

柚类果实套袋对品质影响的研究进展

万子龙, 徐祥增, 邓琴霖, 张小娇, 张彩虹, 高世德*

(云南省热带作物科学研究所, 云南景洪 666100)

[摘要]套袋作为果树栽培中的常用技术,通过形成稳定的果际微环境,能有效改善果实品质、减少病虫害与农药残留。柚类果实生长期长、果皮较厚,套袋技术在其生产中的应用尤为广泛。随着研究的不断深入,套袋已成为提升柚果商品性、生产优质果品的重要措施。文章综述了套袋对果际微环境、果实色泽与大小、果皮厚度,以及果肉糖分、有机酸、挥发物等方面影响的研究进展,并对该技术在柚类生产中的应用前景与研究方向进行展望,以期对柚类果实优质高效生产提供参考。

[关键词]柚类;套袋;果实品质

中图分类号:S666 文献标识码:A 文章编号:1672-450X(2026)04-0081-07

Research Progress on the Effect of Bagging on the Quality of Pomelo Fruits

WAN Zilong, XU Xiangzeng, DENG Qinlin, ZHANG Xiaojiao, ZHANG Caihong, GAO Shide*

Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong 666100, China

Abstract: Bagging, a commonly used technique in fruit tree cultivation, effectively improves fruit quality and reduces pests, diseases, and pesticide residues by creating a stable microenvironment around the fruit. With its long growth period and thick peel, the bagging technique is particularly widely applied in the production of pomelo. Fruit bagging has become an important technique for enhancing pomelo quality and marketability. This article systematically reviews the research progress on the effects of bagging on the microclimate around the fruit, fruit color and size, peel thickness, as well as flesh sugar content, organic acids, and volatile compounds. It also provides an outlook on the application prospects and future research directions of this technique in pomelo production, aiming to provide references for high-quality and efficient pomelo cultivation.

Key words: pomelo; bagging; fruit quality

果实套袋技术起源于日本^[1],我国自20世纪90年代起率先在苹果、梨等果树上推广应用该技术,在提升果实品质方面取得了显著成效^[2]。套袋不仅能有效防治病虫害、降低农药残留、防止日灼、减少机械损伤与裂果,还能通过改变袋内微环境,间接调控果实生长发育,从而综合改善果实的外在与内在品质^[3]。经过多年发展与技术革新,套袋已成为果树优质栽培的重要措施。但果袋材质与品种特性的差异导致袋内微环境各异,进而对果实着色、物质代谢等生理过程产

生不同影响,最终导致果实品质有差异^[4-8]。

柚类主要包括柚[*Citrus maxima* (Burm.) Merr.]和葡萄柚(*C. paradisi* Macf.),属于芸香科柑橘属,其果形美观,风味佳,营养丰富且耐储藏,广受消费者青睐^[9-10]。目前,套袋技术已在我国柚类主产区广泛应用。随着果品市场竞争的日益激烈,消费者不仅要求果品绿色无公害,也期待外观与内在品质的平衡提升。因此,根据品种特性选择适宜的纸袋类型,成为综合改善柚类果实品质的关键技术点之一。本文综述了套袋对柚类果实

收稿日期:2026-02-04

基金项目:云南省热带作物科技创新体系建设专项(RF2025)

作者简介:万子龙(1995—),男,研究实习员,硕士,研究方向为热带作物栽培。E-mail:wanzl0923@163.com

*通信作者:高世德(1974—),男,副研究员,硕士,研究方向为热带果树栽培。E-mail:gaoshide228@126.com

品质影响的研究进展,重点概述在果际微环境变化,果实色泽与大小,果皮厚度,果肉糖分、有机酸等方面的研究成果及展望,以期为该技术在柚类生产中的合理应用提供参考。

1 套袋对果际微环境的影响

果实套袋后形成相对封闭的微环境,袋内光照、温度和湿度等因子发生变化,从而对果实生长产生更为直接的影响^[3]。套袋会降低袋内的光照强度,同时提高温度和相对湿度^[11]。汤雨晴等^[12]对金兰柚的研究发现,采用外黄内黑双层纸袋套袋后,袋内光照减弱,温度较袋外最高可升高0.5℃,湿度平均增加约2个百分点。有研究指出,套袋对果实的影响程度在很大程度上取决于袋材质和套袋技术^[11]。马创举等^[13]在‘阳光1号’橘柚上的研究也得出类似结论,不同材质的果袋均显著降低了透光率;该研究进一步发现,外黄内黑的纸袋透光率最低,而黄色单层袋对温度的提升作用最明显。因此,在相同环境条件下,果实套袋与不套袋之间,以及不同材质果袋处理之间,在微环境上存在差异,这可能是导致最终果实品质差异的重要原因。

2 套袋对果实外在品质的影响

2.1 果皮色泽

柚类果实成熟时,果皮颜色以黄、绿、橙为主,其呈色主要取决于叶绿素、类胡萝卜素及花青苷等色素的比例与构成^[14-15]。以‘星路比’葡萄柚、红葡萄柚及多种蜜柚为例,番茄红素和 β -胡萝卜素是其关键呈色色素^[16-18]。在果实发育初期,果皮中叶绿素含量较高,随着成熟进程,叶绿素加速降解,类胡萝卜素逐渐积累,这一转变过程受到光照等重要环境因子的调节^[19-20]。果实套袋正是通过改变果实表面的光照强度与光质来影响色素代谢:不同材质、颜色与厚度的果袋会形成各异的透光环境,其中光强影响光合产物的分配,而光质则差异性地激活或抑制色素合成与降解相关酶的活性,最终调控叶绿素与类胡萝卜素的代谢平衡,从而改变果皮色泽^[5, 21-22]。

研究表明,套袋对果皮颜色的调控效应因品

种与袋型而异。葡萄柚三层牛皮纸袋套袋,可显著降低叶绿素、叶黄素及 β -胡萝卜素等色素含量,使果面更早变黄^[20]。广丰马家柚^[23]、琯溪蜜柚^[24]、金橘蜜柚^[25]及‘桂葡萄1号’^[26]等品种在套特定双层纸袋(如外黄内黑)后,均能有效促进叶绿素降解,增加类胡萝卜素的比率,使果皮均匀转黄,色泽更佳。类似地,马来西亚蜜柚套黄色纸袋可提高果面的亮度,保护果面叶绿素的效果最好^[27]。此外,特定果袋还能诱导红色色素积累,如使用外黄内黑三层纸袋可显著降低三红蜜柚的叶绿素含量并增加果皮红色成分^[28-29]。有研究指出,马家柚果实套袋研究中,纸袋颜色对果皮色泽无影响,但双层或三层纸袋可显著提高果皮L*和CCI值^[30-31]。汤雨晴等^[32]研究表明,套黄色纸袋后的马家柚果皮不同时期CCI值较白色、绿色和蓝色纸袋更高。

套袋对果皮颜色的调控最终依赖于果实本身的遗传背景及内在的分子机制^[33]。有研究指出,柑橘果皮色素合成存在光依赖与非光依赖的双重调控机制^[34]。在分子水平上,套袋引发的光环境变化显著调控相关基因表达。在马家柚中,套袋促进番茄红素和 β -胡萝卜素的积累,与PDS(八氢番茄红素脱氢酶)、PSY2(八氢番茄红素合成酶)、 β -LCY1~2(番茄红素 β -环化酶)等合成基因的上调以及BCH(β -胡萝卜素羟化酶)等降解基因的下调密切相关^[35]。Huang等^[36]在火焰葡萄柚中的研究指出,ERF、NAC、WRKY、MYB、MADS、bHLH等多个转录因子家族成员是类胡萝卜素代谢的关键调控因子。

2.2 果肉色泽

光照条件的变化显著影响柚果实类胡萝卜素的积累,进而导致果肉着色程度不同^[16]。研究表明,马家柚使用蓝色果袋可使果肉提前转色且色泽鲜红均匀^[32];双层外黄内黑纸袋也能显著加快其果肉变红速率^[35]。在红宝石柚中,套袋后果实发育各阶段的类胡萝卜素含量均有所增加^[16]。其中,番茄红素和 β -胡萝卜素作为主要色素被显著诱导积累^[20]。然而,类胡萝卜素的积累并不完全依赖光照。有研究指出,在保持通气和适宜湿度的条件下,番茄红素的形成不一定需要光^[37]。

这可能是因为套袋能将果实温度维持在适宜合成的水平^[16]。

类胡萝卜素的积累除受环境因素影响外,也受关键合成基因的转录调控^[38]。在分子机制上,光信号可能通过 UVR8-HY5 通路调控 *PSY* 的表达^[39-40]。而 *PSY* 上调表达可能是促进类胡萝卜素积累的关键因素^[41]。研究指出,‘星路比’葡萄柚中番茄红素积累与特异性 β -*LCY2* 基因的低水平表达有关^[42-43]。在马家柚中,套袋显著提高了 β -胡萝卜素和番茄红素含量,同时上调了 *PSY2*、*PDS*、*ZDS*(ζ -胡萝卜素脱氢酶)等合成基因,并抑制了 *BCH* 的表达^[31]。红宝石柚套袋后,转色期和成熟期类胡萝卜素增加,伴随着 *CsPSY* 和 *CsZDS* 的上调,以及 *Cs β LCY*、*Cs β CHX* 等基因的下调^[6]。此外,火焰葡萄柚红光透射袋处理上调 *PDS*、*GGPPS2*(牻牛儿基牻牛儿基焦磷酸合成酶)等基因,并下调 *CYP97A*(β -环羟化酶)、*ZEP2*(玉米黄质环氧化酶)等基因,促进番茄红素和 β -胡萝卜素积累^[36]。这些结果说明,套袋可通过改变光环境调控类胡萝卜素代谢通路中多个基因的表达,从而影响最终色素的合成与积累。

2.3 果皮厚度

果实套袋对果皮厚度的影响因品种、袋型及套袋方式的不同而呈现差异。部分研究发现套袋会促进果皮增厚,例如在常山胡柚中,单层或双层外黄内黑纸袋处理后果皮有所增厚,但未达显著水平^[44]。‘桂葡柚 1 号’仅在外黄内黑双层纸袋处理下的果皮厚度较对照显著增加^[26]。黄秀等^[45]对鸡尾葡萄柚的研究也显示套袋能增加果皮厚度,且采前套袋的效果较全程套袋更显著。金兰柚果皮增厚程度则与所用纸袋厚度相关^[46]。另一方面,亦有研究指出套袋对果皮厚度无显著影响^[30]。相反,一些研究观测到套袋后果皮厚度减小,如广丰马家柚^[23]、黄金蜜柚^[47]。刘要鑫等^[25]在金橘蜜柚的研究中也有类似的结果,使用黄色双层纸袋显著降低果皮厚度。套袋后果皮变薄,可能因为是套袋改变了果皮细胞的排列方式,减少了细胞层数,从而使得果皮变薄^[48]。

2.4 果实大小

有研究表明,套袋对柚果实的单果重及横、纵

径无显著影响^[11, 25, 30]。然而,不同品种的研究结果存在差异。例如, Pareek 等^[49]发现套袋会使葡萄柚杂交品种‘914’的果实变小、变轻。而金兰柚果实套袋后果实横、纵径显著增加,且双层黄纸袋、三层黄纸袋和三层红纸袋均能明显提高单果重^[46]。马创举等^[13]研究也显示,套袋能显著增加橘柚单果重与横径,并一定程度上改变果形,其中黄色单层果袋效果最佳。套袋促进果实增大的现象可能与袋内温度升高有关。Kalsum 等^[50]在南邦柚上的研究表明,红色透光袋处理的袋内温度较高,果实显著增大,说明红色透光袋及其形成的高温微环境可能是诱发增重的重要因素;值得注意的是,袋型效应存在特异性,黄色袋的微气候条件与红色袋相反,果实显著减小。这说明套袋对果实大小的影响不仅与品种有关,也与果袋材质及由此形成的微环境密切相关。

3 套袋对果实内在品质的影响

3.1 果肉糖分含量

套袋处理通常会降低果实果肉糖分积累,使可溶性固形物与可溶性糖含量下降^[32]。汤雨晴等^[12]研究发现,金兰柚果实套袋后总糖和可溶性固形物含量降低,且套袋时间越晚,降幅越大。三红蜜柚果实套袋后亦出现可溶性固形物含量降低,可滴定酸含量升高现象^[51]。Wang 等^[52]研究同样表明,套袋会在一定程度上降低三红蜜柚、红肉蜜柚及黄金蜜柚果实可溶性固形物及糖含量。类似结果也见于金橘蜜柚^[25]、‘桂葡柚 1 号’^[26]、琯溪蜜柚^[24]及鸡尾葡萄柚^[45]等相关研究。从生理机制上看,柑橘果实在转色前能利用光合作用与磷酸烯醇丙酮酸羧化酶(PEPC)固定 CO_2 ,该过程有助于有机酸的积累;果实随后利用有机酸转化为糖分,而套袋可能抑制 PEPC 等酶活性来减少有机酸合成,从而导致收获时糖含量降低^[4]。

然而,不同研究间结论存在差异。冯方茂等^[27]发现套袋能提升马来西亚蜜柚的可溶性固形物含量,其中黄色纸袋效果最显著。玉环柚及其芽变品种‘早玉’果实套袋后也可提高该指标;且套袋时长对两个品种的影响趋势相反^[53]。

Promkaew 等^[6]研究指出,红宝石柚套袋后袋内温度约 25 ℃时果实糖含量最高。这些结果说明,品种特性、纸袋类型、套袋时间及袋内微环境均是影响糖积累的重要因素。此外,糖代谢相关基因的转录调控也参与这一过程。Jiang 等^[41]在马家柚套袋中发现转色期与成熟期 *ACS6*(1-氨基环丙烷-1-羧酸合成酶)基因上调,推测该基因可能促进糖分积累。

3.2 果肉有机酸含量

有机酸和糖的平衡是影响果实品质的重要因素之一^[54]。果实在成熟和储藏期间,有机酸含量会逐渐下降,其降解过程受多种因素调控^[55]。在柚类果实中,有关套袋处理对有机酸含量变化及其代谢影响的研究仍相对有限。套袋会改变袋内微环境(如温度),而温度已被证实可调控柠檬酸代谢相关基因的表达。有机酸可通过谷氨酰胺合酶(GS)途径和 γ -氨基丁酸(GABA)分流途径进行降解,最终导致可滴定酸含量下降^[56]。Lo 等^[57]研究发现低温能够诱导柠檬酸代谢相关基因的表达,从而降低血橙果实中的可滴定酸含量。Chen 等^[58]研究进一步表明,热空气(40 ℃)处理可通过诱导 *CitAco3*(顺乌头酸酶基因)、*CitI-DH23*(异柠檬酸脱氢酶基因)及 *CitGAD4*(谷氨酰胺脱羧酶基因)的表达,促进 GABA 分流途径,降低有机酸含量。Jiang 等^[20]研究发现,套袋对葡萄柚果实有机酸含量影响较小,推测可能与套袋时间和袋材不同有关。

3.3 果实挥发性化合物

水果香气由其挥发性化合物决定,这些化合物是风味的关键成分^[59]。有资料显示,柚类果实主要挥发性物质为烃类,其中柠檬烯是果汁的特征物质^[60]。姜启航等^[61]研究发现马家柚套袋未改变果实挥发性物质组成,对果肉挥发性物质影响较小,但显著降低果皮挥发性物质总量(尤其倍半萜酮和单萜)。冯文君^[62]在琯溪蜜柚、三红蜜柚上的研究也有类似的结果。推测其原因可能是果肉在套袋和未套袋时均处于黑暗环境,无光质光强差异,因此对其影响较小。然而,不同品种果实挥发性化合物对套袋的响应存在差异。文婷等^[63]发现金沙柚套袋与不套袋的果实

均以萜烯类为主,D-柠檬烯含量最高;套袋减少了萜烯种类,但增加了果皮醇类的种类和含量,以橙花醇和香叶醇为主。D-柠檬烯具柑橘柠檬香,橙花醇和香叶醇呈花香味^[64],因此套袋后金沙柚花香特征更为突出。

4 套袋和摘袋时间对果实品质的影响

套袋与摘袋时机通过影响果实发育关键期,对柚类果实综合品质起重要调控作用。研究表明,适宜的套袋与摘袋时间因品种而异。黄金蜜柚在7—8月套袋,果皮着色均匀,果实糖酸比适宜、木质化程度低^[65]。处红柚和翡翠柚分别在6月上旬与8月中旬采用双层遮光袋套袋,可显著改善外观^[66]。广丰马家柚以6月25日套袋、9月25日摘袋效果最佳,采用外黄内黑双层遮光纸袋可显著改善果实内外品质^[23]。广西容县三红蜜柚,5月中旬至下旬使用三层果袋(外一层黄内两层黑)套袋,有利于糖分积累,而5月上旬套袋则更利于提高果皮亮度、促进红色显现^[67]。Wang 等^[52]研究进一步明确了不同蜜柚的最佳套袋时间:三红蜜柚为花后 35 d,红肉蜜柚为花后 80 d,黄金蜜柚为花后 65 d。金兰柚^[12]与金沙柚^[68]分别在7月上旬(外黄内黑双层纸袋)和7月套袋(外红内黑双层纸袋),均有利于综合品质提升。鸡尾葡萄柚在8月上旬使用外黄内黑双层纸袋套袋,可在 15~20 d 完成转色,后期及时摘袋有助于糖分积累^[69]。综上,选择与品种特性相匹配的套袋摘袋时机及纸袋类型,是实现柚类果实内外品质协同提升的关键。

5 展望

套袋作为一项常规农艺措施,在柚类生产中已有较多应用与研究,并取得显著进展。但套袋对柚果实品质的影响涉及多方因素,不同柚品种及果实组织对套袋的响应存在明显差异,这意味着柚果实对套袋后的信号反应存在不同的应答模式。基于当前研究,未来可从以下几方面开展工作:进一步聚焦套袋形成的微环境如何调控光信号受体及下游转录调控网络,整合调控色素、糖、酸及挥发性物质代谢的全链条分子机制;建

立基于品种遗传背景和区域环境的套袋技术标准,包括套袋时间、最优的纸袋类型等,实现品种个性化品质调控;探索套袋、施肥、灌溉与生长调节剂使用等协同栽培管理技术,形成综合提质技术;加强套袋对果实采后的储藏品质、抗病性及货架期影响的研究,延长产业链价值;开发新型智能果袋,利用传感器实时监测果袋内微环境,结合大数据模型预测品质形成,实现果实套袋管理的精准化和智能化。通过以上内容的深入探索,将有助于更精准的利用套袋技术,以服务于柚类果实品质的定向改良,提高产品的附加值,获得消费者最佳感官感知的果实品质。

参考文献:

- [1] 王武,邓烈,何绍兰. 套袋对果实品质的影响综述[J]. 中国南方果树,2006(3):82-86.
- [2] 魏志峰,李秋利,高登涛,等. 果实套袋对果实品质影响研究进展[J]. 江苏农业科学,2018,46(24):36-41.
- [3] SHARMA RR, REDDY S, JHALEGAR M. Pre-harvest fruit bagging: a useful approach for plant protection and improved post-harvest fruit quality-a review[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2014, 89(2):101-113.
- [4] HIRATSUKA S, YOKOYAMA Y, NISHIMURA H, et al. Fruit photosynthesis and phosphoenolpyruvate carboxylase activity as affected by lightproof fruit bagging in satsuma mandarin[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2012, 137(4):215-220.
- [5] MAGWAZA LS, OPARA UL, CRONJE PJ, et al. Canopy position affects rind biochemical profile of 'nules clementine' mandarin fruit during postharvest storage[J]. Post-harvest Biology and Technology, 2013, 86:300-308.
- [6] PROMKAEW P, SRILAONG V, WONGS-AREE C, et al. Lycopene synthesis and related gene expression in pummelo pulp increased in shade-grown fruit[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2020, 145(1):60-66.
- [7] 韩效先. 套袋微环境对果实品质影响综述[J]. 山西果树, 2004(6):34-35.
- [8] 盛敏,彭文莉,王会良. 套袋及其对果实品质的影响综述[J]. 南方园艺, 2011, 22(3):60-61, 64.
- [9] XU Q, CHEN LL, RUAN X, et al. The draft genome of sweet orange (*Citrus sinensis*) [J]. Nature Genetics, 2013, 45(1):59-66.
- [10] YU HW, YANG XM, GUO F, et al. Genetic diversity and population structure of pummelo (*Citrus maxima*) germplasm in China [J]. Tree Genetics & Genomes, 2017, 13:1-10.
- [11] ISSARAKRAISILA M. Effect of types of bagging materials on growth, quality and disease-insect damages in pummelo fruit in tropical humid conditions [J]. Acta Horticulturae, 2016, 1208:319-324.
- [12] 汤雨晴,朱方红,胡钟东,等. 不同套袋时间对金兰柚果实品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(7):36-40.
- [13] 马创举,吴群,孙建城,等. 套袋对柑橘果实微环境及品质的影响[J]. 中国果树, 2025(1):77-82.
- [14] RODRIGO MJ, ALQUÉZAR B, ALÓS E, et al. Biochemical bases and molecular regulation of pigmentation in the peel of citrus fruit [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 163:46-62.
- [15] TAO J, ZHANG SL, AN XM, et al. Effects of light on carotenoid biosynthesis and color formation of citrus fruit peel [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(11):1833-1836.
- [16] LADO J, CRONJE P, ALQUÉZAR B, et al. Fruit shading enhances peel color, carotenes accumulation and chromoplast differentiation in red grapefruit [J]. Physiologia Plantarum, 2015, 154(4):469-484.
- [17] LINDSHIELD BL, CANENE-ADAMS K, ERDMAN JR JW. Lycopene: are lycopene metabolites bioactive? [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2007, 458(2):136-140.
- [18] 李伟明. 柚果实生长发育过程中类胡萝卜素的分离及其积累研究[D]. 福州:福建农林大学, 2013.
- [19] LEE HS. Objective measurement of red grapefruit juice color [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(5):1507-1511.
- [20] JIANG A, ZHENG L, WANG D, et al. Effects of fruit bagging on the physiochemical changes of grapefruit (*Citrus paradisi*) [J]. Food Quality and Safety, 2022, 6: fy-ac049.
- [21] LLORENTE B, MARTINEZ-GARCIA JF, STANGE C, et al. Illuminating colors: regulation of carotenoid biosynthesis and accumulation by light [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2017, 37:49-55.
- [22] JOANNA L, ENRIQUETA A, MATÍAS M, et al. Light regulation of carotenoid biosynthesis in the peel of mandarin and sweet orange fruits [J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10:1288.
- [23] 吴方方,程玉芬,谢金长,等. 套袋对广丰马家柚果实品质

- 质的影响[J]. 中国南方果树, 2015, 44(4): 35-37, 40.
- [24] 吴世涛, 余文琴, 黄菊升. 不同套袋对2个柚品种果实品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(14): 150-153.
- [25] 刘要鑫, 陈香玲, 欧智涛, 等. 不同套袋处理对金桔蜜柚果实品质及果皮转色的影响[J]. 中国南方果树, 2019, 48(5): 21-23.
- [26] 刘福平, 王茜, 陈东奎, 等. 套袋对“桂葡萄1号”果实色泽和品质的影响[J]. 中国南方果树, 2021, 50(6): 13-16.
- [27] 冯方茂, 曾丽萍, 姜成东, 等. 套袋对‘马来西亚’蜜柚果实品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(17): 264-267.
- [28] 吴世涛, 余文琴, 李水祥, 等. 套袋对三红蜜柚果实着色的影响[J]. 果树学报, 2020, 37(5): 687-695.
- [29] 苏美玲, 周之路, 林林, 等. 不同套袋对三红蜜柚果皮色泽及果实品质的影响试验[J]. 农业研究与应用, 2019, 32(2): 9-12.
- [30] 谢婧蕻, 杨莉, 旦世浩, 等. 套袋对马家柚果实外观及内在品质的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(1): 229-237.
- [31] 旦世浩. 套袋对马家柚果皮蜡质及果肉类胡萝卜素的影響[D]. 南昌: 江西农业大学, 2019.
- [32] 汤雨晴, 万水林, 徐鹏, 等. 不同套袋处理对马家柚果实色泽的影响[J]. 江西农业学报, 2020, 32(7): 36-40.
- [33] TAKISHITA F, NONAKA K, IMAI A, et al. Three types of rind coloring in response to fruit bagging in new citrus cultivars[J]. Acta Horticulture, 2014, 1135: 131-138.
- [34] LADO J, ALÓS E, MANZI M, et al. Light regulation of carotenoid biosynthesis in the peel of mandarin and sweet orange fruits[J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 1288.
- [35] 邱丽, 杨莉, 旦世浩, 等. 套袋对马家柚果肉主要类胡萝卜素积累及相关基因表达的影响[J]. 果树学报, 2020, 37(2): 153-163.
- [36] HUANG X, HU L, KONG W, et al. Red light-transmittance bagging promotes carotenoid accumulation of grapefruit during ripening[J]. Communications Biology, 2022, 5(1): 303.
- [37] FRASER PD, TRUESDALE MR, BIRD CR, et al. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development (evidence for tissue-specific gene expression)[J]. Plant Physiology, 1994, 105(1): 405-413.
- [38] FANTINI E, FALCONE G, FRUSCIANTE S, et al. Dissection of tomato lycopene biosynthesis through virus-induced gene silencing[J]. Plant Physiology, 2013, 163(2): 986-998.
- [39] QIAN CZ, CHEN ZB, LIU Q, et al. Coordinated transcriptional regulation by the UV-B photoreceptor and multiple transcription factors for plant UV-B responses[J]. Molecular Plant, 2020, 13(5): 777-792.
- [40] TOLEDO-ORTIZ G, JOHANSSON H, LEE KP, et al. The HY5-pif regulatory module coordinates light and temperature control of photosynthetic gene transcription[J]. Plos Genetics, 2014, 10(6): e1004416.
- [41] JIANG QH, YE JL, ZHU KJ, et al. Transcriptome and co-expression network analyses provide insights into fruit shading that enhances carotenoid accumulation in pomelo (*Citrus grandis*)[J]. Horticultural Plant Journal, 2022, 8(4): 423-434.
- [42] MENDES AF, CHEN C, GMITTER JRFG, et al. Expression and phylogenetic analysis of two new lycopene β -cyclases from citrus paradisi[J]. Physiologia Plantarum, 2011, 141(1): 1-10.
- [43] ALQUEZAR B, RODRIGO MJ, LADO J, et al. A comparative physiological and transcriptional study of carotenoid biosynthesis in white and red grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.)[J]. Tree Genetics & Genomes, 2013, 9(5): 1257-1269.
- [44] 汪丽霞, 林秋雅, 徐小忠, 等. 不同套袋处理对常山胡柚果实品质的影响[J]. 浙江柑橘, 2021, 38(1): 19-25.
- [45] 黄秀, 柯甫志, 孙立方, 等. 套袋对鸡尾葡萄柚果实品质及病害的影响[J]. 中国果树, 2022(1): 73-76, 110.
- [46] TANG YQ, YAN CP, WANG YT, et al. Effects of different bagging treatments on fruit quality of Jinlan pomelo[J]. Agricultural Science & Technology, 2022, 23(1): 209-214.
- [47] 林燕金, 林旗华, 卢艳清, 等. 果袋类型对“黄金蜜柚”果实外观和品质的影响[J]. 中国南方果树, 2016, 45(3): 68-69.
- [48] 陶俊, 张上隆, 张良诚, 等. 柑橘果皮颜色的形成与类胡萝卜素组分变化的关系[J]. 植物生理与分子生物学报, 2003(2): 121-126.
- [49] PAREEK S, VOLPE JH, WORBINGTON ES, et al. Fruit bagging enhances peel color and affects fruit quality of citrus under protected screen-grown grapefruit-like hybrid ‘914’[J]. HortScience, 2025, 60(1): 23-27.
- [50] KALSUM U, SUSANTO S, JUNAEDI A. Quality improvement of pummelo (*Citrus maxima* (Burm.) Merr.) using leaf-to-fruit ratio arrangement and fruit bagging[J]. Plant Physiology, 2015, 10(2): 68-76.
- [51] 吴世涛. 套袋对柚果实色泽变化及品质的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2019.

- [52] WANG Y, FU XK, HE W, et al. Effect of bagging on fruit quality of three pummelo (*Citrus grandis* Osbeck) cultivars [J]. Earth and Environmental Science, 2019, 330 (3):032051.
- [53] 陈青英,耿芳. 套袋时间对“玉环柚”及其芽变“早玉”的果实品质与效益的影响 [J]. 中国南方果树, 2020, 49 (2):32-33,39.
- [54] OBENLAND D, COLLIN S, MACKEY B, et al. Determinants of flavor acceptability during the maturation of navel oranges [J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52(2):156-163.
- [55] 石莹,陈思怡,曾译可,等. 套袋提升椪柑果实品质的作用机制 [J]. 中国农业科学, 2023, 56(14):2776-2786.
- [56] QI S, LI Z, XI WP, et al. Transcriptome analysis of blood orange (*Citrus sinensis*) following fruit bagging treatment by digital gene expression profiling [J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2014, 89(4):397-407.
- [57] LO PIERO AR, LO CICERO L, PUGLISI I. The metabolic fate of citric acid as affected by cold storage in blood oranges [J]. Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology, 2014, 23(2):161-166.
- [58] CHEN M, JIANG Q, YIN XR, et al. Effect of hot air treatment on organic acid-and sugar-metabolism in Ponkan (*Citrus reticulata*) fruit [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 147:118-125.
- [59] DEFILIPPI BG, MANRÍQUEZ D, LUENGWILAI K, et al. Aroma volatiles: biosynthesis and mechanisms of modulation during fruit ripening [J]. Advances in Botanical Research, 2009, 50:1-37.
- [60] CHEN JJ, LUO WS, CHENG LN, et al. Influence of cultivar and turbidity on physicochemical properties, functional characteristics and volatile flavor substances of pomelo juices [J]. Foods, 2023, 12(5):1028.
- [61] 姜启航,朱凯杰,吴方方,等. 套袋处理对‘马家柚’果实挥发性物质积累的影响 [J]. 果树学报, 2020, 37(11):1701-1710.
- [62] 冯文君. 套袋处理对柚果实营养和风味物质的影响及相关基因挖掘 [D]. 福州:福建农林大学, 2025.
- [63] 文婷,靳三鹏,刘德春,等. 套袋对金沙柚果皮油胞发育及挥发性成分的影响 [J]. 浙江农业学报, 2024, 36(7):1548-1557.
- [64] 李丽,蒋景龙,胡佳乐,等. 不同品种柑橘果皮精油关键香气物质筛选 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(24):259-269.
- [65] 林燕金,林旗华,卢艳清,等. 套袋时期对黄金蜜柚果实外观和内质的影响 [J]. 中国南方果树, 2016, 45(6):47-48.
- [66] 周成敏,尤根彪,吴家学,等. 不同套袋模式对2种柚子果实品质及效益的影响 [J]. 湖南农业科学, 2016(2):80-82.
- [67] 区善汉,刘冰浩,蔡军,等. 套袋措施对广西容县三红蜜柚果皮着色及品质的影响 [J]. 中国南方果树, 2022, 51(1):23-27.
- [68] 文婷,靳三鹏,杨莉,等. 不同套袋处理对金沙柚果实品质的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2023, 45(1):78-87.
- [69] 黄秀,柯甫志,孙立方,等. 套袋类型和时期对鸡尾葡萄柚果实主要品质指标和病害防效的影响 [J]. 浙江农业科学, 2022, 63(3):512-516.