果 树 学 报 2026,43(3):661-672
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250661

猕猴桃采收标准与采后处理研究进展

申思雨[1,2,3],李 兰[2,3#],张研宗[2,3],顾 红[2,3],陈锦永[2,3*],杨英军[1*]

([1]河南科技大学园艺与植物保护学院,河南洛阳 471000;[2]中国农业科学院郑州果树研究所•果蔬园艺作物种质创新与利用全国重点实验室•国家数字种植业(果园)创新分中心,郑州 450009;[3]中原研究中心,河南新乡 453000)

摘 要:猕猴桃富含糖、维生素C(Vc)、膳食纤维、多酚类物质等营养和功能成分,具有极高的保健价值,被誉为“水果之王”,深受消费者喜爱。然而,我国猕猴桃的商品化率和市场竞争力仍相对较低。研究表明,以可溶性固形物含量(SSC)、果实硬度和干物质含量为核心指标确定采收标准,是保障果实品质的前提;低温贮藏、变温贮藏、气调贮藏及1-甲基环丙烯(1-MCP)处理可有效延缓果实成熟进程,降低呼吸强度与乙烯释放速度,维持果实硬度与营养活性;乙烯催熟与变温催熟技术可实现成熟度与风味的双重调控,提升猕猴桃果实的食用品质与市场竞争力。此外,通过多种品质调控与保鲜技术的综合应用,可进一步延长猕猴桃货架期并提升商品化水平。本文系统综述了猕猴桃采收标准与采后处理的研究进展,提出了采收标准及采后处理一体化的技术框架,并展望了数字化溯源与智能监测的应用方向,为猕猴桃产业的标准化、提质增效及高附加值产品开发提供了可行路径与技术支撑,满足市场对高品质、便捷型水果的需求并推动产业升级。

关键词:猕猴桃;采收标准;采后保鲜;催熟技术;品质调控

中图分类号:S663.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2026)03-0661-12

Advances in harvesting standard and postharvest handling of kiwifruit

SHEN Siyu[1,2,3], LI Lan[2,3#], ZHANG Yanzong[2,3], GU Hong[2,3], CHEN Jinyong[2,3*], YANG Yingjun[1*]

([1]College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, Henan, China; [2]Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Science/National Key Laboratory for Germplasm Innovation & Utilization of Horticultural Crops/National Digital Planting Industry (Orchard) Innovation Sub-center, Zhengzhou 450009, Henan, China; [3]Zhongyuan Research Center, Xinxiang 453000, Henan, China)

Abstract: Kiwifruit (*Actinidia* Lindl.) acclaimed as the “king of fruits” due to its rich nutritional composition, is an important horticultural crop with high economical and nutritional value. It is rich in sugar, vitamin C, dietary fiber, polyphenols, and various bioactive compounds, which contributes to its strong antioxidant capacity and numerous health benefits. In response to the growing market demand for high-quality, safe, and convenient fruit products, the modernization of kiwifruit harvesting and postharvest handling has become essential for industrial advancement and sustainable development. This review summarizes recent progress in harvest maturity evaluation, storage and preservation techniques, ripening control, and quality regulation of kiwifruit. Studies have indicated that determining harvest maturity based on soluble solids content (SSC), fruit firmness, and dry matter content is critical for maintaining postharvest quality and ensuring optimal flavor potential. SSC is closely related to sugar accumulation and sweetness, firmness determines texture and damage resistance during transport, and dry matter serves as an effective predictor of flavor development. Scientific evaluation of these parameters provides a foundation for defining the optimal harvest period and achieving a balance between storability and eating quality. Postharvest handling has attracted considerable research attention in recent years.

收稿日期:2025-08-05 **接受日期:**2025-08-25

基金项目:国家重点研发计划(2022YFD1600700);河南省现代农业产业技术体系建设专项(HARS-22-09-S);中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-2023-ZFRI-03);国家现代农业产业技术体系(CARS-26)

作者简介:申思雨,女,在读硕士研究生,主要从事猕猴桃贮藏研究。E-mail:15893672345@163.com;#为共同第一作者

***通信作者** Author for correspondence. E-mail:yangyingjun2003@126.com;E-mail:chenjinyong@caas.cn

Low-temperature storage remains the most fundamental and effective method for slowing fruit respiration, suppressing ethylene biosynthesis, and extending shelf life. Variable-temperature storage simulates natural temperature fluctuations to reduce chilling injury, maintain cell membrane integrity, and preserve flavor compounds. Controlled-atmosphere storage further enhances postharvest stability by adjusting gas composition to delay senescence. The application of 1-methylcyclopropene (1-MCP), an ethylene receptor inhibitor, has also been shown to effectively delay softening and maintain firmness, and nutritional integrity during long-term storage and transport. Ripening regulation technologies are equally important for achieving the desired eating quality of kiwifruit. Ethylene treatment promotes uniform softening and aroma development, while temperature-controlled ripening enables coordinated regulation of ripening and flavor formation. The integration of ethylene management with temperature control allows a more precise and controllable ripening process, thereby improving consumer satisfaction and commercial value. In addition, emerging quality regulation techniques, such as antioxidant application, calcium-based firmness regulation, and natural or edible coating treatments, have shown promising results in delaying senescence and maintaining the visual and textural quality of fruit during storage. The integration of diverse preservation and ripening technologies establishes a comprehensive postharvest handling system that supports large-scale, standardized, and high-value production of kiwifruit. Furthermore, the development of digital traceability, intelligent monitoring, and predictive modeling technologies offers new opportunities to improve supply chain transparency and optimize storage and distribution management. By combining traditional postharvest physiology with modern intelligent management tools, the kiwifruit industry can enhance product quality while promoting sustainability. In summary, this review emphasizes the current progress and future perspectives of kiwifruit harvesting standard and postharvest handling technologies. It emphasizes the importance of integrating scientific harvest standards with advanced storage, preservation, and ripening strategies to maintain fruit quality and economic value. Continued research on the molecular mechanisms of ripening, digital management systems, and environmentally friendly preservation technologies will further promote the sustainable and high-quality development of the kiwifruit industry.

Key words: Kiwifruit; Harvest standard; Post-harvest preservation; Ripening technology; Quality regulation

猕猴桃是猕猴桃科（Actinidiaceae）猕猴桃属（*Actinidia* Lindl.）落叶藤本植物，以其酸甜爽口的风味、丰富的营养价值而闻名。猕猴桃果实中富含维生素C（Vitamin C，Vc）、膳食纤维、矿物质及多种生物活性成分，具有抗氧化、增强免疫力和调节血压血脂等人体保健功效，被誉为“水果之王”[1-3]。近年来，世界猕猴桃产业发展迅速，种植面积持续扩大。目前,已有20多个国家生产猕猴桃。其中，中国猕猴桃的种植面积超过世界其他生产国种植面积的总和，年产量占全球总产量的50%以上，稳居世界首位[4-5]。然而，与我国猕猴桃产量相比，其商品化率和市场竞争力仍相对较低，出口量不足总产量的5%，深加工率低于10%，产业仍存在“重生产、轻加工、弱标准”的问题。

猕猴桃属于典型的后熟型果实，采摘时果实质地较硬、淀粉含量较高、糖酸比偏低，需经过自然后熟或人工催熟处理，方能达到适宜食用的品质[6]。然而，在自然软熟过程中易出现贮藏条件不佳或病害防控不当，引起果肉褐变与腐烂，从而影响消费体验并造成果品损耗[7]。为适应市场对高品质、便捷型果品的需求，近年来猕猴桃采后催熟与品质调控技术的研究受到广泛关注。变温催熟、低温贮藏、气调保鲜及1-甲基环丙烯（1-Methylcyclopropene，1-MCP）等催熟和保鲜调控技术可实现成熟度与风味的协同调节，提升果实食用品质和流通性能[8]。

在猕猴桃采摘、贮藏、后熟的全链条生产过程中，需要针对多个关键环节分别进行技术优化，以提高果实品质、延长货架期、降低损耗率，从而确保猕猴

桃产品的市场竞争力和产业化效益[9]。本文围绕猕猴桃采收标准与采后处理关键环节（图1），系统梳理了相关技术研究进展与产业应用现状，探讨了猕猴桃商品化过程中存在的问题与发展方向，以期为提高我国猕猴桃商品化水平和品质竞争力、推动猕猴桃产业标准化管理和提质增效提供理论依据与技术支撑。

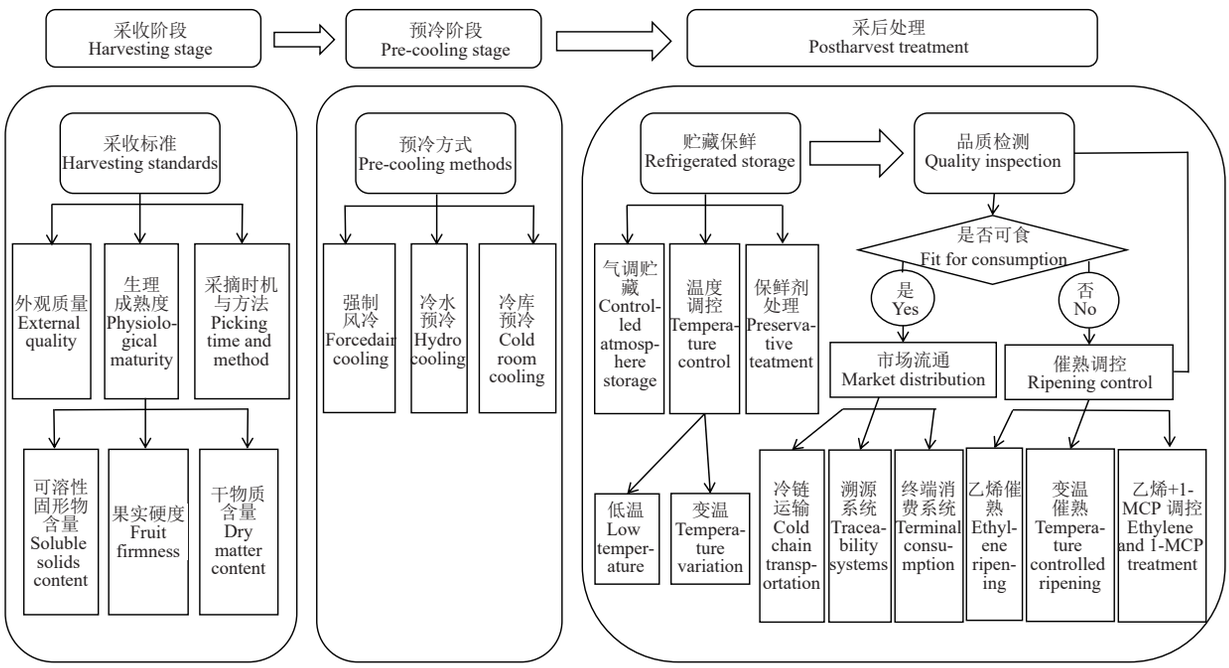

图 1　猕猴桃采收标准与采后处理技术路线图

Fig. 1　Route of harvesting standard and postharvest treatment of kiwifruit

1　猕猴桃果实采收标准

采收是保证猕猴桃果实后熟质量的起始环节，在一定程度上决定了果实的最终品质。采收标准的制定与执行对后续的贮藏保鲜、催熟处理以及果品质量的调控具有直接影响。采收标准主要涵盖果实的生理成熟度、外观质量、采摘时机及采摘方法等。制定科学、合理的采收标准，不仅有助于最大程度地保持果实的内在品质，减少营养成分和风味物质的流失，同时也为后续果实贮藏保鲜、品质调控及市场推广奠定坚实基础。

1.1　生理成熟度

生理成熟度是猕猴桃采收时最重要的参考指标之一，主要通过可溶性固形物含量（soluble solid content，SSC）、果实硬度、干物质含量等参数进行评估[10]。猕猴桃是呼吸跃变型果实，其糖类及风味物质的积累过程主要发生在果实的后熟阶段。因此，采收时的生理成熟度直接决定果实的后熟品质。

SSC作为果实中水溶性化合物的总称，是评价猕猴桃品质的重要指标之一[11]。果实中SSC需要达到一定标准方可采收。对于采收后需要立即销售或仅进行短期贮藏的果实，为了保证其风味和品质，美味猕猴桃（徐香、翠香、海沃德）SSC需≥6.5%，中华猕猴桃（红阳、东红、金桃）SSC需≥7.0%；然而，对于需要在冷库中长期贮存的果实，为了提高果实的耐冻性，同时兼顾果实耐贮性，则应在果实成熟度相对较高时采收。美味猕猴桃适宜采收期的SSC为7%~9%，中华猕猴桃适宜采收期的SSC为8%~10%[12]。

果实硬度同样是采收成熟度的重要参考指标。果实硬度与贮藏性能密切相关[13]，是衡量果实贮藏品质的关键参数。果实硬度过低，会增加贮藏和运输过程中的损耗；而硬度过高，则可能导致后熟不均或后熟期延长，进而影响果实的口感。不同品种猕猴桃采收时要求的果实硬度存在差异，如中华猕猴桃（红阳、东红、金桃）采收时的果实硬度需≥8.0 kg·cm^{-2}，美味猕猴桃（徐香、翠香、海沃德）采收时的果实硬度需≥12.0 kg·cm^{-2}，以确保果实具备足够的机械强度和耐贮性[14]。

干物质含量也是确定猕猴桃适宜采收期的重要参考标准之一，果实需达到一定的干物质含量方可

采收[12]，但具体采收标准因品种而异（表1）。若在干物质尚未充分积累时提前采收，易导致果实风味品质下降，且后熟品质难以满足基本要求[14]。

表1 猕猴桃不同主栽品种果实采收参考标准[14]

Table 1 Reference harvesting standards of different major kiwifruit cultivars[14]

品种 Cultivar	w（干物质）Dry matter content/%	w（可溶性固形物）Soluble solid content/%	果实硬度 Fruit firmness/（kg·cm^{-2}）
红阳 Hongyang	≥17.0	≥7.0	≥8.0
东红 Donghong	≥17.0	≥7.0	≥8.0
翠香 Cuixiang	≥17.0	≥7.0	≥12.0
金桃 Jintao	≥16.5	≥8.0	≥8.0
徐香 Xuxiang	≥16.5	≥7.0	≥12.0
海沃德 Hayward	≥16.0	≥6.5	≥12.0
金艳 Jinyan	≥15.5	≥7.5	≥8.0

1.2 外观品质

外观作为消费者对果品的第一印象，是市场接受度的重要决定因素,主要包括果形、表皮颜色和果面健康状况等。果实外观统一性高的产品更符合商品化标准，尤其是在出口市场中，外观统一性是重要的竞争指标。果形应端正、大小须均匀一致，避免畸形果进入市场。表皮颜色均匀性能够直接影响消费者的购买意愿。果面健康状况要求果实无病虫害、机械损伤或明显外观缺陷。表面损伤不仅影响果实外观，还可能导致贮藏期间微生物感染，进而缩短货架期[14]。因此，果实采收时需确保良好的外观品质，以充分满足消费者及市场的要求。

1.3 采摘时机与方法

采摘时机的选择直接影响果实的后续品质。一般而言，晴朗干燥的天气最适宜采摘，此时果实水分适中、病菌活性较低，可降低贮藏期间的腐烂率。相反，在降雨天气或高温高湿环境下采摘会增加果实受潮风险，导致果实品质劣化和贮藏损耗增加[15]。

在采摘过程中，应尽量避免机械损伤对果实品质造成的不利影响。人工采摘应遵循标准化操作，如要求采摘工人保持手部整洁或佩戴手套、采收时轻拿轻放，以减少果实在采收过程中因摩擦、刺伤、压伤、撞伤等造成的机械损伤[15]，并剔除明显损伤的果实、病虫果、畸形果等劣质果实。随着农业智能化和自动化水平的不断提高，机械化采收成为一个新趋势，猕猴桃采收也可借助农业机械采收以提高采收效率[16]。

2 猕猴桃贮藏及保鲜技术

贮藏保鲜是猕猴桃全产业链中不可或缺的核心环节，对保持果实品质、延长货架期和减少损耗具有关键作用。猕猴桃作为典型的后熟型果实，贮藏时其呼吸作用强烈且对乙烯高度敏感。在无人工干预的自然条件下，猕猴桃果实易发生软化、失水或病害侵染，进而导致品质严重下降甚至腐烂，最终丧失商品价值。科学的贮藏技术能够有效调控果实的呼吸速率、乙烯生成、水分损失和病害发生，从而延缓腐败进程，保持果实的新鲜度、硬度和风味，以满足市场需求并提升经济效益。

2.1 预冷处理技术

预冷处理是猕猴桃采后进入贮藏和保鲜环节前的重要基础性措施，其主要目的是在采收后迅速降低果实温度，减少田间热引发的不利影响。猕猴桃在采收和运输过程中仍保持较高的呼吸强度，若不能及时降温，易加速果实成熟与衰老进程，增加失水和病害发生风险，从而影响贮藏效果和果实品质。因此，预冷处理被认为是保障猕猴桃贮藏安全和延长货架期的关键环节之一[17]。

目前，猕猴桃常用的预冷方式包括强制风冷、冷水预冷和冷库预冷等。其中，强制风冷具有降温速度快、温度均匀性好等优点，适用于规模化生产和商品化处理；冷水预冷降温效率较高，但需注意水质管理，以防止交叉污染；冷库预冷操作相对简便，但降温速度较慢，适合采后短期内进入低温贮藏的果实。不同预冷方式应结合生产条件、果实成熟度及贮藏方式合理选择[18]。

研究表明，合理的预冷处理可有效降低猕猴桃的呼吸速率和乙烯生成水平，延缓果实软化和SSC变化，有助于维持果实硬度和风味品质。同时，预冷处理还能减少果实表面结露和机械损伤风险，为后续低温贮藏、气调贮藏及保鲜处理提供稳定的初始条件[19]。

在实际生产中，预冷处理应与采收成熟度控制、分级分选和贮藏方式相衔接，从而避免预冷不足或过度降温引发的冷害风险。通过科学实施预冷处理，可显著提升猕猴桃贮藏保鲜效果，为后续贮藏及保鲜技术的应用奠定良好基础。

2.2 低温与变温贮藏技术

低温贮藏是猕猴桃采后保鲜的基础技术之一，

其主要作用是通过降低温度来抑制果实的代谢活动，延缓呼吸作用和乙烯合成，从而延长贮藏期并保持果实品质。研究表明，低温处理能够抑制编码乙烯合成酶的基因表达，特别是1-氨基环丙烷-1-羧酸合成酶（1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase，ACS），从而抑制乙烯合成并减缓果实软化进程[20]。冉昇等[21]研究发现，与常温贮藏相比，低温贮藏能够有效延缓绿迷一号猕猴桃果实硬度的下降，显著延长果实贮藏期。Zolfaghari等[22]研究表明，在0~2 ℃条件下贮藏的猕猴桃，其SS、Vc等营养成分均能得到较好保持。然而，低温贮藏时间过长或贮藏温度过低可能诱发冷害或冻害，导致果肉褐变、失水或风味劣变。红阳猕猴桃对低温较为敏感，1~5 ℃低温处理虽然可以有效保持果实状态，但贮藏时间过长易导致果实发生冷害[23]。此外，低温贮藏还可有效抑制病原菌生长，降低果实腐烂率。

低温贮藏效果与环境湿度密切相关。贮藏湿度通常保持在90%以上，以减少水分蒸发，避免果皮皱缩[24]。未来的研究可聚焦于智能温湿度控制系统的开发，通过实时监测与动态调节，实现猕猴桃贮藏环境的精准管理。

变温贮藏是指在低温贮藏阶段，通过交替设置两个或多个低温处理调节果实的生理状态，从而减轻冷害发生、延缓果实软化进程并改善果实品质。Gwanpua等[25]研究表明，猕猴桃果实在0 ℃与2 ℃之间交替贮藏，可有效降低猕猴桃果实软果率及冷害发生率，保持果实硬度和风味品质。该策略通过周期性改变贮藏温度，促进果实细胞膜系统的修复和代谢恢复，从而提高冷藏适应性。

与单一恒温贮藏相比，变温贮藏在降低能耗和改善果实品质方面具有一定优势。然而，其贮藏效果受温度变化幅度、处理周期及果实成熟度等因素影响较大。若温度变化过于剧烈或周期设置不合理，可能会导致果实细胞壁结构受损，反而加速猕猴桃果实软化进程和品质劣变[26]。因此，合理设计低温阶段间的温差幅度与持续时长，是未来猕猴桃变温贮藏研究的重要方向。

2.3　气调贮藏技术

气调贮藏是通过调节贮藏环境中的氧气（O_2）和二氧化碳（CO_2）的相对比例以延缓果实成熟和衰老进程。孙兴盛等[27]利用气调包装膜的透过性，探究了自发气调处理对软枣猕猴桃品质的影响，结果表明，自发气调处理能有效将CO_2和O_2浓度维持在适宜果实贮藏的范围内。该处理方式利用果实自身的呼吸作用，在气调包装中逐步改变气体组成，从而形成稳定的低O_2、高CO_2贮藏环境，而无需依赖外部气体调控。在此环境下，猕猴桃的乙烯生成速率和呼吸强度显著降低，果实成熟进程被延缓，腐烂率明显降低。高CO_2浓度可抑制乙烯合成关键酶ACS和1-氨基环丙烷-1-羧酸氧化酶（1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid oxidase，ACO）活性，从而减少乙烯合成和积累。在低氧环境下，猕猴桃果实三羧酸循环受到限制，呼吸强度随之下降，从而减少能量消耗并推迟呼吸跃变期。研究发现，在5% CO_2＋2% O_2或3% CO_2＋3% O_2的气相比例条件下贮藏24周，猕猴桃果实质地、外观和风味仍能保持良好状态[28]，表明高CO_2、低O_2贮藏环境有助于延缓果实腐败并维持品质。

气调贮藏技术在食品工业生产中的应用包括动态气调技术和微气调包装技术。动态气调技术是根据果实成熟状态实时调整气体比例，避免长时间高CO_2环境导致果实产生异味。微气调包装技术是利用可调控气体透过性的包装膜，使包装内的气体环境自然形成平衡状态，简化了传统气调设备的操作。目前，气调贮藏技术在高端果实市场中得到广泛应用，如新西兰Zespri品牌通过该技术实现了高品质果实的持续输出。

2.4　1-MCP保鲜技术

1-MCP是一种乙烯受体抑制剂，通过与果实乙烯受体结合，阻断乙烯介导的多种信号传递链，从而延缓果实成熟和衰老进程，在果蔬保鲜领域中发挥重要作用。在猕猴桃储运调控中，该技术已被广泛证实在延迟后熟、抑制病害和维持风味品质方面的突出优势，近年来广泛应用于延长猕猴桃等果实的货架寿命[29]。研究显示，1-MCP处理能够显著延长红阳猕猴桃的货架寿命，同时保持果实硬度和风味品质[30-31]。该技术尤其适用于即食猕猴桃的贮藏和运输，可显著提高产品的商业价值。

不同猕猴桃品种对1-MCP的响应程度存在显著差异。100 $nL \cdot L^{-1}$ 1-MCP可抑制0 ℃贮藏期内秦美和海沃德猕猴桃的呼吸速率和乙烯释放速率，有效延长猕猴桃贮藏期及货架期[32]；红阳对乙烯较为敏感，1-MCP处理虽可显著延缓软熟进程，但若处理浓度或处理时间不当，可能导致催熟过程延迟或香气物质积累受阻。1-MCP通过抑制乙烯合成，阻

断乙烯与受体结合，并下调呼吸相关基因表达，降低红阳猕猴桃的呼吸强度，从而延缓果实衰老与软化进程，实现果实保鲜[30]；使用0.5 μL·L^{-1} 1-MCP处理徐香猕猴桃可有效减轻冷藏期间的冷害发生，并保持较好果实品质[33]。不同猕猴桃品种，1-MCP处理的最适浓度及贮藏期存在差异。软枣猕猴桃品种魁绿1-MCP处理的最适浓度（ρ，后同）为1.5 μg·L^{-1}、贮藏期约49 d；苹绿1-MCP处理的最适浓度为1.0 μg·L^{-1}、贮藏期约70 d；馨绿1-MCP处理的最适浓度为2.5 μg·L^{-1}、贮藏期约63 d[34]。1-MCP处理可在保持果实品质的同时延缓质地软化进程，有效降低腐烂率。

2.5 天然保鲜剂保鲜

天然生物调控剂对猕猴桃采后品质保持具有重要作用。水杨酸（salicylid acid，SA）处理可有效延缓果实色泽变化与软化进程，抑制可滴定酸含量下降以及Vc降解，并显著提高过氧化物酶（peroxidase，POD）活性，减轻膜脂过氧化程度，从而延长贮藏期[35]。茉莉酸甲酯（methyl jasmonate，MeJA）等物质也被证实可激活抗氧化酶活性，减少果实软腐病发生，提高果实品质[36]。

此外，食用香料植物精油、中草药提取物及可食性涂膜保鲜剂在猕猴桃贮藏保鲜中的应用效果显著。已有研究表明，肉桂酸、丁香酚、迷迭香、黄连、丁香、百里香、黄芩等天然活性成分，具有良好的抑菌抗氧化作用，能够延缓果实软化，抑制病原微生物侵染，提高贮藏期内的果实品质[37]。

综上所述，多种贮藏保鲜技术在延缓猕猴桃的生理成熟和维持果实品质方面发挥了重要作用，为果实的后续催熟处理奠定了基础。通过有效的贮藏保鲜技术延缓果实成熟后，精准可控的催熟技术则成为调控果实最佳食用品质的关键环节。

3 猕猴桃控熟技术

猕猴桃的后熟过程是决定猕猴桃口感和果实品质的关键环节。科学的催熟技术不仅能显著提高果实的糖酸比，还能促进挥发性风味物质的生成，改善果实风味和香气，从而更好地满足消费者对猕猴桃的品质需求。目前，栽培较多的两类猕猴桃分别是中华猕猴桃和美味猕猴桃，二者果实的后熟进程差异较大。因此，在生产实践中，应根据果实种类和品种采取相应的催熟策略。在催熟技术的研发中，乙烯催熟、变温催熟和品质调控是当前的主要研究方向。通过上述技术的持续优化和规模使用，为即食猕猴桃的商业化生产提供重要支持。

3.1 乙烯催熟技术

乙烯作为诱导猕猴桃后熟的核心调控因子，是影响果实货架寿命的主要因素。外源乙烯处理能够促进果实呼吸代谢和自身乙烯释放，加速果实软化进程[38-39]。

在实际应用中，乙烯处理有助于提升果实品质。但不同品种的果实催熟条件存在差异，且在果实后熟末期可能出现过熟或腐烂现象[39]。在呼吸跃变型果实的成熟进程中，其呼吸速率通常呈上升趋势并出现峰值，这一现象已在香蕉、梨、番茄等果实中得到证实[40]。不同猕猴桃品种对乙烯敏感程度存在差异。例如，翠香猕猴桃在50 μL·L^{-1}乙烯浓度下可实现良好催熟效果；而晚熟品种海沃德，其适宜乙烯处理浓度因果实硬度而异：当硬度≥5.5 kg·cm^{-2}时，100 μL·L^{-1}乙烯催熟效果较佳，硬度＜5.5 kg·cm^{-2}时，则以50 μL·L^{-1}乙烯更为适宜[41]；而在常温条件下，10~25 μL·L^{-1}乙烯可有效促进红阳猕猴桃果实成熟，达到良好的催熟效果[42]。

乙烯处理虽具有较高的催熟效率，但其作用过程不可逆，且浓度过高会加速果实后熟进程、导致风味劣变甚至腐烂。因此，在生产与贮藏过程中，往往需要结合其他调控技术，以延长果实的即食窗口期，即果实达到最佳食用品质的阶段。通常当猕猴桃果实硬度降低至3.1~14 N、可溶性固形物含量为14%~20%时，果肉质地柔软、风味协调，被认为是理想的即食状态[43]。未来的研究方向可聚焦于精准乙烯释放技术的开发、果实周围乙烯浓度的动态调控、软化速度和糖分积累的优化。此外，开发乙烯替代品或功能类似物，也可作为催熟方案的一部分，可用于提升后熟管理的灵活性和可控性。

3.2 变温控熟技术

变温控熟技术是近年来发展的一种猕猴桃采后成熟调控方法，其原理是通过温度的分阶段调控，实现果实代谢速率与后熟进程的协调，从而使果实软化更加均匀、有序。通常，变温控熟分为两个阶段：前期采用较高温度，以促进果实代谢与糖分积累；后期则通过较低温度处理，延缓呼吸作用与乙烯释放。

在控熟初期，适度的高温可促进呼吸代谢，激活淀粉降解与糖代谢途径，使SSC和糖酸比显著提高，

从而改善果实的甜度与风味。随后转入中低温阶段，可有效调控细胞壁降解速率，防止果实过快软化，保持果实质地与营养成分稳定。这一“高温促进代谢+低温延缓软化”的温度调控原则，能够在保证果实品质的同时精确控制成熟度，从而延长果实货架期。

余庭庭[44]研究表明，在徐香猕猴桃采后催熟过程中，采用15 ℃（24 h）、25 ℃（24 h）和15 ℃（至适宜食用）处理模式，能够显著促进果实淀粉降解、SSC积累及可滴定酸含量下降，同时在4 ℃贮藏条件下可保持较好的果实品质和延长货架期。何斌[45]在红阳和翠香猕猴桃催熟研究中发现，变温处理（25 ℃、10 h；10 ℃至适宜食用）能够有效调控果实软化进程，提高甜味物质和挥发性成分含量，延长货架期，改善食用品质。上述研究表明，适宜的变温催熟技术能够在保证果实品质的基础上，提高催熟效率、延长果实贮藏寿命，具有较好的产业化应用前景。

在实际应用中，可根据猕猴桃果实硬度、成熟度及目标市场需求，动态调控各阶段温度处理时长及转换时机，以实现更好的采后催熟效果。不同猕猴桃主栽品种催熟关键参数见表2。

表2　不同猕猴桃主栽品种催熟关键参数

Table 2　Reported ethylene ripening parameters and variable-temperature regulation conditions for major kiwifruit cultivars

品种 Cultivar	φ（乙烯）Ethylene treatment conditions/（μL·L^{-1}）	变温催熟参数 Variable-temperature regulation conditions/℃	参考文献 Reference
红阳 Hongyang	10~25	25 ℃/10 h → 10 ℃（适食 Suitable for eating）	[42，45]
翠香 Cuixiang	50	25 ℃/10 h → 10 ℃（适食 Suitable for eating）	[41，45]
海沃德 Hayward	50~100	–	[41]
徐香 Xuxiang	–	15 ℃ → 25 ℃ → 15 ℃（适食 Suitable for eating）	[44]
魁绿 Kuilü	50	–	[34]
苹绿 Pinglü	50	–	[34]
馨绿 Xinlü	50	–	[34]

注：乙烯处理与变温调控为不同研究中报道的独立采后成熟调控策略，二者并非必然按顺序联合应用。

Note: Ethylene treatment and variable-temperature regulation represent independent postharvest maturity regulation strategies reported in different studies and are not necessarily applied sequentially.

4　品质调控技术

猕猴桃作为典型的呼吸跃变型果实，其催熟处理直接决定果实是否具备即食性。催熟处理不仅关系到果肉软化进程和风味物质合成，还能够影响果实抗氧化能力、细胞完整性和消费者接受度。因此，建立高效、可控、智能化的催熟体系，是实现猕猴桃即食加工的核心技术之一。值得注意的是，果实品质调控并非独立的催熟技术，而是在乙烯处理、温度调控及贮藏环境共同作用下呈现的品质形成与变化结果。

猕猴桃的后熟进程不仅决定果实质地，还直接影响风味与营养品质。果实风味主要由可溶性糖、有机酸及芳香物质共同构成，营养价值则以Vc、膳食纤维和抗氧化物质含量为核心指标[46]。结果表明，5 μL·L^{-1}乙烯处理即可在24 h内显著诱导果实中果胶降解，促使果实快速软化；与此同时，SSC迅速累积，总酸与淀粉（含直链淀粉）含量随着催熟进程持续下降，果糖和葡萄糖含量由2.7%升至5.0%，而蔗糖含量则在第2天达到2.22%峰值后缓慢回落至1.19%，表明通过调节催熟时长可在不同阶段平衡可溶性糖的比例与总量。由此可见，在特定的温度、湿度（采用水蒸气饱和空气）、乙烯浓度及处理时间下，可实现对猕猴桃软化、风味变化及部分营养成分的有效调控，为后熟工艺参数的选择提供参考[47]。

芳香物质是影响猕猴桃风味的重要因素，主要包括酯类、醛类、醇类和萜类等挥发性化合物[48]。其中，乙酸乙酯和丁酸乙酯等酯类物质为猕猴桃的特征性香气物质[49]。酯类物质在后熟过程中逐渐积累，而醛类物质含量逐渐降低，其种类与含量受品种和催熟条件影响显著。酯类物质的形成主要受醇酰基转移酶（alcohol acyltransferase，AAT）活性的调控，该酶催化醇与酰辅酶A结合生成相应酯类，是决定猕猴桃特征香气生成的关键限速酶[50]。此外，醇脱氢酶（alcohol dehydrogenase，ADH）和脂氧合酶（lipoxygenase，LOX）等上游代谢酶通过提供酯类合成底物，为风味物质的积累提供代谢基础[51]。醇类物质的形成主要依赖于ADH的催化作用，该酶能够将醛类物质还原为相应的醇类化合物，是果实香气形成过程中承上启下的关键代谢环节。ADH活性的变化直接影响醇类物质的积累及其作为酯类合成

底物的供给效率，从而在果实整体风味形成中发挥重要调控作用。此外，*ADH*基因通常在果实成熟期显著上调表达，与乙烯信号及细胞内还原状态密切相关，这表明*ADH*基因不仅参与香气物质的代谢转化，也在果实品质发育的调控网络中发挥重要作用[52]。研究表明，在1-MCP处理下，红阳猕猴桃酯类物质的合成受到一定抑制[53]。Ali等[54]研究发现，1-MCP处理可显著减少乙醛、乙醇等副产物积累。此外，25 μL·L^{-1}乙烯＋间隔0 h + 1.0 μL·L^{-1} 1-MCP处理可提高徐香猕猴桃果实中酯类物质含量，并增加挥发性物质种类[55]。在冷藏条件下，猕猴桃芳香酯类物质减少的主要原因是低温抑制了其合成相关代谢酶的表达和活性。乙烯处理可在冷藏后有效恢复果实香气，提高风味品质[56]。

在营养方面，猕猴桃Vc含量、抗氧化能力及膳食纤维结构对环境条件较为敏感。高温催熟虽能加速果实成熟进程，却能加快Vc分解速率[57]，从而降低果实营养价值。运用气调贮藏技术，能够延缓Vc降解，提高果实的抗氧化能力，维持口感和质地的稳定性[58]。

此外，果实软化程度也是决定果实品质的指标之一。研究表明[59]，翠香和海沃德两种猕猴桃的贮藏稳定性主要源自多聚半乳糖醛酸酶（polygalacturonase，PG）和β-半乳糖苷酶（*β*-galactosidase，*β*-Gal）的差异。在1 ℃低温条件下贮藏可通过抑制PG活性而延缓果实软化。还有研究表明，在0 ℃条件下猕猴桃果实的软化过程同样受到乙烯信号的强烈调控。外源乙烯不仅能在20 ℃下加速果实软化，也能显著提升0 ℃贮藏下果实的软化速率；而乙烯合成抑制剂（aminoethoxyvinylglycine，AVG）处理则明显延缓软化，并使果实ACC浓度及ACO活性维持在较低水平。值得注意的是，即便在长期0 ℃贮藏后果实软化也并未伴随内源乙烯产量、ACC含量或ACO活性的明显上升，猕猴桃依然会从起始软化（约90 N下降至12 N）发展至成熟（6~8 N），这表明果实对乙烯的敏感性随成熟度和冷藏时长而增强[60]。

5 展 望

猕猴桃采收标准与采后处理技术对提升果实品质、延长货架期及满足市场需求具有重要意义。通过科学制定采摘标准、改进贮藏保鲜技术以及优化催熟工艺，猕猴桃的品质能更加符合消费者对即食水果的需求，尤其是在口感、风味和甜度等核心品质指标上。确定猕猴桃不同品种的适宜采收标准与采后处理技术，可有效减少果实损耗率，提高果实商品性，满足消费者需求，为猕猴桃商业化生产指明方向。

此外，采收标准与采后处理技术对中国猕猴桃产业的国际化发展具有重要推动作用。尽管中国是猕猴桃的原产地和全球最大生产国，但在高端市场中仍未形成与新西兰Zespri等品牌相抗衡的竞争力。通过智能化催熟设备、绿色保鲜包装技术及标准化的生产模式，不仅能够进一步提升猕猴桃的品质和生产效率，还将推动整个产业向可持续化方向发展，使中国猕猴桃有望实现从品质到品牌的全面升级。在国际贸易中，采后处理技术可以保证果实经过长途运输后仍能保持优质状态，进一步提升国产猕猴桃特色品种如红阳和翠香的品牌价值和市场接受度，中国猕猴桃产业将实现从传统种植到现代化、高附加值发展的转型，并在全球水果产业中占据更重要的地位。

综上，未来猕猴桃采后研究可围绕采收、贮藏保鲜及成熟调控等关键环节，针对当前存在的问题开展系统性研究与技术优化。（1）采收标准建立：在采收环节方面，未来研究应进一步推动采收标准的标准化与精准化。可建立“分品种、分等级”采收标准体系，引入干物质、硬度与果实色泽的快速无损检测技术，实现机械化或图像化分级，以提升采收精准度和作业效率。未来研究仍面临重要挑战，即不同产区与品种之间标准差异显著，如何实现标准体系的统一并提升传感检测设备的适配性仍需进一步深入研究。（2）贮藏与保鲜技术优化：在贮藏与保鲜环节方面，未来研究可进一步加强多种保鲜技术的集成与协同应用。构建集预冷、分级、1-MCP处理、MAS/MAP与催熟于一体的后处理中心，并结合智能仓控系统，对温湿度、气体组成及果实生理状态进行实时监测与动态调节，并通过云平台进行数据决策辅助。当前实际应用中，该类体系建设成本较高，设备运行维护及数据互联标准化仍是推广过程中的主要制约因素，后续研究可探索模块化、节能型设备方案。（3）成熟调控与品质形成控制：在成熟调控与品质形成方面，仍需进一步细化关键调控参数并深化机制研究。例如，可针对变温处理的具体参数进行

合理优化研究，如不同温度的持续时间、温度梯度的设计等[44]。此外，还可探索结合湿度调控的变温催熟方法，通过控制果实周围的相对湿度，进一步促进风味物质的积累和质地表现。目前相关研究仍多集中于实验室条件下，如何实现大规模、可控化的动态温湿调节仍是未来应用研究的重要方向。（4）数字化与溯源体系建设：从产业链整体角度出发，数字化与溯源技术的引入亦是未来发展的重要方向。可将无线射频识别技术（radio frequency identification，RFID）或区块链技术应用于果实批次追溯，搭建“从田间采收到采后贮藏再到商品销售”全链条可视化平台，提升品牌公信力与市场透明度。然而，区块链溯源的实际推广仍面临初期投入成本高、数据标准不统一及信息安全性低等现实挑战，未来可重点探索低成本、轻量化和多主体协同的解决方案，以促进其在产业链中的落地应用。

参考文献 References：

[1] CHEN C，CHENG D W，LI L，SUN X X，HE S S，LI M，CHEN J Y. Physiological characteristics and transcriptome analysis of exogenous brassinosteroid- treated kiwifruit[J]. International Journal of Molecular Sciences，2023，24(24)：17252.

[2] 齐秀娟，王然，张敏，林苗苗，李玉阔，孙雷明 . 猕猴桃育种研究进展[J]. 果树学报，2024，41(11)：2160-2172.
QI Xiujuan，WANG Ran，ZHANG Min，LIN Miaomiao，LI Yukuo，SUN Leiming. Research progress in kiwifruit breeding[J]. Journal of Fruit Science，2024，41(11)：2160-2172.

[3] WU Z Y，GU S C，GU H，CHENG D W，LI L，GUO X Z，WANG M，HE S S，LI M，CHEN J Y. Physiological and transcriptomic analyses of brassinosteroid function in kiwifruit root[J]. Environmental and Experimental Botany，2022，194：104685.

[4] 方金豹，钟彩虹 . 新中国果树科学研究 70 年：猕猴桃[J]. 果树学报，2019，36(10)：1352-1359.
FANG Jinbao，ZHONG Caihong. Fruit scientific research in New China in the past 70 years：Kiwifruit[J]. Journal of Fruit Science，2019，36(10)：1352-1359.

[5] 李大卫，黄文俊，钟彩虹 . 中国猕猴桃产业现状及“十五五”发展建议[J]. 果树学报，2024，41(11)：2149-2159.
LI Dawei，HUANG Wenjun，ZHONG Caihong. Current status of China’s kiwifruit industry and development recommendations for the “15th Five-Year Plan”[J]. Journal of Fruit Science，2024，41(11)：2149-2159.

[6] 郑建梅，肖妍，高贵田，封琦，李子君 . 乙烯催熟徐香猕猴桃的响应面试验及工艺优化研究[J]. 核农学报，2021，35(11)：2559-2568.
ZHENG Jianmei，XIAO Yan，GAO Guitian，FENG Qi，LI Zijun. Response surface test and process optimization of ethylene ripening Xuxiang Kiwifruit[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences，2021，35(11)：2559-2568.

[7] 吕娟莉，曹改莲，段眉会 . 即食猕猴桃推广价值及产业发展前景[J]. 中国果菜，2018，38(3)：57-59.
LÜ Juanli，CAO Gailian，DUAN Meihui. The promotion value and industrial development prospect of instant kiwifruit[J]. China Fruit & Vegetable，2018，38(3)：57-59.

[8] CHEN X Y，HE B，ZHANG W D，DING G，HU S F，WANG M X，JI X M，WANG X Y，LI A，LIANG J Y，ZHANG J Z，MAO J P，WANG X L，WANG Y，CHENG Y J，ZENG Y L. Fluctuating temperature and 1-methylcyclopropene treatment for controlling the ripening and supply of ready- to- eat kiwifruit[J/OL]. Food Quality and Safety，2026，10：fyaf073. https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyaf073.

[9] XIA Y，WU D T，ALI M，LIU Y，ZHUANG Q G，WADOOD S A，LIAO Q H，LIU H Y，GAN R Y. Innovative postharvest strategies for maintaining the quality of kiwifruit during storage：An updated review[J]. Food Frontiers，2024，5(5)：1933-1950.

[10] 高磊，张蕾，罗轩，白福玺，陈庆红 . 猕猴桃品种金农与金阳不同采收期果实品质动态分析[J]. 中国果树，2022(3)：37-43.
GAO Lei，ZHANG Lei，LUO Xuan，BAI Fuxi，CHEN Qinghong. Dynamic analysis of fruit quality of kiwifruit cultivars ‘Jinnong’ and ‘Jinyang’ at different harvest time[J]. China Fruits，2022(3)：37-43.

[11] BEIRÃO-DA-COSTA S，STEINER A，CORREIA L，EMPIS J，MOLDÃO- MARTINS M. Effects of maturity stage and mild heat treatments on quality of minimally processed kiwifruit[J]. Journal of Food Engineering，2006，76(4)：616-625.

[12] 方金豹 . 中国果树科学与实践-猕猴桃[M]. 西安：陕西科学技术出版社，2021：277-281.
FANG Jinbao. Science and practice of fruit trees in China：Kiwifruit[M]. Xi’an：Shaanxi Science & Technology Press，2021：277-281.

[13] CHOI H R，TILAHUN S，PARK D S，LEE Y M，CHOI J H，BAEK M W，JEONG C S. Harvest time affects quality and storability of kiwifruit (*Actinidia* spp.) cultivars during long- term cool storage[J]. Scientia Horticulturae，2019，256：108523.

[14] 钟彩虹，陈美艳 . 猕猴桃生产精细管理十二个月[M]. 北京：中国农业出版社，2020：98-102.
ZHONG Caihong，CHEN Meiyan. Twelve months of fine management of kiwifruit production[M]. Beijing：China Agriculture Press，2020：98-102.

[15] 陈春晓，张昭，陈美妮 . 猕猴桃果实采收及贮藏管理关键技术[J]. 西北园艺(果树)，2017(8)：21-22.
CHEN Chunxiao，ZHANG Zhao，CHEN Meini. Technologies for harvesting and storage management of kiwifruit fruits[J]. Northwest Horticulture，2017(8)：21-22.

[16] 房文泰 . 基于机器视觉的双笛卡尔并联机械臂猕猴桃采摘机器人研发[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2024.
FANG Wentai. Machine vision- based dual Cartesian- parallel-

arm kiwifruit harvester[D]. Yangling:Northwest A & F University,2024.

[17] ZHANG J Z, ZHANG W D, LIANG J Y, HE B, DING G, CHENG Y J, DENG X X, ZENG Y L. A physical twin model for simulation of kiwifruit core temperature during pre-cooling and cold storage[j]. Postharvest Biology and Technology,2024,212:112862.

[18] BROSNAN T, SUN D W. Precooling techniques and applications for horticultural products: A review[J]. International Journal of Refrigeration,2001,24(2):154-170.

[19] ZHANG J Z, TENG J C, LIANG J Y, GIBSON B W, ZHANG W D, LI A, CHENG Y J, ZENG Y L. Effect of different precooling strategies on the storage quality of kiwifruit[J]. Scientia Horticulturae,2025,344:114105.

[20] Nair S S, Singh Z Z, TAN S C. Chilling injury in relation to ethylene biosynthesis in 'Kensington Pride' mango fruit[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2004, 79(1):82-90.

[21] 冉昇,高萌,屈魏,王嘉慧,范晋铭,饶景萍 . 限气包装对'绿迷一号'软枣猕猴桃采后贮藏特性的影响[J]. 西北农业学报,2020,29(12):1848-1858.
RAN Bian, GAO Meng, QU Wei, WANG Jiahui, FAN Jinming, RAO Jingping. Effect of air-limiting package on postharvest storage characteristics of 'Lümi No. 1' *Actinidia arguta* fruit[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2020, 29(12):1848-1858.

[22] ZOLFAGHARI M, ALI SAHARI M, BARZEGAR M, SAMADLOIY H. Physicochemical and enzymatic properties of five kiwifruit cultivars during cold storage[J]. Food and Bioprocess Technology,2010,3(2):239-246.

[23] SUO J T, LI H, BAN Q Y, HAN Y, MENG K, JIN M J, ZHANG Z K, RAO J P. Characteristics of chilling injury-induced lignification in kiwifruit with different sensitivities to low temperatures[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 135:8-18.

[24] 潘林娜,陈长忠 . 温度、湿度和不同处理对猕猴桃贮藏性能的影响[J]. 中国果品研究,1995,15(3):12-14.
PAN Linna, CHEN Changzhong. The impact of temperature, humidity, and various treatments on the storage performance of kiwifruit[J]. China Fruit Research,1995,15(3):12-14.

[25] GWANPUA S G, JABBAR A, Matthew Z, HEYES J A, EAST A R. Investigating the potential of dual temperature storage as a postharvest management practice to mitigate chilling injury in kiwifruit[J]. International Journal of Refrigeration,2018,86:62-72.

[26] 张翼钊 . 猕猴桃采后品质评价及温度适应性研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2022.
ZHANG Yizhao. Postharvest quality evaluation and temperature adaptability of kiwifruit[D]. Handan: Hebei University of Engineering,2022.

[27] 孙兴盛,银徐蓉,周福慧,蒋海峰,姜爱丽,胡文忠,李江阔 . 气调包装对软枣猕猴桃品质的影响[J]. 包装工程,2019,40(19):73-79.
SUN Xingsheng, YIN Xurong, ZHOU Fuhui, JIANG Haifeng, JIANG Aili, HU Wenzhong, LI Jiangkuo. Effect of modified atmosphere packaging on quality of *Actinidia arguta*[J]. Packaging Engineering,2019,40(19):73-79.

[28] HARMAN J E, MCDONALD B. Controlled atmosphere storage of kiwifruit. Effect on fruit quality and composition[J]. Scientia Horticulturae,1989,37(4):303-315.

[29] DIAS C, RIBEIRO T, RODRIGUES A C, FERRANTE A, VASCONCELOS M W, PINTADO M. Improving the ripening process after 1-MCP application: Implications and strategies[J]. Trends in Food Science & Technology,2021,113:382-396.

[30] 林晋雨,肖丽,杨春平,龚国淑,陈华保 . 1-MCP 处理采后红阳猕猴桃果实生理效应的研究[J]. 四川农业大学学报,2023,41(2):307-317.
LIN Jinyu, XIAO Li, YANG Chunping, GONG Guoshu, CHEN Huabao. Study on physiological effects of 1-MCP treatment of postharvest 'Hongyang' kiwifruit[J]. Journal of Sichuan Agricultural University,2023,41(2):307-317.

[31] 曹森,马超,吉宁,巴良杰,龙秀琴,李苇洁,贾海,王瑞 . 1-MCP 对不同成熟度红阳猕猴桃保鲜效果及后熟品质的影响[J]. 食品科技,2018,43(11):29-37.
CAO Sen, MA Chao, JI Ning, BA Liangjie, LONG Xiuqin, LI Weijie, JIA Hai, WANG Rui. Effects of 1-MCP on preservation and ripening quality of Hongyang kiwifruit with different maturity[J]. Food Science and Technology,2018,43(11):29-37.

[32] 侯大光,马书尚,胡芳 . "秦美"和"海沃德"猕猴桃采后对 1-MCP 处理的反应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(4):43-47.
HOU Daguang, MA Shushang, HU Fang. Responses of postharvest "Qinmei" and "Hayward" to 1-methylcyclooropene[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition),2006,34(4):43-47.

[33] 王玉萍,饶景萍,李萌,赵海亮 . 1-MCP 对'徐香'猕猴桃冷藏期间冷害与果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(11):93-99.
WANG Yuping, RAO Jingping, LI Meng, ZHAO Hailiang. Effects of 1-MCP on chilling injury and quality of 'Xuxiang' kiwifruit during cold storage[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition),2013,41(11):93-99.

[34] 张宝香,赵滢,秦红艳,刘迎雪,范书田,路文鹏 . 1-MCP 不同处理浓度对不同品种软枣猕猴桃果实贮藏效果的影响(I)[J]. 特产研究,2019,41(4):64-67.
ZHANG Baoxiang, ZHAO Ying, QIN Hongyan, LIU Yingxue, FAN Shutian, LU Wenpeng. Dosage effects of 1-MCP treatments on the storage quality of different species of kiwifruit (I)[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research,2019,41(4):64-67.

[35] 蔡慧，王铭，李亚东，胡文忠，姜爱丽 . 水杨酸处理对贮藏软枣猕猴桃果实品质性状影响的研究[J]. 食品工业科技，2012，33(2)：376-379.
CAI Hui，WANG Ming，LI Yadong，HU Wenzhong，JIANG Aili. Study on the effect of salicylic acid on physiological indicators of *Actinidia arguta* Planch.[J]. Science and Technology of Food Industry，2012，33(2)：376-379.

[36] 盘柳依，赵显阳，陈明，付永琦，向妙莲，陈金印 . 茉莉酸甲酯调控防御酶活性诱导猕猴桃果实抗采后软腐病[J]. 植物保护，2019，45(1)：75-80.
PAN Liuyi，ZHAO Xianyang，CHEN Ming，FU Yongqi，XIANG Miaolian，CHEN Jinyin. Regulation of defense enzymes by methyl jasmonate to induce the resistance of kiwifruits against soft rot[J]. Plant Protection，2019，45(1)：75-80.

[37] 杜传来，王佳红，郁志芳 . 天然果蔬保鲜剂的研究与应用[J]. 食品工业科技，2004，25(5)：135-138.
DU Chuanlai，WANG Jiahong，YU Zhifang. Research and application of natural fruit and vegetable preservatives[J]. Science and Technology of Food Industry，2004，25(5)：135-138.

[38] WEI H Y，SEIDI F，ZHANG T W，JIN Y C，XIAO H N. Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables：A review[J]. Food Chemistry，2021，337：127750.

[39] 焦旋，冯志宏，高振峰，张立新，徐弘昌 . 外源乙烯熏蒸对 1-MCP 处理猕猴桃货架品质的影响[J]. 北方园艺，2021(3)：107-113.
JIAO Xuan，FENG Zhihong，GAO Zhenfeng，ZHANG Lixin，XU Hongchang. Effects of exogenous ethylene fumigation on shelf quality of kiwifruit treated by 1-methylcyclopropylene[J]. Northern Horticulture，2021(3)：107-113.

[40] 杨晓颖，胡伟，徐碧玉，金志强 . 乙烯与果实成熟关系的研究进展[J]. 热带农业科学，2008，28(2)：70-75.
YANG Xiaoying，HU Wei，XU Biyu，JIN Zhiqiang. Advances on the relationship between ethylene and fruit ripening[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture，2008，28(2)：70-75.

[41] 范洁琼 . ‘翠香’和‘海沃德’猕猴桃采后乙烯催熟技术研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2018.
FAN Jieqiong. Study on ethylene ripening technology in postharvest kiwifruits of ‘Cuixiang’ and ‘Hayward’[D]. Yangling：Northwest A & F University，2018.

[42] 袁沙，李华佳，朱永清，李可，袁怀瑜，徐瑞，钟杨，周艳，胡秋辉 . ‘红阳’猕猴桃乙烯催熟特性[J]. 食品科学，2018，39(9)：244-251.
YUAN Sha，LI Huajia，ZHU Yongqing，LI Ke，YUAN Huaiyu，XU Rui，ZHONG Yang，ZHOU Yan，HU Qiuhui. Ripening characteristics of ‘Hongyang’ kiwifruits following postharvest ethylene treatment[J]. Food Science，2018，39(9)：244-251.

[43] YAN H，WANG R，JI N，CAO S，MA C，LI J K，WANG G L，HUANG Y X，LEI J Q，BA L J. Preparation，shelf，and eating quality of ready-to-eat “Guichang” kiwifruit：Regulation by ethylene and 1-MCP[J]. Frontiers in Chemistry，2022，10：934032.

[44] 余庭庭 . 不同变温处理对‘徐香’猕猴桃后熟生理的影响[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2023.
YU Tingting. Effects of different temperature variations on the physiology of ‘Xuxiang’ kiwifruit ripening[D]. Yangling：Northwest A & F University，2023.

[45] 何斌 . 猕猴桃即食控熟技术研究[D]. 武汉：华中农业大学，2023.
HE Bin. Exploration of controlled ripening technology for ‘Ready- to- Eat’ kiwifruit[D]. Wuhan：Huazhong Agricultural University，2023.

[46] 李欣怡 . ‘翠香’猕猴桃采后后熟进程中感官品质与代谢物变化规律研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2024.
LI Xinyi. Study on changes in organoleptic quality and metabolites during postharvest ripening of ‘Cuixiang’ kiwifruit[D]. Yangling：Northwest A & F University，2024.

[47] MATSUMOTO S，OBARA T，LUH B S. Changes in chemical constituents of kiwifruit during post-harvest ripening[J]. Journal of Food Science，1983，48(2)：607-611.

[48] 曾硕，郭新宇，牛东升，李峰 . 多手段评测 5 种猕猴桃的挥发性风味成分[J]. 果树学报，2025，42(7)：1518-1531.
ZENG Shuo，GUO Xinyu，NIU Dongsheng，LI Feng. Multimethod evaluation of volatile flavor compounds in five kiwifruit varieties[J]. Journal of Fruit Science，2025，42(7)：1518-1531.

[49] 谭皓，廖康，涂正顺 . 不同采收期对猕猴桃香气成分的影响[J]. 北方园艺，2006(1)：27-28.
TAN Hao，LIAO Kang，TU Zhengshun. Effect of different harvest times on aroma components of kiwifruit[J]. Northern Horticulture，2006(1)：27-28.

[50] DEFILIPPI B G，KADER A A，DANDEKAR A M. Apple aroma：Alcohol acyltransferase，a rate limiting step for ester biosynthesis，is regulated by ethylene[J]. Plant Science，2005，168(5)：1199-1210.

[51] HUANG C H，ZHANG L，CHEN X Y，MCCOURT T E，WANG T C，WANG M Y，WINZ R A，MCCALLUM J N，BALDWIN S J，ATKINSON R G，NIEUWENHUIZEN N J. The aldehyde (ALD) locus controls C6-aldehyde production in kiwifruit and affects consumer perception of fruit aroma[J]. Plant Physiology，2025，198(3)：kiaf285.

[52] 王雪 . ‘吴堡青梨’酯类香气物质合成的分子机制解析[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2025.
WANG Xue. Analysis of the molecular mechanism of the synthesis of ‘Wubu green pear’ ester[D]. Yangling：Northwest A & F University，2025.

[53] 李辣梅，严涵，王瑞，吉宁，曹森，李江阔，马超，雷霁卿，巴良杰 . 1-甲基环丙烯对即食红阳猕猴桃货架寿命与风味的影响[J]. 食品与发酵工业，2023，49(12)：144-152.
LI Lamei，YAN Han，WANG Rui，JI Ning，CAO Sen，LI Jiangkuo，MA Chao，LEI Jiqing，BA Liangjie. Effects of 1-methylcyclopropene treatment on shelf- life and flavor of ready- to- eat Hongyang kiwifruit[J]. Food and Fermentation Industries，2023，

49(12)：144-152.

[54] ALI M，RAZA M A，LI S G，ZHOU L C，HUAN C，SHEN S L，ZHENG X L. 1-MCP regulates ethanol fermentation and GABA shunt pathway involved in kiwifruit quality during postharvest storage[J]. Horticultural Plant Journal，2021，7(1)：23-30.

[55] 郑建梅 . 乙烯+1-MCP 处理对‘徐香’猕猴桃果实后熟特性的影响及机理研究[D]. 西安：陕西师范大学，2022.
ZHENG Jianmei. Investigation on the effects and mechanisms of ethylene and 1-MCP treatments on postharvest ripening characteristics of‘Xuxiang’kiwifruit[D]. Xi’an：Shaanxi Normal University，2022.

[56] GÜNTHER C S，MARSH K B，WINZ R A，HARKER R F，WOHLERS M W，WHITE A，GODDARD M R. The impact of cold storage and ethylene on volatile ester production and aroma perception in‘Hort16A’kiwifruit[J]. Food Chemistry，2015，169：5-12.

[57] 李可，廖茂雯，林籽汐，袁怀瑜，潘翠萍，梁钰梅，朱永清，邬应龙，李华佳 . 基于多元统计法的不同质量猕猴桃果实品质分析[J]. 食品工业科技，2023，44(21)：285-292.
LI Ke，LIAO Maowen，LIN Zixi，YUAN Huaiyu，PAN Cuiping，LIANG Yumei，ZHU Yongqing，WU Yinglong，LI Huajia. Analysis of quality in different weight grading kiwifruits based on multivariate statistical method[J]. Science and Technology of Food Industry，2023，44(21)：285-292.

[58] 廖梓懿，周会玲，姚宗祥，王新茹，马慧 . 动态气调对“翠香”猕猴桃贮藏效果的影响[J]. 保鲜与加工，2021，21(12)：31-37.
LIAO Ziyi，ZHOU Huiling，YAO Zongxiang，WANG Xinru，MA Hui. Effects of dynamic controlled atmosphere storage on postharvest qualities of‘Cuixiang’kiwi fruits[J]. Storage and Process，2021，21(12)：31-37.

[59] YANG F，ZHAO R K，SUO J T，DING Y D，TAN J W，ZHU Q G，MA Y P. Understanding quality differences between kiwifruit varieties during softening[J]. Food Chemistry，2024，430：136983.

[60] KIM H O，HEWETT E W，LALLU N. The role of ethylene in kiwifruit softening[J]. Acta Horticulturae，1999(498)：255-262.