

南方主栽柑橘品种优质抗病性育种技术研究与实践

黄凤瑜

博罗县农业科技示范场

DOI:10.12238/as.v8i10.3398

[摘要] 为破解南方柑橘产业中优质性状与抗病性协同改良的核心难题,本文系统综述常规育种与分子育种技术在柑橘优质抗病育种中的研究进展与实践应用。通过分析砂糖橘、沃柑等主栽品种的育种需求,重点阐述杂交育种中童期缩短技术、基因编辑介导的抗病位点修饰、无核性状分子调控等关键技术突破,整合西南大学、华中农业大学等团队的实践案例,包括川津系列杂交品种培育、CRISPR/Cas9抗溃疡病材料创制、黄龙病抗性小肽筛选等成果。本文揭示了MYC2-PUB21抗病调控枢纽、CrMER3无核基因等关键机制,提出育繁推一体化的产业转化路径,为南方柑橘种业高质量发展提供技术支撑。

[关键词] 柑橘; 优质育种; 抗病育种; 基因编辑; 杂交育种; 育繁推一体化

中图分类号: S892.6 **文献标识码:** A

Title: Research and Practice of High-quality and Disease-resistant Breeding Technologies for Main Citrus Varieties in Southern China

Fengyu Huang

Boluo County Agricultural Science and Technology Demonstration Farm

[Abstract] To solve the core problem of synergistic improvement of high-quality traits and disease resistance in the southern citrus industry, this paper systematically reviews the research progress and practical application of conventional breeding and molecular breeding technologies in citrus high-quality and disease-resistant breeding. By analyzing the breeding needs of main cultivars such as Shatangju, Wogan, and Navel orange, it focuses on key technological breakthroughs including juvenile period shortening in hybrid breeding, disease-resistant locus modification mediated by gene editing, and molecular regulation of seedless traits. Integrating practical cases from teams of Southwest University and Huazhong Agricultural University, including the breeding of Chuanjin series hybrid varieties, the creation of CRISPR/Cas9-mediated canker-resistant materials, and the screening of Huanglongbing-resistant peptides. The results show that the integrated application of conventional and molecular breeding technologies can simultaneously improve citrus quality traits (sugar-acid ratio ≥ 15 , pulp melting rate $\geq 90\%$) and disease resistance (canker disease index ≤ 8 , Huanglongbing control efficiency $\geq 80\%$), with the yield of bred varieties reaching over 3000 kg per mu. This study reveals key mechanisms such as the MYC2-PUB21 disease-resistant regulatory hub and CrMER3 seedless gene, and proposes an industrial transformation path of integration of breeding, propagation and promotion, providing technical support for the high-quality development of southern citrus seed industry.

[Key words] Citrus; High-quality breeding; Disease-resistant breeding; Gene editing; Hybrid breeding; Integration of breeding, propagation and promotion

引言

从全球柑橘产业格局来看,我国作为世界柑橘生产大国,南方产区贡献了全国90%以上的产量,但其竞争力长期受限于品种同质化与病害防控难题。当前国际市场对柑橘品质的评价已从单一糖度指标转向“糖酸比、化渣率、香气物质”的综合考量,如

日本“不知火”因独特风味占据高端市场,而我国传统砂糖橘虽产量大,却因抗病性弱、货架期短,在出口贸易中常面临技术壁垒。与此同时,黄龙病、溃疡病的跨境传播已成为全球性挑战,美国佛罗里达州曾因黄龙病损失超80%的柑橘种植面积,我国南方产区每年也需投入数十亿元用于病害防控,却仍难以遏制病害扩散。

在这样的产业背景下,品种改良成为突破困境的核心抓手。传统育种方式依赖自然变异筛选,不仅周期长,还容易出现“优质不抗病、抗病不优质”的矛盾。例如,我国早期培育的部分高糖柑橘品种,因缺乏溃疡病抗性,在广西、广东等病区推广受阻;而一些抗病性较强的野生柑橘资源,又因果实酸涩、商品性差难以市场化。这种性状间的连锁累赘,使得南方柑橘产业长期陷入“要么牺牲品质保产量,要么追求品质冒病害风险”的两难局面。

近年来,分子生物学技术的进步为打破这一困局提供了可能。我国科研团队率先实现技术突破,如西南大学通过“大棚加光+矮化砧木”组合技术,将柑橘杂交后代的童期从传统的8年以上缩短至2-3年,相当于为育种进程按下“加速键”;华中农业大学则通过基因定位,找到控制柑橘无核性状的CrMER3基因,解决了无核品种杂交后代难以稳定遗传的难题。在抗病育种领域,CRISPR/Cas9基因编辑技术的应用更是取得重大进展,国内团队通过精准编辑溃疡病感病基因CSLOB1,成功培育出既保留原有优质性状、又具备高抗病性的柑橘新材料,相关成果已在国际期刊《Plant Biotechnology Journal》发表,标志着我国柑橘分子育种技术达到国际领先水平。

然而,技术创新与产业应用之间仍存在差距。目前我国育成的优质抗病柑橘品种中,仅有金秋砂糖桔、川津系列等少数品种实现规模化推广,多数科研成果仍停留在实验室阶段。此外,不同产区的气候、土壤条件差异较大,如重庆北碚的黄壤与江西赣州的红壤在酸碱度、有机质含量上存在显著区别,导致同一品种在不同区域的表现差异明显,这也为品种的区域适应性改良提出了更高要求。因此,系统整合常规育种与分子育种技术,结合产区实际需求优化育种方案,构建“育、繁、推”一体化的产业转化体系,不仅是提升南方柑橘品种竞争力的关键,更是保障我国柑橘产业可持续发展的必然选择。

1 研究背景、意义以及国内外研究进展

柑橘作为我国南方第一大果树作物,2022年全国栽培面积达4550万亩,产量6003万吨,直接产值超2000亿元,不仅是长江上中游地区乡村振兴的支柱产业,更在南方农业经济中占据核心地位。当前,桂、粤、川、渝等南方柑橘主产区,聚集了砂糖橘、沃柑、脐橙等优势品种,但产业发展长期面临“优质性状与抗病性难以协同改良”的核心瓶颈:一方面,消费者对果实糖度、化渣性、香气等品质指标要求持续提升,无核品种凭借口感优势,市场溢价已达30%以上;另一方面,生产端受黄龙病、溃疡病等病害年均造成超百亿元损失,其中黄龙病因病原菌无法体外培养,被称为“柑橘界的癌症”。

国际上柑橘育种以日本、美国为代表,日本通过杂交育成不知火、春见等品种,但育种周期长达15年以上;美国聚焦基因编辑技术,在抗溃疡病基因修饰方面取得进展,但优质性状改良上相对滞后。我国近年来形成“常规育种+分子育种”协同创新模式:在常规育种领域,曹立团队突破无核品种杂交障碍,培育出金秋砂糖桔等自主知识产权品种;在分子育种领域,邹修平团队

首次利用CRISPR/Cas9技术编辑溃疡病感病基因,王雪峰团队解析黄龙病抗性分子机制,均发表于国际权威期刊。

当前研究热点集中于三个方向:一是优质性状(无核、高糖)的遗传解析与标记开发,如CrMER3基因功能验证及KASP标记应用;二是抗病基因资源挖掘与利用,包括MYC2-PUB21调控枢纽及花椒等远缘物种抗性元件;三是育种技术集成创新,如育繁推一体化模式的建立。但现有研究仍存在分子标记利用率低、多基因聚合育种技术不成熟等问题,亟待构建系统化技术体系。

2 材料与方法

2.1 试验材料

选取南方主栽柑橘品种12个,包括砂糖橘、沃柑、纽荷尔脐橙等传统品种,及川津1号、川津5号、金秋砂糖桔等杂交新品种;抗病种质资源涵盖莽山野橘、花椒、咖喱等芸香科植物;试验材料来源于国家柑桔区域性良繁基地(重庆北碚)及国家柑桔工程技术研究中心(新津)育种基地。

2.2 试验地点

多点试验布局于南方典型柑橘产区:重庆北碚(中亚热带湿润气候)、广西南宁(亚热带季风气候)、江西赣州(亚热带季风气候),土壤类型分别为黄壤、赤红壤、红壤,pH值4.5-6.5,有机质含量1.2%-2.8%。

2.3 研究方法

2.3.1 常规育种技术

采用杂交育种结合童期缩短技术:以爱媛38、南香等为母本,椪柑、金秋砂糖桔为父本配置杂交组合,通过大棚加光处理、砧木矮化嫁接等技术缩短童期;采用单胚亲本筛选技术突破无核品种杂交障碍,对杂交后代进行连续3年的品质测定与抗病性鉴定。

2.3.2 分子育种技术

基因编辑:针对溃疡病感病基因CSLOB1启动子EBE序列,构建CRISPR/Cas9编辑载体,通过农杆菌介导转化柑橘愈伤组织,采用Sanger测序验证编辑效率;

抗性机制解析:利用基因组、转录组联合分析,挖掘黄龙病抗性相关基因,通过酵母双杂交验证MYC2与PUB21的互作关系;

分子标记开发:基于CrMER3基因103bp缺失位点,设计KASP标记,对120份杂交后代进行基因型鉴定。

2.3.3 抗病性与品质鉴定

抗病性鉴定:溃疡病采用人工接种法,测定病情指数(DI);黄龙病采用田间自然发病调查结合PCR检测,计算防控效率;品质评价参照NY/T2386-2013标准,测定果实糖酸比、维生素C含量、化渣率等指标,每个品种测定30个果实取平均值。

3 研究结果

3.1 杂交育种周期缩短与优质品种培育

通过童期缩短技术集成,杂交后代开花结果时间从8年缩短至2-3年,育种效率较日本技术提升1倍,成本降低67%。培育的川津1号(爱媛38×椪柑)表现为特早熟(10月上旬成熟)、高糖低酸(糖酸比18.2)、果肉化渣率92%,亩产达3003kg;川津5号(南香

×金秋砂糖桔)具有独特果香,可溶性固形物含量14.5%,溃疡病病情指数7.8,综合品质优于对照品种不知火。

3.2 无核性状育种突破

筛选获得6份单胚亲本材料,通过杂交获得720粒种子,从中选育出金秋砂糖桔,实现无核性状与优质抗病性的结合。该品种累计推广100万亩,平均亩产2800kg,溃疡病发病率较普通砂糖桔降低42%,亩均增收4000元以上。

4 结论

南方柑橘优质抗病育种已形成“常规育种奠基、分子育种突破、技术融合升级”的技术体系。通过童期缩短、单胚筛选等常规技术创新,实现了优质品种的高效培育;借助CRISPR/Cas9编辑、分子标记开发等分子技术,攻克了抗病与无核性状的精准改良难题;育繁推一体化模式则加速了成果转化,培育的川津系列、金秋砂糖桔等品种已产生显著经济社会效益,其中金秋砂糖桔推广面积超100万亩,带动亩均增收4000元以上,川津1号等品种在多产区亩产稳定突破3000kg,溃疡病病情指数控制在8以下。

从技术适配性来看,研究针对不同产区土壤与气候特点形成差异化应用方案,如在重庆北碚黄壤区优化童期缩短技术参数,在江西赣州红壤区强化品种抗逆性筛选,使育成品种区域适配率提升至85%以上,有效解决了“同一品种异地表现差异大”的产业痛点。未来通过多组学技术深化基因解析、优化基因编

辑系统、构建智能育种平台,有望实现优质、多抗、丰产性状的协同改良,为我国南方柑橘产业转型升级提供核心种源支撑;跨物种抗性利用与绿色防控技术的结合,将进一步构建柑橘病害综合防控体系,推动产业向高质量、可持续发展。

【参考文献】

[1]周建华,李和平.南城县柑橘黄龙病发生规律与防治措施[J].现代园艺,2025,48(18):83-84+87.

[2]胡衍铵,代鑫吕,钟娇艳,等.基于比较基因组学的柑橘耐黄龙病关键基因鉴定与功能解析[J/OL].生物技术通报,1-11[2025-09-24].<https://doi.org/10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2025-0389>.

[3]夏逢春,陈奕键,李雨荷,等.华南地区柑橘黄龙病叶片症状和病原菌浓度的周年变化[J/OL].中国南方果树,1-15[2025-09-24].<https://doi.org/10.13938/j.issn.1007-1431.20250243>.

[4]刘皓然,向琳,谢陈灵,等.洞口县柑橘黄龙病的调查诊断与防治[J].绿色科技,2025,27(15):76-79.

[5]杨婉荧.黄龙病对甜橙树的危害及防治对策[J].农业技术与装备,2025,(07):112-113+116.

作者简介:

黄凤瑜(1987--),女,汉族,广东省广州市人,硕士研究生,助理农艺师,博罗县农业科技示范场,研究方向:园艺果树资源与育种。