

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2024.03.009

柑橘裂果的成因与防治措施探讨

余靖, 李梦, 曹立, 凌丽俐,
彭良志, 淳长品, 付行政

西南大学 柑桔研究所, 重庆 400712

摘要: 随着育种技术的进步, 近年来柑橘优新品种不断增多, 但部分新品种由于裂果率高严重制约了其大面积种植和推广。本文通过梳理裂果相关的研究报告以及总结田间的观察数据, 系统分析了品种、砧木、气候因子、果皮结构、果实特性、营养元素、激素水平与柑橘裂果的关系; 此外, 基于柑橘裂果成因的分析, 提出了可能有效的综合防治措施, 为柑橘生产提供技术参考。

关键词: 柑橘; 裂果; 果皮结构; 防治措施

中图分类号: S436.661

文献标志码: A

文章编号: 2097-1354(2024)03-0078-08

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Discussion on the Causes and Prevention Measures of Citrus Fruit Cracking

YU Jing, LI Meng, CAO Li, LING Lili, PENG Liangzhi,
CHUN Changpin, FU Xingzheng

Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China

Abstract: With the advancement of breeding technology, there has been a continuous increase in release of new and superior citrus varieties in recent years. However, for some of these new varieties, the high incidence of fruit cracking severely limits their large-scale cultivation and promotion. Based on the review of fruit cracking relevant research reports and summary of field observation data, this article systematically analyzes the relationship between variety, rootstock, climatic factors, fruit peel structure, fruit characteristics, nutritional elements, hormone levels, and citrus fruit cracking. Additionally, considering the analysis of the causes of citrus fruit cracking, possible effective and comprehensive prevention measures are proposed, providing

收稿日期: 2024-03-26

基金项目: 国家自然科学基金(32072550)

作者简介: 余靖, 硕士研究生, 主要从事柑橘生理及分子研究; 共同第一作者: 李梦, 硕士研究生, 主要从事柑橘栽培生理研究。

通信作者: 付行政, 博士, 教授。

technical references for citrus production.

Key words: citrus; fruit cracking; pericarp structure; prevention measures

柑橘是我国重要果树之一,1983至2021年,我国柑橘栽培面积增长近8倍,产量增长43倍,面积和产量均为我国第一大水果.据国家统计局统计,2021年我国柑橘生产面积和产量分别为283.6万 hm^2 和5595.61万t,分别占我国水果总面积和总产量的22%和25%,约占全球柑橘总面积和总产量的1/4.虽然我国柑橘产业增长快速,但在生产中也存在诸多问题,如裂果、枯水、日灼、营养失调等生理性病害以及黄龙病、溃疡病、红蜘蛛、果实蝇等生物病虫害,其中裂果近几年在部分柑橘优新品种上发生严重,极大制约了产业发展.

裂果是指果实生长发育过程中发生开裂的生理现象,主要是因为果皮与果肉组织间生长失衡^[1].柑橘裂果分为内裂和外裂两种类型(图1).柑橘外裂症状较明显,容易观察,大多始于果实膨大期或成熟期,一般发生于果面或果顶部,受品种差异影响常表现为横裂或纵裂^[2].柑橘内裂在前期无明显特征,在发育后期果面出现陷痕时才能辨别,内裂先发生于果皮中心柱或维管木质部外缘,逐渐延伸至果顶部,严重时甚至会延伸到果实表面导致外裂的发生.引起果实内裂的因素有很多,其中,最主要因素是由于种子的高度败育不能正常产生赤霉素,进而导致果皮和囊瓣中赤霉素浓度差异较大,果皮和囊瓣的生长速率不一致,使果实中轴出现断裂从而引发果实内裂.早期通过对福建本地度尾蜜柚进行授粉试验,结果表明授粉能使果实内种子以及中轴正常发育,减少内裂果的发生^[3].



箭头所指的凹陷处即为果皮内裂痕.

图1 柑橘果实的外裂(A)和内裂(B)

随着育种技术的不断进步和种植者对高效益的追求,近10年国内选育、引进和推广了一大批特色优新品种,如“明日见”“甘平”“阳光一号桔柚”等,极大地丰富了柑橘的种类,满足了市场的需求.但在生产过程中发现,这些优异的品种裂果十分严重,如“明日见”裂果率可达全树挂果量的50%~90%,严重时可超过90%;甘平裂果率达40%~80%;“阳光一号桔柚”裂果率达30%~70%.其他一些正常情况下裂果率较低的常规品种如脐橙、血橙、金秋砂糖橘、沃柑等,在特殊气候年份裂果问题也十分突出.柑橘果实开裂后既影响外观,又因易受病菌感染而出现烂果、落果,无食用价值,给果农造成重大经济损失,极大限制了新品种的大面积推广种植.为此,本文基于前人对裂果的研究进展以及相关生产经验和试验情况,系统分析总结柑橘裂果的成因并提出可能有效的综合防治措施,为柑橘生产提供指导.

1 柑橘裂果成因

裂果的发生是一个极为复杂的过程,影响柑橘果实裂果的因素较多.目前的研究显示,裂果主要是由遗传特性、外界环境、果皮的组织力学性能、果皮结构、矿物营养含量、内源激素含量以及果园栽培管理方式等诸多因素共同作用的结果,其中,遗传因素以及外界环境变化占据了主导地位.

1.1 品种、砧木与裂果的关系

1.1.1 品种与裂果的关系

在生产种植过程中发现大部分的柑橘品种果实都可能会出现裂果,但不同品种的裂果比例和程度差异较大^[4].李彩等^[5]统计了同一果园中12个不同柑橘品种的果实的裂果率,发现不同柑橘品种之间裂果率差异显著,其中塔罗科血橙和不知火桔橙的裂果率大于4.50%,显著高于其他柑橘品种,但是同一果园的优力克柠檬和清见橘橙没有出现裂果现象;后续进一步对同一试验园中的纽荷尔脐橙、485-28(新品种编号)、温州蜜柑等10个柑橘品种裂果情况进行调查统计,各品种之间裂果率差异较大,其中485-28的裂果率最高,高达78.72%.

1.1.2 砧木与裂果的关系

近年来大量研究表明,柑橘砧木是影响树势强弱、矿质营养吸收利用以及果实产量、品质的关键因素,在生产种植过程中也发现同一品种嫁接在不同砧木上的裂果表现差异较大^[6].如不同砧木嫁接的“楚门文旦”柚,当选用枳作砧木时,裂果极为严重,而选用文旦本地早砧时,裂果则较轻.研究人员在对塔罗科新系血橙裂果试验过程中发现,不同的中间砧会影响果实的裂果率,以“闽北”葡萄柚和雪柑做中间砧时,裂果率达到最低,用早熟温州蜜柑做中间砧的裂果率最高^[7].由上述研究结果可知,柑橘砧木对裂果有一定影响,但部分学者研究表明,砧木对裂果的影响不是直接的,而是通过影响嫁接品种的其他性状如树体营养状况^[8]、树势强弱以及抗逆性等间接影响裂果^[9].

1.2 气候因子与裂果的关系

前人大量研究结果均表明,环境中水分含量的变化与果实开裂密切相关,当环境中的水分快速进入果实组织中时,会加快果肉膨大速率,使果皮与果肉间的生长速率失衡,最终导致果实开裂^[10].大多数研究人员认为恶劣的外界环境是引发果实裂果的重要原因之一^[11],并指出栽培环境中水分含量以及温度变化是主导因素.

1.2.1 水分与裂果的关系

果实采前降雨量增多,不合理的人工灌溉以及果实膨大期间的持续降雨等均会导致裂果^[12].李学斌^[12]研究同一果园种植的南丰蜜桔的裂果发现,当夏季降雨量较少时,开始发生裂果的时间会延后,同时,裂果率也随之降低.赖奕洪^[13]在研究梨橙和琯溪蜜柚裂果原因时也发现,梨橙裂果的两个高峰都与降雨量的增加有关,分别出现在8月下旬以及久旱后暴雨的时间段;7-9月上旬出现连续干旱,琯溪蜜柚在采收前降雨量多的年份裂果率较高,反之,裂果率较低.李萍^[14]对脆密金柑裂果原因的调查结果中同样指出,脆密金柑出现严重采前裂果的年份与气候异常以及久旱后降雨量增多有关.以上研究均表明,水分的急剧变化是影响柑橘果实裂果的重要因素.

1.2.2 温度与裂果的关系

研究发现,当外界温度过高或持续高温会加快裂果的发生;也有学者指出柑橘果实开裂与果实膨大期最高温度以及最低温度的变化幅度有关,而不是因为平均温度过高导致的裂果^[15].

陈蔓芬等^[16]通过研究脐橙裂果规律发现,脐橙在果实生长发育期间遇到高温干燥天气,高温会抑制果皮组织和细胞生长,但果肉部分有果皮保护而生长速度受影响较小,造成两者生长速度不一致,如再遇突发暴雨,空气湿度突然升高,蒸腾作用急剧下降,大量的水分流向果实,导致大量裂果,说明脐橙的裂果高峰期与该时期的高温天气以及突发的暴雨有关. Ali 等^[17]在试验过程中发现,柑橘开花前后的最低温与最高温变化与成熟期裂果率有一定相关性. 由上可知,外界温度变化对柑橘果实正常生长发育至关重要,裂果的发生与温度因素有密切关系.

1.3 柑橘果皮结构和果实特性与裂果的关系

1.3.1 果皮结构与裂果的关系

柑橘裂果主要发生在外果皮和中果皮之间,所以果皮结构对柑橘裂果率影响很大^[18]. 许建楷等^[19]研究发现红江橙的裂果果皮相较于正常果皮通常较薄,且果实硬度较低,将新引进的品种“茂谷柑”与几种本地柑橘品种进行比较,发现果皮较薄可能是引起果实开裂的原因之一. 李娟^[20]对柚裂果的原因调查发现,果实成熟期内部组织结构发生变化,在果胶酶的催化作用下,原果胶被降解成可溶性果胶,导致果实内部结构松散、果实软化,最终出现裂果的现象;对温州蜜柑显微结构进行观察时发现,扁圆形果由于其表皮角质层厚,表皮细胞排列松散且细胞间隙较大,导致细胞机械性能较差,从果实中部向两端果皮逐渐变薄,当外界环境变化较大(如遇暴雨或持续降雨),相对于其他果型更容易发生裂果;比较分析“红江橙”和暗柳橙果皮硬度与裂果率之间的关系,发现果皮硬度较低的“红江橙”裂果率高于暗柳橙,并且达到了极显著水平. 果皮厚度是衡量果皮强度的重要指标,同时也是影响裂果的重要因素.

1.3.2 果实特性与裂果的关系

近些年来部分调查结果显示,果型指数与裂果率有一定相关性. 果形指数小是柑橘果实容易开裂的重要因素之一^[21],如琯溪蜜柚大果及中果裂果率较低,而小果则更易裂果,小果品系裂果率是大果品系的 5.2 倍^[22]. 李永杰等^[23]对甘平的研究发现,其果实生长过程中横纵径生长速率不一致、果实较小可能是裂果率较高的重要原因. 此外, Garcia-Luis 等^[24]对脐橙裂果的研究发现,果脐的形状以及大小也与裂果的发生有关,如在华盛顿脐橙中,果脐相对较大的果实裂果率更高;纽荷兰中也发现同样规律,果实中呈扁圆形的果实裂果率相较于长圆形以及长椭圆形较高^[25].

1.4 细胞壁组成物质与裂果的关系

植物细胞壁作为支撑细胞形态的骨架,细胞壁多糖和结构蛋白等以化学键的形式连接形成网状结构,为维持细胞的机械性能提供了一定的物质基础^[26]. 前人通过对果皮力学结构研究发现,细胞壁的组分果胶、纤维素等会被其相对应的酶类(果胶酶、纤维素酶等)水解而使果皮的力学强度下降,从而进一步加快了裂果现象的发生^[27]. 细胞壁中多糖相关物质的合成是细胞壁维持稳定的物质基础,也是决定果皮强度的关键因素,试验结果表明用 KH_2PO_4 处理卡拉卡拉红肉脐橙后,能使其果皮中原果胶、半纤维素和纤维素等成分的含量显著增加,增强了果皮硬度并降低了果实裂果率^[28]. 此外,细胞壁水解酶以及氧化还原酶在维持果皮强度的过程中也发挥了重要作用,对不同脐橙品种外源喷施钙会改变细胞壁中 β -葡萄糖苷酶和纤维素酶、多聚半乳糖醛酸酶、果胶甲酯酶等酶的活性,继而影响柑橘果实裂果^[29]. 怀斌^[30]对“红江橙”的研究发现,树冠外围果皮的细胞壁代谢酶活性较低,果皮较厚而不易裂果. 综上所述,柑橘果实开裂与细胞壁中相关组分以及代谢酶有着密切关系.

1.5 矿质元素与裂果的关系

部分研究表明,裂果的发生是由于果皮组织中局部养分不足而导致正常生理代谢受阻,钾

(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、硼(B)、氮(N)等元素与裂果的发生有着重要联系。

前人研究结果表明,当果实中钾元素含量处于一个较高水平时,可以在增加果皮厚度的同时提高果实大小,反之当钾元素水平较低时,果实偏小、果皮变薄而导致裂果^[31]。因此,在果实发育阶段对钾元素的补给至关重要,如通过对成龄椪柑果园施肥试验时发现,增施钾肥可以增加果皮厚度^[32]。

钙作为细胞壁和细胞膜的重要结构成分,在维持细胞壁和细胞膜的完整性和稳定性方面发挥着重要作用。细胞壁中的钙与果胶结合形成果胶酸钙,决定着果树器官和组织的机械强度以及硬度,果树缺钙会直接影响细胞壁的形成。早期通过研究矿质元素与锦橙裂果的关系发现,裂果率受叶片及果皮中钙与有效硼含量的影响,同时,随着叶片氮素以及钾元素含量水平的升高裂果率会降低^[33]。通过外源喷施螯合钙以及硝酸钙等,能有效降低裂果率。王强等^[34]研究发现,纽荷尔脐橙果皮中钙素水平与裂果呈负相关,钙处理后果皮中水溶性果胶含量显著降低,盐酸溶性果胶含量升高,从而降低裂果率;对叶片喷施各种形态的钙素后,果皮中钙元素含量均有所提高,裂果率下降。马小焕^[35]的研究结果表明,钙元素的缺乏是导致脐橙果实裂果的重要原因之一。Pham等^[36]通过从盛花期开始对华盛顿脐橙叶面喷施2%的外源钙,有效降低裂果率并提高果实品质。陈继群等^[37]试验结果显示,裂果率较低的纽荷尔脐橙的果皮钙含量明显高于易裂的“朋娜”脐橙,并且同一品种正常果的果皮钙水平高于裂果果皮。

关于矿质元素影响柑橘裂果的发生,目前研究主要集中在钾和钙元素上,但部分研究表明其他元素可能也参与了裂果的调控过程。如硼作为植物生长过程中所必须的微量元素,在维持果皮细胞壁和细胞膜的结构和功能完整性方面起重要作用^[38],参与了细胞骨架蛋白和质膜结合酶、核酸、吲哚乙酸、多胺、抗坏血酸和苯酚的代谢和转运^[39]。氮是很多有机物(如蛋白质、酶、核酸、叶绿素、维生素、生物碱和激素)以及无机盐(如硝酸盐)的重要组成成分,研究发现柑橘减施氮肥15%~30%时,果皮厚度降低了1.5%~10.52%,同时,能够有效提高可溶性固形物、固酸比和可食率等。研究发现,缺镁时柑橘各个器官中的镁含量会降低,同时,柑橘各个器官中的氮、磷、硼、铜和铁的含量也显著降低,而钾和钙的含量显著增加。裂果的发生受到多种元素的影响,并不是受单一元素决定。

1.6 果实内源激素与裂果的关系

内源激素参与了果实从开花、坐果到成熟整个生长过程,当果实中某种激素含量较多或不足时,会导致果实发生一系列生理障碍^[40],其中,生长素和赤霉素(GA)是两种最重要的激素。例如,通过使用GA的生物抑制剂处理甜橙果实,结果发现甜橙果皮变薄,表明内源赤霉素调控果皮发育^[41]。李小初^[42]在以“度尾文旦”柚为试材研究裂果机理时发现,通过授粉处理增加了果皮生长过程中GA₃和ABA的含量,而降低了果皮中IAA的含量,最终显著降低了裂果率。目前,研究结果普遍认为果实中激素的合成与果实种子有关,果实无籽会引起内源激素失衡,这可能是果实开裂的重要原因。如琯溪蜜柚果实中种子败育会引起果肉GA₃含量供应不足,而果皮中GA₃含量不受影响,最终导致果皮与果肉间生长速率差异较大造成果实开裂^[43]。此外,果皮与果肉中激素间稳态失衡也是引发果实开裂的诱因之一。在研究玉环柚果实内源激素与裂果的关系时发现,较高浓度的乙烯和ABA会引起果实发育过程激素稳态失衡,引发果实各部位内源激素含量存在差异,加快果实生长速度,从而导致裂果;对玉环柚进行授粉处理,发现果实膨大期ABA与(ZR+IAA+GA₃)的比值较高于CK,影响了果实内源激素含量,推测这可能是授粉处理能有效减少裂果率的主要原因^[44]。近年来有关内源激素与柑橘裂果的研究大多集中在柚类,主要通过异花授粉使果实产生种子而改变果实中内源激素水平,从而降低果实裂果。

综上所述,目前,已有的调查研究表明影响柑橘裂果的因素主要包括品种和砧木,气候因子(主要是水分、温度),果皮结构(主要是果皮厚度、硬度),果实特性(果实大小、果形指数),细胞壁组分(果胶、纤维素、多糖含量及相关酶活性等),矿质元素(钾、钙、硼、氮等)和内源激素(赤霉素、脱落酸等)等7个方面(图2),生产中应通过调控这些因素来减少裂果的发生。

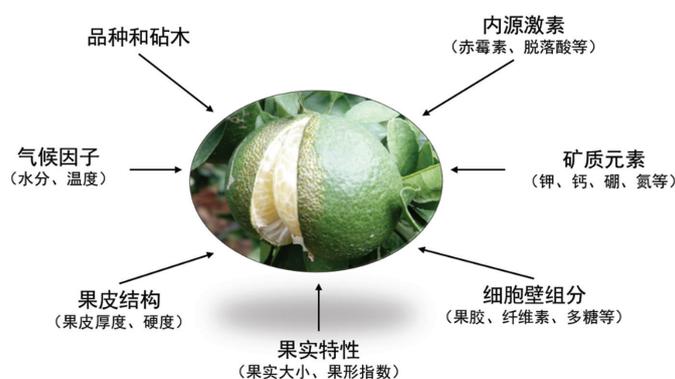


图2 影响柑橘裂果的可能因素

2 柑橘裂果的防治

基于上述柑橘裂果成因的分析,可见柑橘裂果是由多方面因素导致的,生产中采取以下综合措施能有效减少裂果发生。

2.1 选择裂果率低的品种及砧木

如上所述,品种是决定裂果率高低的根本原因,不同品种间裂果率差异极大,如“明日见”“甘平”“阳光一号”桔柚裂果率高达50%以上,而尤力克柠檬、清见桔橙、纽荷尔脐橙,林娜脐橙以及福本脐橙等多数品种裂果率极低。此外,选用早熟和晚熟品种,使其果实壮果期避开高温、干旱的季节,可以减少裂果现象的发生^[45]。另外,通过优选适宜的砧木,也能较大减少裂果发生,如玉环柚用枳、酸柚和高橙(玉橙)作砧木,裂果最轻为高橙砧,枳砧裂果最重,酸柚砧居中^[46]。

2.2 避雨栽培

久旱后降雨、水分供应不均衡是导致柑橘裂果率增加的重要因素,采取避雨栽培,果实膨大期保持均匀的水分供应和良好的排水系统,能有效防治裂果。例如,在旱季降水量少时,要通过人工灌溉来保持土壤湿润;降水量多的季节,果园应该提前挖沟排水,有条件的果园采取避雨措施,防止土壤水分含量变化过大,保证果实在生长发育时期水分平衡。

2.3 营养调控

缺钙是柑橘裂果的重要原因,在果实生长期补施钙肥能有效防治柑橘裂果,如喷施硝酸钙、氯化钙可以使果皮中多酚氧化酶、细胞壁水解酶的活性降低,促进原果胶的含量增加,使得果皮的组织结构发生改变,机械强度也会随之增强,减少了裂果现象的出现。此外,增施钾肥、镁肥及维持树木适宜的硼肥等微量元素肥料,可有助于减轻裂果。

2.4 激素调控

赤霉素是影响果皮发育的重要激素,尤其是影响果皮厚度。在幼果期喷施一定浓度的赤霉素,以适度增厚果皮和增强果皮韧性,可以减少裂果;部分品种用赤霉素涂果,如脐橙、宫川温州蜜柑等品种于6月下旬至7月上旬用赤霉素溶液涂抹幼果顶部,可增厚果皮,减少裂果。

2.5 其他防治措施

1) 异花授粉. 玉环柚采用高橙(玉橙)或者高圆形文旦的花粉对其进行异花授粉, 可减少或完全防止裂果, 其弊端是会产生种子较多和果皮较厚.

2) 环割. 对柑橘主干或主枝进行环割处理, 调整营养运输的流向, 降低树体的蒸腾速率, 在水分缺少的条件下对防治裂果有一定的效果.

3) 修剪. 对柑橘树体进行适度修剪, 增强通风透气, 充分接受光照; 及时对畸形果疏果, 避免树体养分消耗, 保证正常果实的营养, 这些措施都可以降低裂果的概率.

4) 套袋. 可以对果皮细胞壁的代谢有一定抑制作用, 确保果实稳定发育.

5) 防日灼、病虫害, 减少果皮损伤.

参考文献:

- [1] YAMADA M, SATO A, UKAI Y. Genetic Differences and Environmental Variations in Calyx-End Fruit Cracking among Japanese Persimmon Cultivars and Selections [J]. HortScience, 2002, 37(1): 164-167.
- [2] CRONJÉ P, STANDER O P, THERON K. Fruit Splitting in Citrus [J]. Horticultural Reviews, 2013, 41: 177-200.
- [3] 吴智仁, 陈金椿, 陈文山. 度尾蜜柚裂果原因及克服措施 [J]. 中国柑桔, 1987, 16(2): 33.
- [4] AGUSTÍ M, ALMELA V, JUAN M, et al. Rootstock Influence on the Incidence of Rind Breakdown in 'Navellate' Sweet Orange [J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2003, 78(4): 554-558.
- [5] 李彩, 彭良志, 党江波, 等. 高温久旱降雨后不同柑桔品种裂果比较 [J]. 中国南方果树, 2012, 41(1): 42-44.
- [6] CANTUARIAS-AVILÉS T, DEASSISALVESMOURÃO FILHO F, STUCHI E S, et al. Tree Performance and Fruit Yield and Quality of 'Okitsu' Satsuma Mandarin Grafted on 12 Rootstocks [J]. Scientia Horticulturae, 2010, 123(3): 318-322.
- [7] 徐跃兴. 塔罗科血橙新系裂果成因与调控研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [8] ZHANG C X, WHITING M. Pre-Harvest Foliar Application of Prohexadione-Ca and Gibberellins Modify Canopy Source-Sink Relations and Improve Quality and Shelf-Life of 'Bing' Sweet Cherry [J]. Plant Growth Regulation, 2011, 65(1): 145-156.
- [9] SIMPSON C R, NELSON S D, MELGAR J C, et al. Growth Response of Grafted and Ungrafted Citrus Trees to Saline Irrigation [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 169: 199-205.
- [10] 丁改秀, 王保明, 仓国营, 等. '凯特'杏成熟期果面遇雨积水是裂果的主要诱因 [J]. 果树学报, 2016, 33(9): 1103-1110.
- [11] 谢立生. 柑橘裂果的原因及其预防措施 [J]. 福建农业, 2011(8): 21, 20.
- [12] 李学斌. 柑橘裂果发生的原因及对策 [J]. 浙江柑橘, 2014, 31(3): 17-21.
- [13] 赖奕洪. 蜜柚裂果的成因及预防方法 [J]. 福建热作科技, 2008, 33(2): 25, 22.
- [14] 李萍. 脆蜜金桔久旱骤雨异常裂果调查及预防 [J]. 南方园艺, 2009, 20(2): 19.
- [15] GAMBETTA G, ARBIZA H, FERENCZI A, et al. Creasing in Washington Navel orange in Uruguay: study and control [J]. Proceeding of the International Society of Citriculture Congress, Florida, 2000(1): 453-455.
- [16] 陈蔓芬, 向德明, 陈喜玲. 脐橙裂果规律及防治技术研究 [J]. 湖南农业科学, 1996(5): 29-30.
- [17] ALI A, SUMMERS L L, KLEIN G J, et al. Albedo Breakdown in California [J]. Proceeding of the International Society of Citriculture Congress, 2000: 1090-1093.
- [18] KAUR R, KAUR N, SINGH H. Pericarp and Pedicel Anatomy in Relation to Fruit Cracking in Lemon (*Citrus limon* L. Burm.) [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 246: 462-468.
- [19] 许建楷, 陈杰忠, 邹河清, 等. 钙与红江橙裂果的关系研究 [J]. 华南农业大学学报, 1994, 15(3): 77-81.

- [20] 李娟. 柑橘陷痕果发生与果皮细胞壁代谢及相关基因的研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2009.
- [21] 卢艳清, 赵锦, 刘孟军. 果树裂果研究进展 [J]. 河北林果研究, 2008, 23(2): 200-205.
- [22] 张保才, 周奕华. 植物细胞壁形成机制的新进展 [J]. 中国科学: 生命科学, 2015, 45(6): 544-556.
- [23] 李永杰, 金国强, 淳长品, 等. 柑橘果皮的发育特征及 GA₃ 的防裂效果 [J]. 果树学报, 2021, 38(7): 1092-1101.
- [24] GARCÍA-LUIS A, DUARTE A M M, KANDUSER M, et al. The Anatomy of the Fruit in Relation to the Propensity of Citrus Species to Split [J]. *Scientia Horticulturae*, 2001, 87(1-2): 33-52.
- [25] 朱庆竖, 李华, 廖伟平. 改良橙的果实发育与裂果防止试验 [J]. 中国南方果树, 2006, 35(4): 6-7.
- [26] SOTIRIOU P, GIANNOUTSOU E, PANTERIS E, et al. Cell Wall Matrix Polysaccharide Distribution and Cortical Microtubule Organization: Two Factors Controlling Mesophyll Cell Morphogenesis in Land Plants [J]. *Annals of Botany*, 2016, 117(3): 401-419.
- [27] ERIKSSON E M, BOVY A, KENM N, et al. Effect of the Colorless Non-Ripening Mutation on Cell Wall Biochemistry and Gene Expression during Tomato Fruit Development and Ripening [J]. *Plant Physiology*, 2004, 136(4): 4184-4197.
- [28] 李娟, 陈杰忠. 柑桔裂果发生类型、过程及预防对策 [J]. 广东农业科学, 2011, 38(10): 32-33, 37.
- [29] 曾秀丽, 张光伦, 李春燕, 等. 三个脐橙品种果实主要细胞壁酶动态变化研究 [J]. 亚热带植物科学, 2006, 35(2): 12-16.
- [30] 怀斌. 钙影响‘红江橙’果皮陷痕发生及机理的研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [31] ALVA A K, MATTOS D J, PARAMASIVAM S, et al. Potassium Management for Optimizing Citrus Production and Quality [J]. *International Journal of Fruit Science*, 2006, 6(1): 3-43.
- [32] 廖育林, 郑圣先, 戴平安, 等. 钾镁锌硼铝肥对椪柑产量和品质的影响 [J]. 土壤通报, 2007, 38(6): 1158-1161.
- [33] 秦煊南, 吴先礼. 矿质营养与砧木对 447 锦橙裂果的影响 [J]. 西南农业大学学报, 1996, 18(1): 51-55.
- [34] 王强, 王秀琪, 曾明. 钙处理对纽荷尔脐橙裂果及果实品质的影响 [J]. 西南农业学报, 2013, 26(1): 308-311.
- [35] 马小焕. 脐橙果皮内裂发生的解剖结构和矿质营养元素变化研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2011.
- [36] PHAM T T M, SINGH Z, BEHBOUDIAN M H. Different Surfactants Improve Calcium Uptake into Leaf and Fruit of ‘Washington Navel’ Sweet Orange and Reduce Albedo Breakdown [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2012, 35(6): 889-904.
- [37] 陈继群, 刘丽贞, 陈杰忠, 等. 不同钙处理对脐橙裂果及其细胞壁酶活性的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(6): 29-32.
- [38] SHIREEN F, NAWAZ M A, CHEN C, et al. Boron: Functions and Approaches to Enhance Its Availability in Plants for Sustainable Agriculture [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2018, 19(7): 1856.
- [39] GOLDBACH H E, WIMMER M A. Boron in Plants and Animals: Is there a Role beyond Cell-Wall Structure? [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2007, 170(1): 39-48.
- [40] 高英, 张志宏. 激素调控果树花芽分化的研究进展 [J]. 经济林研究, 2009, 27(2): 141-146.
- [41] ERNER Y, GOREN R, MONSELISE S P. The Rough Fruit Condition of the Shamouti Orange-Connections with the Endogenous Hormonal Balance [J]. *Journal of Horticultural Science*, 1976, 51(3): 367-374.
- [42] 李小初. 度尾文旦柚裂果机理及调控措施研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [43] 吴万泳, 卢义华. 琯溪蜜柚裂果原因及预防对策 [J]. 福建果树, 2008(1): 39-40.
- [44] 李三五, 陈苑虹, 吕均良, 等. 玉环柚果实内源激素含量与裂果关系的研究 [J]. 科技通报, 1999, 15(3): 166-169.
- [45] 肖晓华. 柑橘裂果病的发生及防治 [J]. 四川农业科技, 2007(1): 50.
- [46] 沈兆敏. 柑橘裂果及其防治技术 [J]. 果农之友, 2009(8): 23.