
- [56] 庄伊美. 香蕉营养与施肥[J]. *福建果树*, 1990(1): 36-43.
- ZHUANG Yimei. Banana nutrition and fertilization[J]. *Fujian Fruits*, 1990(1): 36-43
- [57] 周修冲,徐培智,姚建武,梁考衍,许利新. 高产矮香蕉需肥规律及施肥研究[J]. *土壤肥料*, 1991(2): 10-12.
- ZHOU Xiuchong, XU Peizhi, YAO Jianwu, PEI Kaoyan, XU Lixin. Study on fertilization law and fertilization of high yield short banana[J]. *Soil and Fertilizer*, 1991(2): 10-12.
- [58] 张立丹,樊小林. 香蕉各器官及整株钙镁累积量的动态变化规律研究[C]//中国植物营养与肥料学会. 2010年学术年会论文集., 2010.
- ZHANG Lidan, FAN Xiaolin. Dynamic changes of calcium and magnesium accumulation in various organs and whole plants of banana[C]// Proceedings of 2010 annual meeting of Chinese Society of Plant nutrition and Fertilizers. 2010.
- [59] 刘芳,喻建刚,樊小林,王孝强. 香蕉不同器官中 NPK 含量及其积累规律[J]. *果树学报*, 2011, 28(2): 340-343.
- LIU Fang, YU Jiangang, FAN Xiaolin, WANG Xiaoqiang. Research on Nitrogen, Phosphorus and Potassium contents and concentration law in banana [J]. *Journal of Fruit Science*, 2011, 28(2): 340-343.
- [60] 杨苞梅,姚丽贤,李国良,周昌敏,何兆桓,涂仕华. 粉蕉矿质元素吸收积累与分配特征[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(6): 1471-1476.
- YANG Baomei, YAO Lixian, LI Guoliang, ZHOU Changmin, HE Zhaohuan, TU Shihua. Absorption, accumulation and distribution of mineral elements in plantain banana[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2013, 19(6): 1471-1476.
- [61] 刘庆虎. 香蕉营养诊断指标及控释配方肥推荐施肥的研究[D]. 广州:华南农业大学, 2011.
- LIU Qinghu. Study on banana nutritional diagnostic index and recommended fertilization of controlled release fertilizer[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2011.
- [62] 刘延涛. 香蕉控释配方肥控释养分分配比及其应用效果研究[D]. 广州:华南农业大学, 2011.
- Liu Yantao. Study on nutritional ratio of controlled release compound fertilizer in banana and its application effect[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2011.
- [63] 臧小平,邓兰生,郑良永,张承林,魏长宾,孙光明. 不同灌溉施肥方式对香蕉生长和产量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(2): 484-487.
- ZANG Xiaoping, DENG Lansheng, ZHENG Liangyong, ZHANG Chenglin, WEI Changbin, SUN Guangming. Effects of different fertigation methods on growth and yield of banana[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(2): 484-487.
- [64] 李宝深. 滴灌蕉园养分综合管理技术研究与应用[D]. 北京:中国农业大学, 2015.
- LI Baoshen. Research and application of comprehensive management technology for drop irrigation in banana garden[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015.
- [65] 何应对,刘永霞,舒海燕,韩丽娜,王必尊. 不同耕作措施对香蕉产量和效益的影响[J]. *热带农业科学*, 2015, 35(7): 10-13.
- HE Ying, LIU Yongxia, SHU Haiyan, HAN Lina, WANG Bizun. Effects of different tillage measures on banana yield and benefits [J]. *Tropical Agricultural Sciences*, 2015, 35(7): 10-13.
- [66] 洪珊,刷虹伶,阮云泽,卢明,王蓓蓓,赵艳,邓燕,尹黎燕. 茄子与香蕉轮作配施生物有机肥对连作蕉园土壤微生物区系的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(1): 78-85.
- HONG Shan, JU Hongling, RUAN Yunze, LU Ming, WANG Beibei, ZHAO Yan, DENG Yan, YIN Liyan. Effect of eggplant-banana rotation with bioorganic fertilizer treatment on soil microflora in banana continuous cropping orchard [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(1): 78-85.
- [67] 林威鹏,曾莉莎,吕顺,伍朝荣,王芳,周建坤,刘文清,蔡昆争,杜彩娟,夏玲. 香蕉-甘蔗轮作模式防控香蕉枯萎病的持续效果与土壤微生态机理(II)[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2019, 27(03): 348-357.
- LIN Weipeng, ZENG Lisha, LÜ Shun, WU Chaorong, WANG Fang, ZHOU Jiankun, LIU Wenqing, CAI Kunzheng, DU Caixian, XIA Ling. Continual effect and mechanism of banana-sugarcane plantation on control of Fusarium wilt(II)[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(3): 348-357
- [68] 赖朝圆,杨越,陶成圆,王一鸣,郭继阳,王蓓蓓,阮云泽,赵艳. 不同作物-香蕉轮作对香蕉生产及土壤肥力质量的影响[J]. *江苏农业学报*, 2018, 34(2): 299-306.
- LAI Chaoyuan, YANG Yue, TAO Chengyuan, WANG Yiming, GUO Jiyang, WANG Wei, QI Yunze, ZHAO Yan. Effects of different crops-banana rotation on banana production and soil fertility quality[J]. *Journal of Jiangsu Agricultural University*, 2018, 34(2): 299-306.
- [69] 韦弟,李杨瑞,邸南南,闭志强,卜朝阳. 乙烯利对香蕉抗寒性的影响[J]. *热带作物学报*, 2009, 30(12): 1789-1792.
- WEI Di, LI Yangrui, YAN Nannan, SHU Zhiqiang, BU Chaoyang. Effects of ethephon on cold resistance of banana[J]. *Journal of Tropical Crops*, 2009, 30(12): 1789-1792.
- [70] 牟海飞. 香蕉寒害生理指标变化及防寒越冬栽培关键技术的研究[D]. 广州:华南农业大学, 2011.

- 研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- MOU Haifei. Study on the change of physiological indexes of banana cold damage and the key techniques of cold-resistant winter cultivation [D]. Nanning: Guangxi University, 2012.
- [71] 石宝宝, 石复习, 陈军, 蒋宗谨, 刘世浩. 双流体喷嘴雾化控制特性研究[J]. 农机化研究, 2019, 41(1): 174-179.
- SHI Baobao, SHI Fuxi, CHEN Jun, JIANG Zongjin, LIU Shihao. Study on atomization control characteristics of two-fluid nozzle[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2019, 41(1): 174-179.
- [72] 刘彪, 肖宏儒, 宋志禹, 梅松. 果园有机肥旋切变深施肥力学分析与试验[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(1): 230-236.
- LIU Wei, XIAO Hongru, SONG Zhiyu, MEI Song. Mechanical analysis and experiment of orchard organic fertilizer rotary cutting and deep fertilizer application machine[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(1): 230-236.
- [73] 庄逸锋, 严斌, 李晓锟, 周举, 李进朝, 郭艳玲. 背负式水果采摘机设计[J]. 林业机械与木工设备, 2018, 46(5): 41-44.
- ZHUANG Yifeng, YAN Bin, LI Xiaokun, ZHOU Ju, LI Jinchao, GUO Yanling. Design of a backpack fruit picking machine[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2018, 46(5): 41-44.
- [74] 陈舰, 华群. 一种按压式水果枝干切断机构的设计[J]. 南方农机, 2018, 49(13): 87-88.
- CHEN Jian, HUA Qun. Design of a pressing fruit branch cutting mechanism [J]. Southern Agricultural Machinery, 2018, 49(13): 87-88.
- [75] 初广丽, 张伟, 王延杰, 丁南南, 刘艳滢. 基于机器视觉的水果采摘机器人目标识别方法[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(2): 83-88.
- CHU Guangli, ZHANG Wei, WANG Yanjie, DING Nannan, LIU Yanying. A method of fruit picking robot target identification based on machine vision[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018, 39(2): 83-88.
- [76] 许迎春, 刘英, 范开欣, 贺志洋, 万芳新. 基于线扫描及其参数空间的圆形果实识别[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(09): 51-55.
- XU Yingchun, LIU Ying, FAN Kaixin, HE Zhiyang, WAN Fangxin. Round fruit recognition based on line scanning and its parameter space[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018, 39(9): 51-55.
- [77] 刘佛良, 杨晓彬, 吴伟斌, 洪添胜, 张震邦, 陈浩杨. 7SGH 山地果园双轨运输机振动性能测试与分析[J]. 河北农业大学学报, 2018, 41(5): 124-129.
- LIU Foliang, YANG Xiaobin, WU Weibin, HONG Tiansheng, ZHANG Zhengbang, CHEN Haoyang. Vibration performance test and analysis of 7SGH mountain orchard dual-track transporter[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2018, 41(5): 124-129.
- [78] 欧阳爱国, 吴建, 刘燕德, 胡军, 姜飞. 大坡度山地果园运输机行走机构设计与试验[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(10): 217-220.
- OUYANG Aiguo, WU Jian, LIU Yande, HU Jun, JIANG Fei. Design and experiment of running gear for large slope orchard transport plane[J]. Jiangsu Agriculture Sciences, 2018, 46(10): 217-220.
- [79] 姜飞. 牵引式果园运输机断绳制动锁钳优化设计与性能分析[D]. 南昌: 华东交通大学, 2018.
- JIANG Fei. Optimization design and performance analysis of broken rope braking lock clamp of orchard traction transporter [D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2018.
- [80] LIU X J, SHIOMI S, NAKATSUKA A, KUBO Y, NAKAMURA R, INABA A. Characterization of ethylene biosynthesis associated with ripening in banana fruit[J]. Plant Physiology, 1999, 121(4): 1257-1265.
- [81] XIAO Y Y, CHEN J J, KUANG J F, SHAN W, XIE H, JIANG Y M, LU W J. Banana ethylene response factors are involved in fruit ripening through their interactions with ethylene biosynthesis genes[J]. Journal of Experimental Botany, 2013, 64(8): 2499-2510.
- [82] HAN Y C, KUANG J F, CHEN J Y, LIU X C, XIAO Y Y, FU C C, WANG J N, WU K Q, LU W J. Banana transcription factor MaERF11 recruits histone deacetylase MaHDA1 and represses the expression of MaACO1 and expansins during fruit ripening [J]. Plant Physiology, 2016, 171(2): 1070-1084.
- [83] SHAN W, KUANG J F, CHEN L, XIE H, PENG H H, XIAO Y Y, LI X P, CHEN W X, HE Q G, CHEN J Y, LU W J. Molecular characterization of banana NAC transcription factors and their interactions with ethylene signalling component EIL during fruit ripening[J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63(14): 5171-5187.
- [84] KUANG J F, CHEN J Y, LIU X C, HAN Y C, XIAO Y Y, SHAN W, TANG Y, WU K Q, HE J X, LU W J. The transcriptional regulatory network mediated by banana (*Musa acuminata*) dehydration - responsive element binding (MaDREB) transcription factors in fruit ripening[J]. New Phytologist, 2017, 214(2): 762-781.
- [85] ZHAO M L, WANG J N, SHAN W, FAN J G, KUANG J F, WU K Q, LI X P, CHEN W X, HE F Y, CHEN J Y, LU W J. Induction of jasmonate signalling regulators MaMYC2s and their physical interactions with MaICE1 in methyl jasmonate induced chilling tolerance in banana fruit[J]. Plant, Cell & environment, 2013, 36(1): 30-51.
- [86] LI D, LIMWACHIRANON J, LI L, DU R X, LUO Z S. Involvement of energy metabolism to chilling tolerance induced by hydrogen sulfide in cold-stored banana fruit[J]. Food Chemistry, 2016, 208: 272-278.
- [87] WANG Y S, LUO Z S, MAO L C, YING T J. Contribution of polyamines metabolism and GABA shunt to chilling tolerance induced by nitric oxide in cold-stored banana fruit[J]. Food

- chemistry, 2016, 197: 333-339.
- [88] PENG H H, SHAN W, KUANG J F, LU W J, CHEN J Y. Molecular characterization of cold-responsive basic helix-loop-helix transcription factors MabHLHs that interact with MaICE1 in banana fruit[J]. *Planta*, 2013, 238(5): 937-953.
- [89] GE Y, HU K D, WANG S S, HU L Y, CHEN X Y, LI Y H, YANG Y, YANG F, ZHANG H. Hydrogen sulfide alleviates postharvest ripening and senescence of banana by antagonizing the effect of ethylene[J]. *PLoS One*, 2017, 12(6): e0180113.
- [90] HU W, YANG H, TIE W W, YAN Y, DING Z H, LIU Y, WU C L, WANG J S, REITER R J, TAN D X, SHI H T, XU B Y, JIN Z Q. Natural variation in banana varieties highlights the role of melatonin in postharvest ripening and quality[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(46): 9987-9994.
- [91] 陈智理, 杨昌鹏, 梁艳娜, 莫红宇, 李梅. 澄清型香蕉汁加工工艺的研究[J]. *广西轻工业*, 2007, 23(01): 9-10.
CHEN Zhili, YANG Changpeng, LIANG Yanna, MO Hongyu, LI Mei. Study on the processing technology of clarified banana juice[J]. *Guangxi Light Industry*, 2007, 23(01): 9-10.
- [92] 饶雪甜, 尹洁琼, 蔡锦红, 马若影, 李雪. 青香蕉抗性淀粉提取工艺优化及物理特性研究[J]. *食品工业*, 2017, 38(2): 26-31.
RAO Xuetian, YIN Jieqiong, CAI Jinhong, MA Ruoying, LI Xue. Optimization of extraction technology and physical properties of resistant starch from green banana[J]. *Food Industry*, 2017, 38(2): 26-31.
- [93] 郝欣, 陈菲, 王娟. 香蕉抗性淀粉饼干的加工工艺研究[J]. *食品科技*, 2019, 44(01): 223-227.
HAO Xin, CHEN Fei, WANG Juan. Study on the processing of banana resistant starch biscuit[J]. *Food Science & Technology*, 2019, 44(01): 223-227.
- [94] 李志春, 孙健, 游向荣, 李杰民, 零东宁, 张雅媛, 盛金凤, 郑凤锦. 香蕉茎叶青贮饲料对波尔山羊血液生化指标的影响[J]. *中国饲料*, 2015(16): 37-39.
LI Zhichun, SUN Jian, YOU Xiangrong, LI Jiemin, LING Dongning, ZHANG Yayuan, SHENG Jinfeng, ZHENG Fengjin. Effects of banana stem and leaf silage on blood biochemical parameters of Boer goats[J]. *China Feed*, 2015(16): 37-39.
- [95] 郭志祥, 孔令明, 曾莉, 刘建勇, 番华彩. 香蕉茎叶青贮饲料饲喂不同品种、不同日龄肉牛育肥试验效果[J]. *畜牧兽医科技信息*, 2018(2): 28-29.
GUO Zhixiang, KONG Lingming, ZENG Li, LIU Jianyong, FAN Huacai. Effect of banana stem and leaf silage on fattening test of different breeds and different ages of beef cattle[J]. *Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2018(2): 28-29.
- [96] 邹雨坤, 李光义, 李勤奋, 李赞婷, 田路园, 张红燕, 侯宪文. 不同还田方式下香蕉茎秆的腐解及养分释放特征[J]. *天津农业科学*, 2014, 20(10): 60-64.
ZOU Yukun, LI Guangyi, LI Qinfen, LI Yunting, TIAN Luyuan, ZHANG Hongyan, HOU Xianwen. Characteristics of decomposing and nutrients releasing of banana stalk under different ways returned to field[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2014, 20(10): 60-64.
- [97] 徐树英, 谭蔚, 张玉苍. 香蕉茎秆酶法脱胶工艺及其脱胶纤维性能[J]. *化工学报*, 2015, 66(9): 3753-3761.
XU Shuying, TAN Wei, ZHANG Yucang. Enzyme degumming process of banana pseudostem fibers and characterization of degummed fibers[J]. *CIESC Journal*, 2015, 66(9): 3753-3761.
- [98] SHENG Zhanwu, DAI Haofu, PAN Siyi, WANG Hui, HU Yingying, MA Weihong. Isolation and characterization of an α -glucosidase inhibitor from *Musa* spp. (Baxijiao) flowers[J]. *Molecules*, 2014, 19(7): 10563-10573.