

李 可, 李华佳, 朱永清, 等. 成熟度、温度对乙烯处理“金艳”猕猴桃后熟特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(2): 182–187.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.02.027

成熟度、温度对乙烯处理“金艳”猕猴桃后熟特性的影响

李 可, 李华佳, 朱永清, 潘翠萍, 王艺月, 周 艳, 袁怀瑜

(四川省农业科学院农产品加工研究所, 四川成都 610066)

摘要:探讨成熟度和不同温度对乙烯处理金艳猕猴桃后熟特性的影响, 为合理制定猕猴桃催熟方案提供理论依据。以金艳猕猴桃为研究对象, 分析不同成熟度果实(盛花期后 154~159 d)在外源乙烯(100 $\mu\text{L/L}$)处理后的果实品质特性, 以及不同温度条件下外源乙烯催熟果实后熟特性。结果显示, 采用 100 $\mu\text{L/L}$ 外源乙烯处理可实现盛花期后(DAFB) 154~189 d 金艳猕猴桃的快速软化, 货架 3 d 果实硬度降低至商品成熟度($<1\text{ kgf}$), 软化后果实可溶性固形物含量达到 13.0%~14.0%, 可滴定酸含量降低至 0.4% 以下, 但盛花期后 175 d 果实催熟后果肉颜色品质显著优于低成熟度果实, 成熟度越高乙烯催熟效果越明显。温度对外源乙烯催熟效果影响较大, 乙烯处理可显著加速/改变 20 $^{\circ}\text{C}$ 货架温度条件下果实的软化进程, 而对 10 $^{\circ}\text{C}$ 条件下果实软化作用效果不明显。以上研究表明, 温度和成熟度对外源乙烯催熟金艳猕猴桃效果均有影响, 且主要受温度影响, 成熟度对外源乙烯作用的影响主要表现为成熟度越高对乙烯的敏感性越高。该研究为猕猴桃早采上市及人工催熟技术提供参考。

关键词:猕猴桃; 金艳; 乙烯; 催熟; 温度; 后熟特性

中图分类号: S663.409⁺.3; TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2023)02-0182-06

猕猴桃果实的生长发育过程一般分为细胞分化、细胞膨大、果实发育、成熟和衰老 5 个阶段^[1]。猕猴桃采后时期主要包括成熟和衰老 2 个阶段, 是果实品质形成、体现其商品价值的主要时期。猕猴桃采后随着果实的成熟衰老, 发生一系列物质转化, 影响果实的颜色、质地和风味等品质。当果实达到一定成熟度、物质转化进行到一定程度时, 果实呈现出细嫩多汁、酸甜可口特性, 从而被消费者所青睐。

金艳猕猴桃是世界三大黄肉猕猴桃之一, 属晚熟品种, 其花期一般在 4 月下旬, 谢花后 126~175 d 为果实的生长停滞期进入成熟阶段, 生产上一般在生长停滞期结束后即 10 月下旬至 11 月初进行采收(谢花 175 d 以后)^[2-4]。采摘后的果实在自然条件下一般需要 15 d 以上的后熟才能被食用, 而自然放

置成熟的果实由于个体成熟度差异较大、后熟进程不同步而导致成熟时间不一, 同时果实后熟过程中还易受到果实表面和外界环境微生物的侵染而腐败变质, 从而影响消费体验和产品经济效益。乙烯作为植物生长调节剂, 能调节成熟衰老进程, 改变果实商品成熟期, 已广泛应用于番茄、香蕉、猕猴桃、番石榴、番木瓜、京白梨、菠萝蜜、蛋黄果等果实, 以达到缩短后熟进程、调节市场供应期、降低腐烂率、提高商品性的目的^[5-14]。但只有达到一定成熟度即营养物质积累到一定程度, 在外源乙烯的作用下, 才能够实现果实的软化并表现出较为理想的风味品质特征^[15]。李泽珍等^[9]、陈金印等^[16]采用乙烯利分别对中华猕猴桃和金魁猕猴桃进行催熟, 结果表明乙烯浓度和温度是影响乙烯作用的关键因素。袁沙等通过对红阳猕猴桃催熟研究发现, 当果实干物质(DM)含量达到 17%、可溶性固形物(SS)含量 $\geq 5.5\%$ 时采摘, 经催熟后品质才能达到消费者需求, 且在 20 $^{\circ}\text{C}$ 条件下, 10~100 $\mu\text{L/L}$ 浓度范围内乙烯对红阳猕猴桃催熟均能实现果实的软化, 且浓度之间无显著差异^[17]。但尚未见金艳猕猴桃催熟相关技术研究。

基于以上研究结果, 本试验以金艳猕猴桃为研究对象, 分别研究了不同成熟度果实经外源乙烯催熟后的理化品质以及不同温度条件下外源乙烯催

收稿日期: 2022-02-09

基金项目: 成都市科技项目(编号: 2019-YF05-02356-SN); 四川省科技计划重点研发项目(编号: 2020YFN0149); 现代农业学科建设推进工程项目(编号: 2021XKJS063); 四川省农业科学院 1+9 揭榜挂帅项目——功能食品核心技术攻关(编号: 1+9KJGG007)。

作者简介: 李 可(1987—), 男, 河南永城人, 博士, 助理研究员, 主要从事果蔬贮藏保鲜研究。E-mail: like2341@126.com。

通信作者: 袁怀瑜, 硕士, 助理研究员, 主要从事果蔬贮藏保鲜研究。
E-mail: yuanhuaiyu53@163.com。

熟后货架期间果实品质变化,以期为金艳猕猴桃的采收与催熟提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2020 年 8—12 月在四川省农业科学院农产品加工研究所果蔬贮藏加工研究中心进行。供试猕猴桃品种为金艳,采摘自四川省成都市蒲江县复兴镇陈坝社区。

仪器与试剂:TA-XT Plus 质构仪,Stable Micro System 公司(英国)生产;CR-400 色差仪,柯尼卡美能达(日本)生产;855 型全自动滴定仪,Metronhm 公司(瑞士)生产;PAL-1 手持糖度计,ATAGO 公司(日本)生产;Tinytag View-4020 温度数据采集器,Gemini Data Loggers 公司(英国)生产。0.1 mol/L NaOH 标准溶液,阿拉丁生化科技股份有限公司(中国)生产。

1.2 试验方法

1.2.1 乙烯处理方法 参照袁沙等的研究结果^[17],选取 100 $\mu\text{L/L}$ 浓度乙烯进行催熟处理,具体操作方法为:将所需催熟处理的果实放入带有充气阀的塑料箱中(体积 60 L),并在塑料箱内同时放入 1 个小型充电风扇,密闭后注入 6 mL 乙烯气体,置于相应温度条件下 24 h 后,敞开塑料箱排除乙烯气体,将果实分装至带有塑料托盘的纸盒中以待检测。

1.2.2 乙烯处理的不同成熟度猕猴桃后熟特性 自盛花期后 154 d 开始至盛花期后 189 d 分批采收,每批间隔 7 d,共 6 个批次,分别记为 H1、H2、H3、H4、H5、H6。每批次果实采收 150 枚果实,其中 30 枚果实采后立即检测果肉硬度(FF)、色差角(Hue)、可溶性固形物(SS)含量、可滴定酸含量(TA)和干物质(DM)含量等指标,剩余果实在 20 $^{\circ}\text{C}$ 条件下用 100 $\mu\text{L/L}$ 浓度的乙烯催熟,设置 0 $\mu\text{L/L}$ 乙烯气体处理组作为对照,催熟处理后 1、3、5 d 进行检测果心硬度(core-F)、FF、Hue、SS、TA 等指标,抽取样本量为 20 枚。

1.2.3 不同温度条件下乙烯处理的猕猴桃后熟特性 根据熟化能力试验结果,当果实达到较高成熟度时另外分别采收 2 个批次(盛花期后 182、196 d)的猕猴桃(H7、H8),各约 800 枚。采后将果实分为 A(10 $^{\circ}\text{C}$ 、0 $\mu\text{L/L}$)、B(10 $^{\circ}\text{C}$ 、100 $\mu\text{L/L}$)、C(20 $^{\circ}\text{C}$ 、0 $\mu\text{L/L}$)、D(20 $^{\circ}\text{C}$ 、100 $\mu\text{L/L}$)处理,将不同处理果实置于相应温度条件下待果心温度与库温一致,催

熟果实采用 100 $\mu\text{L/L}$ 乙烯处理 24 h,移除乙烯后于对应温度条件下放置货架,以相同温度条件下 0 $\mu\text{L/L}$ 乙烯气体处理作为对照。监测果实 FF、Core-F、Hue、SS、TA 等指标的变化规律。

1.2.4 指标检测 果肉硬度(FF)与果心硬度(Core-F)检测参照 Burdon 等的方法^[15]。

可溶性固形物(SS)含量:采用数显式糖度计进行测定。取果实两端果肉,挤压取果汁,混匀后用胶头滴管取 2 滴用于测定,结果以%表示。

可滴定酸(TA)含量:取果实两端果肉,挤压取 1 mL 果汁,采用瑞士万通 855 型全自动滴定仪滴定,以 0.1 mol/L NaOH 标准溶液为滴定液,以 pH 值 8.2 为滴定终点,记录数据并按式(1)计算可滴定酸含量,结果以%表示。

可滴定酸含量 = $c \times (V_1 - V_0) \times f \times 100\%$ 。(1)
式中: c 为 NaOH 滴定液浓度, mol/L; V_1 为滴定滤液消耗氢氧化钠的体积, mL; V_0 为滴定蒸馏水消耗的 NaOH 体积, mL; f 为折算系数, g/mmol (以柠檬酸计)。

色差角(Hue):选取待测果实中间最大横径处,削除 2 mm 厚度果皮和果肉后采用色差仪测定,读取 Hue 值表示果肉颜色。

干物质(DM)含量:在果实中端切取 2 mm 的薄片于恒质量称量皿中,置于 65 $^{\circ}\text{C}$ 恒温干燥箱烘干至恒质量,记录数据并按式(2)计算干物质含量,结果以%表示。

$$\text{干物质含量} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: m_0 为称量皿质量, g; m_1 为果实鲜质量 + 称量皿质量, g; m_2 为果实干质量 + 称量皿质量, g。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 进行数据计算, Origin 8.5 绘图。采用 SPSS 15.0 进行单因素方差分析,采用最小显著差数法($\alpha = 0.05$, LSD)进行不同处理间均值的显著性差异比较。

2 结果与分析

2.1 不同采收期果实理化指标变化

由图 1 可知,金艳猕猴桃在盛花期后 154 d 挂果期间随着成熟度的提高果实 FF、Hue 值逐渐下降,SS 含量逐渐上升,DM 含量呈波动下降趋势,TA 含量基本保持不变。盛花期后 154 ~ 175 d 期间 FF 下降速率为 0.17 kgf/周,盛花期后 182 ~ 189 d FF 下

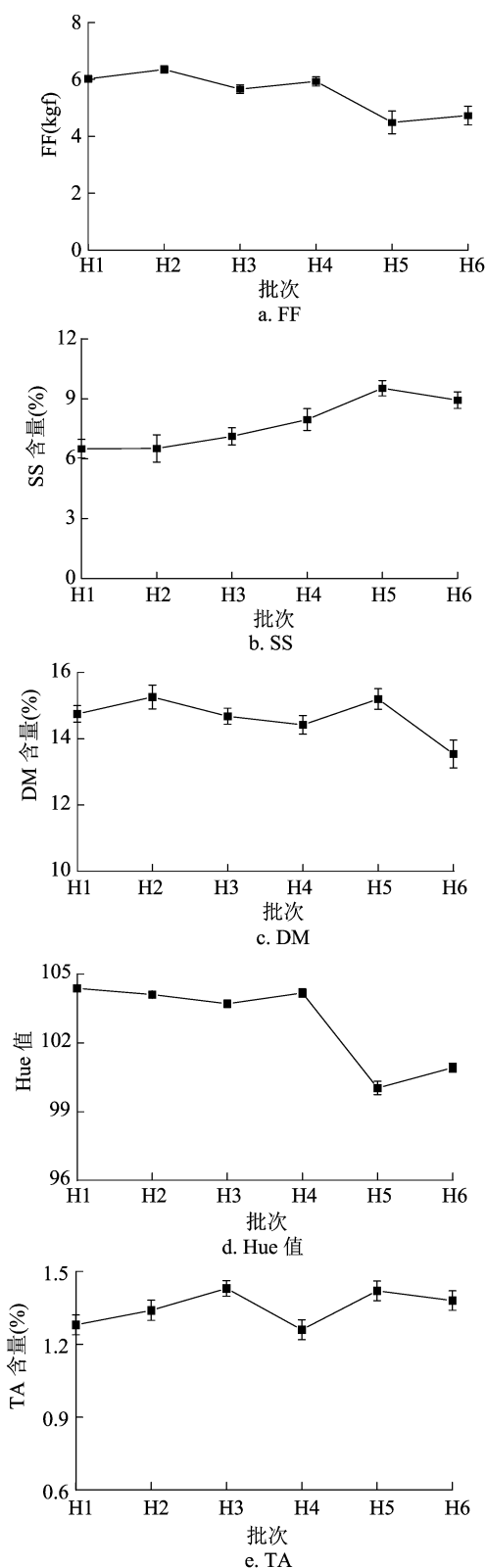


图1 不同采收期金艳猕猴桃理化指标

降速率增加至 0.39 kgf/周, Hue 等指标变化趋势与 FF 较为一致, 在前期下降也比较平缓, 在盛花期后 175 d 快速下降。

不同批次间 FF 显著性分析结果显示, 盛花期

后 154 ~ 175 d 之间无显著性差异, 182 ~ 189 d 之间无显著性变化, 175 d 以前和 182 d 以后差异显著 ($P < 0.05$)。SS 在盛花期后 154 ~ 161 d 上升较为缓慢, 为 0.20%/周, 而 168 ~ 189 d 上升速率为 0.60%/周, 说明 175 d 后猕猴桃物质转化逐渐加快, 与之相对应的是 DM 含量在 182 d 以后快速下降 ($P < 0.05$), 色差角 Hue 值出现下降拐点。以上研究结果说明, 盛花期后 175 d 果实已经进入相对平缓的成熟期, 与王琪凯等的研究结果^[2]较为一致。

2.2 乙烯处理的不同成熟度猕猴桃后熟特性影响

猕猴桃采后品质与成熟度密切相关, 本研究对盛花期后 6 个批次果实在 20 °C 条件下采用 100 $\mu\text{L/L}$ 外源乙烯催熟处理, 催熟后各批次果实理化指标变化如图 2 所示。由图 2 可知, 各批次猕猴桃在 20 °C 条件下采用 100 $\mu\text{L/L}$ 乙烯处理均可实现果实的软化, 在催熟后 3 d 猕猴桃硬度 FF 值低于 1 kgf, core - F 也与 FF 变化趋势一致, 达到消费者所接受的软化程度。以上结果可知, 盛花期后 154 d 的金艳猕猴桃可以通过外源乙烯处理提高果实的软化速率, 达到缩短软化进程的目的。

本研究通过对催熟后果实 SS、TA 及 Hue 分析发现, 各批次果实催熟后 5 d SS 含量均在 12.0% ~ 14.0% 之间, TA 含量在 0.2% ~ 0.4% 之间, 不同批次之间差异较小(图 2 - c、图 2 - e)。说明在盛花期后 154 d 金艳猕猴桃果实可以通过外源乙烯作用呈现出其甜酸风味特性。

金艳猕猴桃是典型的黄肉猕猴桃品种之一, 因此金黄的果肉颜色是评价其商品价值的重要指标之一。由图 2 - d 可知, Hue 值随着成熟度的增加而逐渐降低, 对各批次催熟后 5 d 果实 Hue 值做单因素方差分析结果显示, 受到采收成熟度的影响, 果实催熟后 H1、H2、H3 与 H4、H5、H6 之间色差值有显著差异, 平均值分别为 104.44、103.55、103.55, 而 H1、H2、H3 之间无显著差异, H4、H5、H6 之间也无显著差异, 后 3 个批次果肉颜色色差角值分别为 101.36、99.87、100.92, 同时研究还发现, 同一批次果实催熟前后果肉色差角 Hue 值变化较小。以上结果说明, 果肉颜色主要受到果实采收成熟度的影响, 而催熟对果肉颜色变化影响较小, 盛花期后 175 d 及以后的果实采用外源乙烯催熟后果肉颜色呈现的感官品质较早采收的好, 结合王琪凯等的研究结果^[2-4]可知, 盛花期后 175 d 可以作为猕猴桃适时采收的成熟度指标之一。

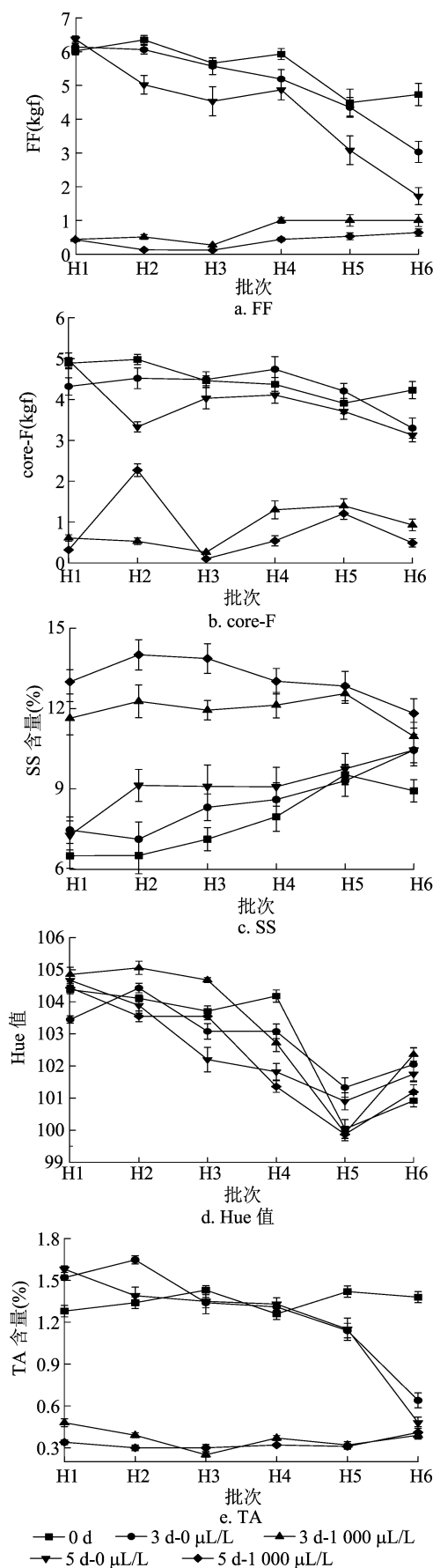


图2 乙烯处理的不同成熟度猕猴桃后熟过程中果肉品质变化

2.3 不同温度条件下乙烯处理的猕猴桃后熟特性分析

从不同处理各指标变化趋势(图3)来看,2个批次各处理果实随着FF的下降,core-F、Hue、TA等指标呈现出不同程度的下降,其中core-F和TA值变化趋势与FF变化趋势较为一致,Hue值呈现出震荡下降趋势。A、B、C3个处理SS含量伴随着FF值下降呈现出先快速上升而后略有下降的趋势。

Burdon等研究发现,常温下猕猴桃软化呈现“S”形变化曲线^[21]。通过不同温度下果实催熟结果(图3)可以看出,在H7批次中,C处理20℃、0 µL/L为“S”形硬度下降速率呈现出“慢—快—慢”趋势,其他3个处理果实FF、core-F、TA值含量变化趋势为“L”形,即快速下降随之趋于平缓,H8各处理硬度均呈“L”形变化。说明温度或乙烯均可改变猕猴桃采后的成熟进程。在10℃条件下,催熟与不催熟处理变化趋势较为接近,在0~5 d硬度下降较快,至15 d时即完成果实的后熟达到可食化状态,而后保持稳定,而20℃、100 µL/L处理的果实在3 d时硬度值迅速降低至可食化状态,而后趋于平缓。说明20℃条件下采用外源乙烯可显著加速/改变果实的软化进程,10℃条件下乙烯作用效果不明显。

从成熟度来看,随着成熟度的增加,果实硬度下降速率也明显增加。由图3-a可以看出,2个批次果实在20℃条件下采用100 µL/L乙烯处理后3 d均能实现果实快速软化,达到可以食用状态,且H8软化速率更快。20℃条件下不催熟的H7批次果实硬度下降至1.0 kgf以下需要15 d,H8批次果实需要10 d,软化进程缩短了5 d。同样地,在10℃条件下,H8批次催熟与不催熟果实软化进程相较于H7批次也缩短了5 d。此外,由于H8成熟度较高,20℃条件下不催熟果实硬度也呈现出“L”形变化趋势。该结果说明,成熟度对猕猴桃果实成熟衰老过程中也有影响。

由图3-d可知,各果肉颜色Hue值变化均呈逐渐下降趋势,果实软化后均在98~101之间。由图3-c可知,SS呈现先上升后下降趋势,当果实达到可食化状态时,SS含量均保持在13.0%以上,而后期下降主要原因在于伴随着果实的成熟衰老,前期由于部分淀粉转化为糖而快速上升,当物质转化进行到一定程度,果实为了维持生理活动的需要,会消耗营养成分进行呼吸作用,导致SS含量缓慢下降。由此可见,催熟对果实的感官品质影响不大。

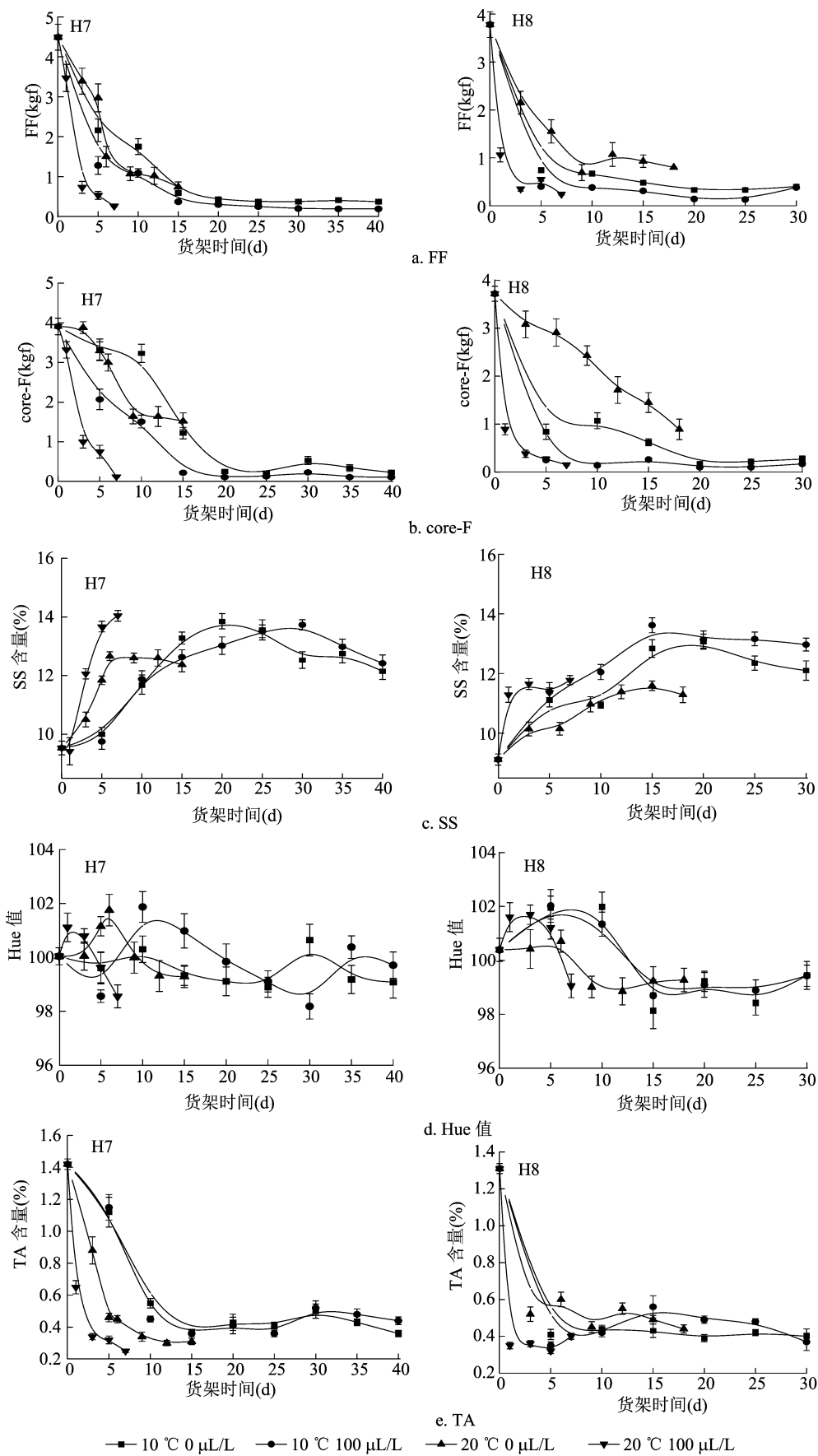


图3 不同温度条件下乙烯处理金艳猕猴桃理化指标变化

3 结论与讨论

本研究结果显示,盛花期后 154 ~ 175 d 各指标变化趋势与王琪凯等的研究结果较为一致,至 175 d 后果实可溶性固形物达到 7.5% ~ 8.5%,干物质含量达到 14.75%,此后果实 FF、Hue 等指标均发生显著变化^[2]。通过催熟后比较各批次指标发现,处在生长停滞期(154 d 后)的金艳猕猴桃可以通过外源乙烯实现猕猴桃的成熟软化,在 20 ℃ 条件下催熟后 3 d FF 即下降至消费者接受的状态,软化后果实可溶性固形物含量达到 13.0% 以上,TA 含量降低至 0.5 以下,催熟后食用品质良好,但 154 ~ 175 d 之间采收的果实催熟后果肉颜色偏绿(Hue 值 103 ~ 104),175 d 之后采收果实 Hue 值均能达到黄肉品种正常水平(99 ~ 101)^[2-4]。该研究表明,成熟度不仅是影响采后贮藏期及贮藏品质的关键,同时也是影响催熟后果实品质的关键,且盛花期后 175 d 果实催熟后才能体现金艳的品质特征,然而国内鲜有相关研究。钱政江等结合贮藏后果实品质分析得出,盛花期后 187 ~ 197 d 为长期贮藏最佳采收期^[3-4],对比可知,本研究结果可为金艳猕猴桃的早采上市提供参考依据。

温度是影响乙烯催熟效果的关键因素之一,温度过低或过高都会影响甚至抑制乙烯的释放和果实的后熟进程^[18]。本研究探讨了温度对乙烯作用效果的影响,结果显示在 20 ℃ 条件下外源乙烯可显著加速或改变果实的软化进程,10 ℃ 条件下能加速软化但乙烯作用效果不明显,与贾晓辉等的研究结果^[18]较为一致。通过对比外源乙烯催熟 2 个成熟度果实结果发现,成熟度越高,不仅果实在自然条件下软化进程有所改变,外源乙烯催熟效果也越明显,与香蕉、网纹甜瓜等呼吸跃变果实等研究结果^[19-20]一致。其原因在于较高成熟度果实由于其细胞膜透性及酶活性较高,外源乙烯对不同成熟度果实的调节作用机制存在差异,从而导致不同成熟度果实对外源乙烯敏感性不同^[20]。以上研究结果表明,成熟度是影响猕猴桃对外源乙烯敏感性的重要因素之一。

参考文献:

- [1] 田世平. 果实成熟和衰老的分子调控机制[J]. 植物学报, 2013, 48(5): 481 - 488.
- [2] 王琪凯, 杨丹, 张晓琴, 等. “金艳”猕猴桃果实生长动态规律和贮藏性能[J]. 食品科学, 2016, 37(9): 129 - 133.

- [3] 钱政江, 刘亭, 王慧, 等. 采收期和贮藏温度对金艳猕猴桃品质的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2011, 19(2): 127 - 134.
- [4] 杨丹. 采收成熟度对“金艳”猕猴桃品质的影响[J]. 北方园艺, 2018(2): 141 - 145.
- [5] 李洁. 外源 NO 和乙烯处理对番茄采后品质及乙烯合成相关基因表达的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015: 1 - 20.
- [6] Paull R E. Ethylene, storage and ripening temperatures affect Dwarf Brazilian banana finger drop [J]. Postharvest Biology and Technology, 1996, 8(1): 65 - 74.
- [7] Adão R, Glória M. Bioactive amines and carbohydrate changes during ripening of ‘Prata’ banana (*Musa acuminata* × *M. balbisiana*) [J]. Food Chemistry, 2005, 90: 705 - 711.
- [8] Ritenour M A, Crisosto C H, Garner D T, et al. Temperature, length of cold storage and maturity influence the ripening rate of ethylene - preconditioned kiwifruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 15(2): 107 - 115.
- [9] 李泽珍, 狄建兵, 张杰. 乙烯利处理对猕猴桃品质的影响[J]. 农产品加工(学刊), 2014(12): 8 - 9, 12.
- [10] Reyes M U, Paull R E. Effect of storage temperature and ethylene treatment on guava (*Psidium guajava* L.) fruit ripening [J]. Postharvest Biology and Technology, 1995, 6(3/4): 357 - 365.
- [11] An J F, Paull R E. Storage temperature and ethylene influence on ripening of *Papaya* fruit [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1990, 115(6): 949 - 953.
- [12] 贾晓辉, 张文江, 夏玉静, 等. 不同温度和外源乙烯处理对软肉梨后熟的作用效果研究[J]. 保鲜与加工, 2014(3): 25 - 28, 36.
- [13] 王俊宁, 陈文耀, 丰锋, 等. 乙烯利处理对菠萝蜜果实催熟的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(3): 94 - 98.
- [14] 卢艳春, 周婧, 杨志强, 等. 温度与乙烯利浓度对蛋黄果催熟的影响[J]. 中国热带农业, 2015(5): 61 - 63.
- [15] Burdon J, Pidakala P, Martin P, et al. Postharvest performance of the yellow - fleshed ‘Hort16A’ kiwifruit in relation to fruit maturation [J]. Postharvest Biology & Technology, 2014, 92: 98 - 106.
- [16] 陈金印, 陈明, 甘霖. 乙烯利和 ABA 处理对‘金魁’猕猴桃果实后期软化的生理效应[J]. 江西农业大学学报, 2005, 27(1): 6 - 11.
- [17] 袁沙, 李华佳, 朱永清, 等. ‘红阳’猕猴桃乙烯催熟特性[J]. 食品科学, 2018, 39(9): 244 - 251.
- [18] 贾晓辉, 王文辉, 佟伟, 等. 温度和乙烯对京白梨后熟进程及其品质的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(16): 282 - 285.
- [19] Inaba A, Nakamura R. Effect of exogenous ethylene concentration and fruit temperature on the minimum treatment time necessary to induce ripening in banana fruit [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1986, 55(3): 348 - 354.
- [20] 吕双双, 李天来, 吴志刚, 等. 外源乙烯对不同成熟度网纹甜瓜果实细胞壁水解酶活性的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(4): 344 - 350.
- [21] Burdon J, Pidakala P, Martin P, et al. Softening of ‘Hayward’ kiwifruit on the vine and in storage: the effects of temperature [J]. Scientia Horticulturae, 2017, 220: 176 - 182.