

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202602007

黄文俊, 杨洁, 张琦, 等, 2026. 不同采收期对‘东红’猕猴桃果实贮藏性、品质和响应低温的影响 [J]. 广西植物, 46(4): 682–693.

HUANG W J, YANG J, ZHANG Q, et al., 2026. Effects of different harvest times on storage performance, quality and response to low temperature of kiwifruit ‘Donghong’ [J]. *Guihaia*, 46(4): 682–693.



不同采收期对‘东红’猕猴桃果实 贮藏性、品质和响应低温的影响

黄文俊, 杨洁, 张琦, 韩飞, 吕海燕, 钟彩虹*

(植物多样性与特色经济作物全国重点实验室, 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074)

摘要: 为明确不同采收期对红心猕猴桃新品种‘东红’果实成熟度、贮藏性、软熟品质和响应低温的影响, 该研究以湖北省丹江口市生产的‘东红’猕猴桃为材料, 于盛花期后 125~181 d 设置 9 个采收期(H1–H9)。将果实置于 1 °C 下贮藏 16 周, 分析不同采收期对果实成熟度、软化速率、贮藏病害和软熟品质的影响, 并将果实分别置于 1、5、10、20 °C 下贮藏 7 d, 分析不同采收期对果实响应低温的影响。结果表明: (1) H1–H6 果实成熟度相近, H7–H9 果实进入晚熟阶段, 软化进程显著加快, 除 H1 和 H2 外, 各采收期果实干物质含量无显著性差异。(2) 采收期显著影响低温贮藏过程中的果实软化进程, 早(H1–H3)采果实的硬度曲线呈典型 S 型(缓慢–快速–缓慢), 而中晚期果实则为不完整 S 型。(3) 果实硬度降至 9.81 N 可食用水平所需时间随采收期推迟从 H1 的 15 周缩短至 H9 的 3 周。(4) 除早(H1–H3)采果实腐烂率(5.0%~16.5%)较高外, 其他采收期果实腐烂率基本处于 1.0%~2.0%之间。(5) 不同采收期对软熟后果实可溶性固形物含量、总糖、总酸、固酸比和糖酸比等指标整体无显著影响, 而维生素 C 含量随采收期推迟逐渐下降。(6) 不同采收期果实均能响应 10 °C 低温诱导而加速软化, 但此响应能力随采收期推迟至 H8–H9 时而减弱。综上, ‘东红’猕猴桃采收过早(H1–H3)会增加贮藏腐烂风险, 过晚(H7–H9)则显著缩短贮藏期, 但采收期对软熟后主要风味品质无显著影响。盛花后 159~165 d(果实硬度约 55 N)是其快速软化的临界点, 建议在此临界点前采收, 并结合 10 °C 处理可实现果实快速后熟。

关键词: 猕猴桃, 采收, 贮藏, 果实品质, 软化, 低温

中图分类号: Q946 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2026)04-0682-12

Effects of different harvest times on storage performance, quality and response to low temperature of kiwifruit ‘Donghong’

HUANG Wenjun, YANG Jie, ZHANG Qi, HAN Fei, LÜ Haiyan, ZHONG Caihong*

收稿日期: 2026-02-05 接受日期: 2026-03-31

基金项目: 湖北省现代农业产业技术体系水果(柑橘、猕猴桃)产业技术体系项目(2025HBSTX4-08); 湖北省支持种业高质量发展基金项目(HBZY2023A001-05)。

第一作者: 黄文俊(1981—), 博士, 副研究员, 研究方向为猕猴桃采后生理及贮藏保鲜技术, (E-mail) wjhuang@wbcas.cn。

*通信作者: 钟彩虹, 博士, 研究员, 研究方向为猕猴桃种质资源与育种, (E-mail) zhongch@wbcas.cn。

(State Key Laboratory of Plant Diversity and Specialty Crops, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to elucidate the effects of different harvest times on fruit maturity, storage performance, eating quality, and response to low temperature of the new red-fleshed kiwifruit cultivar ‘Donghong’, the fruits of ‘Donghong’ grown in Danjiangkou City, Hubei Province, were harvested at nine different times (H1–H9), ranging from 125 to 181 days after full bloom (DAFB) in this study. One group of the fruit was stored at 1 °C for 16 weeks to evaluate the effects of different harvest times on fruit maturity, softening rate, storage disorder, and soft ripening quality. Another group of the fruit was stored at 1, 5, 10, 20 °C for 7 days to assess the influence of different harvest times on the fruit’s response to low temperature. The results were as follows: (1) The fruit from H1 to H6 exhibited similar early maturity at harvest, whereas those from H7 to H9 had an advanced maturity, with the fruit being in a rapid softening phase. However, no significant difference in dry matter content were observed among each harvest time except between H1 and H2. (2) Harvest time significantly affected fruit softening process during cold storage. The early-harvested (H1–H3) fruits displayed a typical sigmoidal softening curve with three distinct phases (slow-fast-slow), while the mid- and late-harvested fruits showed an incomplete sigmoidal curve with only one or two softening phases. (3) The time taken for fruit firmness to reach the edible threshold (9.81 N) decreased significantly with delayed harvest, from 15 weeks for H1 to 3 weeks for H9. (4) Only the early-harvested (H1–H3) fruits exhibited a relatively high rot rate (5.0%–16.5%), while the rates for all other harvest times were within the range of 1.0%–2.0%. (5) Harvest time had no significant overall effect on indicators, such as soluble solids content (SSC), total sugar, total acidity, SSC/acidity, and sugar/acidity in ripe fruit, while vitamin C content progressively declined with delayed harvest. (6) The capacity of fruit to respond to 10 °C low-temperature induction with accelerated softening was evident across different harvest times, but this capacity weakened in the H8–H9 fruits with delayed harvest. In conclusion, harvesting ‘Donghong’ kiwifruit too early (H1–H3) increases the risk of storage rot, while harvesting too late (H7–H9) significantly shortens storage period. However, harvest time has no significant effect on the main flavor quality traits, such as SSC, total sugar, total acidity, and their respective ratios. The period of 159–165 DAFB, corresponding to a fruit firmness of approximately 55 N, represents the critical point for rapid softening. It is recommended to harvest before this critical point and utilize 10 °C treatment to achieve rapid post-ripening of the fruits.

Key words: kiwifruit, harvest, storage, fruit quality, softening, low temperature

猕猴桃因风味独特和富含维生素 C、矿物质元素、膳食纤维等营养成分,而享有“水果之王”的美誉,深受国内外消费者喜爱。随着红心猕猴桃品种‘红阳’的选育(Wang et al., 2003)和推广,全球猕猴桃市场呈现绿肉、黄肉、红肉(心)类型多元并存的格局,但目前全球主栽品种仍以绿肉类型为主,如‘徐香’‘翠香’‘Hayward’等(钟彩虹等,2021;Zhong et al., 2022)。在我国,‘红阳’猕猴桃品种存在树势弱、产量低、抗逆性差以及易感溃疡病与软腐病等问题,产业发展受到制约,种植面积呈萎缩之势。为应对此挑战,中国科学院武汉植物园从‘红阳’实生后代中选育出新型红心品种‘东红’。该品种兼具高抗、优质与极耐贮等优点(钟彩虹等,2016;黄文俊等,2019),截至 2022 年,其国内种植面积已逾 2 万 hm²,成为仅次于‘红阳’的第二大红心猕猴桃品种(Zhong et al., 2022)。

猕猴桃为非典型的呼吸跃变型果实,具有生理后熟特征。商业上通常在生理成熟时采收果实,并通过低温贮藏以延长贮藏期和供应期(McAtee et al., 2015; Burdon, 2018)。果实采收时的生理状态(即采收成熟度),结合采后温度管理,是决定其贮藏性能、果实品质及消费者接受度的关键因素(Burdon et al., 2004; Burdon, 2018)。大量研究表明,不同采收期对猕猴桃成熟度、果实品质和贮藏性能有显著影响(Costa et al., 1997; Maguire et al., 2005; Burdon et al., 2014; 王琪凯等,2016; Choi et al., 2019; Tilahun et al., 2020; 袁怀瑜等,2020; Goldberg et al., 2021)。过早采收虽可提早上市,但常因果实发育不充分而增加冷害风险并降低果实品质。例如,较早采收(盛花期后 149~170 d)的‘Hort16A’果实,在 1 °C 下贮藏 12 周后的冷害率(>80%)显著高于中晚期采收的

果实且冷害率随采收期推迟逐渐下降(Maguire et al., 2005; Burdon et al., 2014)。相反,过晚采收则因干物质积累增加而提升软熟品质,但加速软化进程,缩短贮藏期限,这一普遍规律在‘Hayward’‘Haegum’与‘Hongyang’等品种中均有报道(Choi et al., 2019; Tilahun et al., 2020)。然而,有研究表明采收期的推迟并不会显著提高干物质含量和软熟品质,如不同采收期的‘金艳’果实软熟后的可溶性固形物含量基本无显著性差异(陈成等,2020)。另外,‘Hayward’果实软化速率在3个不同采收期之间的差异相对较小;但‘Hort16A’果实在13个不同采收期之间的软化速率差异较大(Burdon et al., 2014),表明果实软化速率可能与品种特异性及采收期有关。冷害也会加剧果实腐烂的发生,尤其是早期采收的未充分发育的果实。例如,带冷害症状的‘Hort16A’果实腐烂率显著高于未发生冷害的果实腐烂率(Manning et al., 2016)。因此,对于新品种‘东红’而言,采收成熟度、贮藏果实软化速率、病害发生率以及软熟品质是否与采收期紧密相关,值得全面深入研究。

即食猕猴桃凭借即买即食的便利性,引领果品消费新趋势,其制备主要依赖于果实催熟技术(黄文俊等,2024)。冉欣雨等(2024)研究表明,猕猴桃果实中存在两条调控果实软化成熟的途径,即乙烯依赖途径和低温诱导途径。在5~15℃(尤其8~12℃)条件下,低温能有效促进淀粉降解和细胞壁组分降解,诱导果实软化和可溶性固形物含量、可溶性总糖上升,使果实快速达到可食用状态(Mworia et al., 2012; Mitalo et al., 2019)。例如,‘Hayward’猕猴桃果实在8~12℃下软化更快(Burdon et al., 2017),类似结果在‘Hort16A’(Burdon et al., 2014)‘金艳’(黄文俊等,2024)‘Rainbow Red’(Witere Mitalo et al., 2018)等品种上也得到验证,因此低温诱导处理也成为即食猕猴桃制备的新路径。然而,果实对低温诱导的响应能力受其采收成熟度的调控。例如,‘Hayward’早采果实对低温诱导的软化响应迟钝,而中、晚采果实则响应显著(Burdon et al., 2017)。这表明不同成熟度果实对低温响应的能力呈现较大差异。然而,目前有关‘东红’果实响应低温的研究鲜有报道,至于哪个采收期的果实具有较好的响应能力也尚未明确。

本研究以湖北省丹江口市生产的‘东红’猕猴桃为材料,采用分期采收、低温贮藏和不同温度处理的方法,通过果实采收成熟度测定、贮藏性能(软化和病害)、果实品质和低温响应等分析,拟探讨如下问题:(1)不同时间采收的果实是否具有显著差异的果实成熟度;(2)低温贮藏过程中果实软化速率是否受到采收期的影响;(3)贮藏结束时果实病害发生率是否与采收期有关;(4)软熟后果实品质是否受到采收期的影响;(5)采收时间是否影响果实响应低温诱导软化的能力。本研究结果有望为该品种的商业化采收、贮藏以及即食果实制备提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

猕猴桃红心新品种‘东红’种植于湖北省丹江口市习家店镇高标准猕猴桃示范基地内(111°12'E、32°48'N)。该基地年平均气温为7.7~16.0℃,年降水量为750~900 mm,海拔289 m。土壤为河滩沙地,熟土层30 cm左右,底层为河沙和卵石。该基地于2016年由中国科学院武汉植物园负责建设,并于2017年嫁接‘东红’接穗,砧木为‘米良1号’实生苗。种植株行距为2 m × 4 m,南北行向,平顶大棚架式,园区配有自动喷灌设施。2022年选择同一地块内种植的约200株‘东红’用于本研究,于谢花后14 d使用14.3 μL · L⁻¹氯吡脞(0.1% CPPU,四川省兰月科技有限公司)进行浸果处理,并于谢花后30 d左右套红褐色单层果袋。

1.2 方法

于2022年8月19日(盛花期后125 d)至2022年10月14日(盛花期后181 d)期间约每7 d采收1次,共9个采收期(H1-H3、H4-H6和H7-H9分别对应早、中、晚采收期,表1)。每次从所有果树上随机采摘约800个果实,采后当天常温运输至中国科学院武汉植物园实验室。挑选大小相似、无病害、无损伤果实,分装于果框或单层托盘盒内。每框装入果实约100个,框内套有开孔聚乙烯保鲜袋用于贮藏保湿。每单层托盘内装25个果实,覆盖聚乙烯薄膜保湿。果实运抵后,立即从所有待分选果实中随机挑选30个用于采收时成熟度检测。每个采收期设置7框果实,其中3框用于贮藏过程中硬度与可溶性固形物含量检测,

另外 3 框用于不同贮藏期结束时及转移至 20 ℃ 货架 7 d 结束时果实腐烂率检测,最后 1 框用于低温贮藏结束时软熟后内在品质检测。果框直接置于 1 ℃ 冷库内预冷并低温贮藏 16 周,之后转移到 20 ℃ 下贮藏 7 d 以模拟货架期。在低温贮藏过程中,从 3 框果实中每次取 20 个果实用于硬度和可溶性固形物含量检测,每 2 周检测 1 次。于低温贮藏 10 周、12 周和 16 周时分别取 1 框果实统计腐烂率,统计完成后转移到 20 ℃ 下贮藏 7 d,再次统计腐烂率。另外,参考 Burdon 等(2017)的方法,选择早(H1-H2)、中(H5-H6)、晚(H7-H9)期采收的果实,将装有果实的单层托盘盒分别置于 1、5、10、20 ℃ 下贮藏 7 d,之后检测果实硬度及可溶性固形物含量,每个采收期检测 20 个果实,以分析不同采收期对低温响应的影响。

1.3 果实成熟度指标及测定方法

果实采收时成熟度指标包括果重、果实硬度、果心硬度、果肉颜色、可溶性固形物含量和干物质含量等。果重使用分析天平(Mettler Toledo, Switzerland)测定。果实硬度和果心硬度的测定参考 Li 等(2016)的方法,采用 GS-15 质地分析仪(GUSS Manufacturing, South Africa)测量,在果实赤道处削掉约 1 mm 厚果皮,使用直径 7.9 mm 探头测定果实硬度,每个果实测量 2 次,测定部位互为 90 度,取平均值作为硬度值,单位为 N。在果实果梗端离果梗 15 mm 横切,采用直径 3 mm 探头插入果心组织中测量果心硬度,仅测 1 次,单位为 N。果肉颜色采用 CR400(Konica Minolta, Japan)色差计测定,每个果实测量 2 次,测定部位互为 90 度,取平均值作为果肉颜色值,单位为(°)。可溶性固形物含量使用 PAL-1(Atago, Japan)折射仪测定。干物质含量采用称重法测定,取果实赤道部位厚 2~3 mm 的横切片,置于 FD-60 型食品脱水机(NESCO, USA)上 65 ℃ 加热 24 h 至恒重,分别称量烘干前后切片的质量,两者比值的百分比即为干物质含量。

1.4 内在品质指标及测定方法

低温贮藏 16 周后,将果实转移到 20 ℃ 货架中贮藏 7 d,每个采收期随机挑选 30 个软熟果实(硬度介于 3~8 N 之间)用于内在品质检测,包括果实硬度、可溶性固形物含量、可溶性总糖、总酸、固酸比、糖酸比和维生素 C(vitamin C, Vc)等指标。均以单果为单位进行果实硬度和可溶性固形物含量

的测定,测定方法同 1.3。检测后,取每 10 个果实的果肉大致等量混合,匀浆后作为 1 个生物样本用于总糖、总酸和 Vc 含量检测,每个采收期 3 个生物学样本。可溶性总糖含量按照《水果及制品可溶性糖的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法》(NY/T 2742—2015)测定,结果以葡萄糖含量折算,单位为%。总酸含量按照《食品中总酸的测定》(GB/T 12456—2021)测定并略作修改,采用自动滴定仪(HI931, Hanna Instrument)和 0.1 mol·L⁻¹ 氢氧化钠(NaOH)滴定液将样本溶液 pH 值滴定至 8.2,以柠檬酸折算总酸含量,单位为%。Vc 含量按照《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》(GB 5009.86—2016)中的 2,6-二氯酚酚滴定法测定并略作修改,使用自动滴定仪(HI931, Hanna)滴定,其单位为 mg·100 g⁻¹鲜重(FW)。固酸比和糖酸比则分别为可溶性固形物含量与总酸之比,可溶性总糖和总酸之比。果实腐烂率为腐烂果实数量与检测果实总数的百分比。

1.5 数据分析

结果以平均值±标准误表示。不同采收期之间的显著性差异分析采用 Tukey 多重检验,显著水平为 $P < 0.05$ 。贮藏过程中果实硬度与可溶性固形物含量的相关性分析采用分段线性拟合分析。所有数据分析和绘图均由 Origin 2024b 软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同采收期对果实成熟度的影响

9 个不同时期采收的果实成熟度结果如表 1 所示。果重仅 H3 与 H8 之间呈显著性差异,其他不同采收期之间无显著性差异,可能与 H3 果重最低、H8 果重最高有关。果实硬度在前 6 个时期(H1-H6)较高,维持在 60 N 左右;从 H7 开始逐渐下降,至 H9 时期降至 13.32 N,接近可食用硬度水平。果心硬度在 H1-H9 时期内变化幅度较小,即使在采收晚期(H7-H9)仍偏高,处于 36.46~46.40 N 之间。果肉颜色在 H1 时已降至 103.51°,达到黄肉品种商业采收要求,之后随采收推迟逐渐下降至 H9 时期的 96.82°;其中,早(H1-H2)、中(H4-H5)、晚(H8-H9)期采收果实之间存在显著性差异。可溶性固形物含量在 H1-H5 时期维持在 8.66%~9.52%之间,无显著性差异;从 H7 开始快速上升到 10.81%,随后逐渐上升至 H9 时期

的13.04%。干物质含量在 H1-H9 时期波动较小, H1 时期最低(17.40%), H2 时期最高(18.41%),

除 H1 和 H2 外,其他采收时期之间均无显著性差异(17.64%~18.18%)。

表 1 不同采收期‘东红’果实采收时的成熟度
Table 1 Maturity of ‘Donghong’ fruits at different harvest times

采收期 Harvest time	采收日期 Harvest date	盛花期后 时间 DAFB (d)	鲜果重 Fresh fruit weight (g)	果实硬度 Fruit firmness (N)	果心硬度 Fruit core firmness (N)	果肉颜色 Fresh color (°)	可溶性固 形物含量 SSC (%)	干物质含量 Dry matter content (%)
H1	2022-08-19	125	82.26±2.53ab	62.97±1.14a	45.10±1.21a	103.51±0.55a	8.66±0.36cd	17.40±0.23b
H2	2022-08-25	131	83.03±2.48ab	60.92±0.96a	46.17±1.38a	101.37±0.60b	8.94±0.43cd	18.41±0.15a
H3	2022-08-31	137	80.62±2.30b	58.42±0.98a	43.75±0.81ab	100.13±0.47bcd	8.97±0.57cd	17.64±0.21ab
H4	2022-09-07	144	82.15±2.24ab	62.37±1.58a	44.74±1.05a	99.54±0.42cd	8.95±0.38cd	18.18±0.20ab
H5	2022-09-14	151	86.55±2.48ab	58.22±1.09a	46.26±0.83a	98.73±0.36d	9.52±0.40bc	17.87±0.13ab
H6	2022-09-22	159	86.77±2.20ab	59.77±0.97a	38.95±0.87bc	101.15±0.34bc	7.55±0.27d	17.77±0.16ab
H7	2022-09-28	165	84.31±2.29ab	49.83±1.22b	44.13±0.95a	98.51±0.29d	10.81±0.29b	17.93±0.20ab
H8	2022-10-09	176	91.75±1.80a	28.11±2.13c	46.40±1.01a	96.69±0.13e	12.45±0.23a	17.64±0.20ab
H9	2022-10-14	181	82.56±1.89ab	13.32±1.15d	36.46±1.46c	96.82±0.20e	13.04±0.34a	17.76±0.18ab

注: DAFB. 盛花期后天数; SSC. 可溶性固形物含量。同列不同小写字母表示不同采收期之间的均值差异显著(Tukey 检验, 0.05 水平)。下同。

Note: DAFB. Days after full bloom; SSC. Soluble solids content. Means in the same column with different lowercase letters represent significant differences between different harvest times (Tukey test at 0.05 level). The same below.

2.2 不同采收期对果实软化和贮藏病害的影响

不同采收期对‘东红’果实在低温贮藏过程中的果实硬度具有显著影响。猕猴桃果实硬度曲线通常呈 S 型,可划分为缓慢软化-快速软化-缓慢软化 3 个阶段。本研究结果表明:‘东红’低温贮藏过程中的果实硬度曲线表现为 3 个、2 个甚至 1 个阶段(图 1:A),这与果实采收期紧密相关。早期(H1-H3)采收果实表现为典型的 3 阶段 S 型硬度曲线,在贮藏 2~4 周内其硬度下降缓慢;中期(H4-H6)采收果实表现为程度稍弱的 3 阶段 S 型硬度曲线,在贮藏 2~4 周内其硬度下降速率明显快于 H1-H3;晚期(H7-H9)采收果实硬度起点较低,在贮藏 2~4 周内快速下降,硬度曲线仅有 2 个或 1 个阶段。由于 H8 和 H9 果实已进入快速软化阶段,硬度起点低,通常不被商业采收所采纳,因此这里重点分析 H1-H7 时期果实。贮藏 6 周时,不同采收期果实硬度差异较大(36 N);随贮藏时间延长,差异逐渐缩小,至贮藏 10 周时缩小至 15 N;至贮藏 16 周时仅差 3 N。在新西兰猕猴桃产业

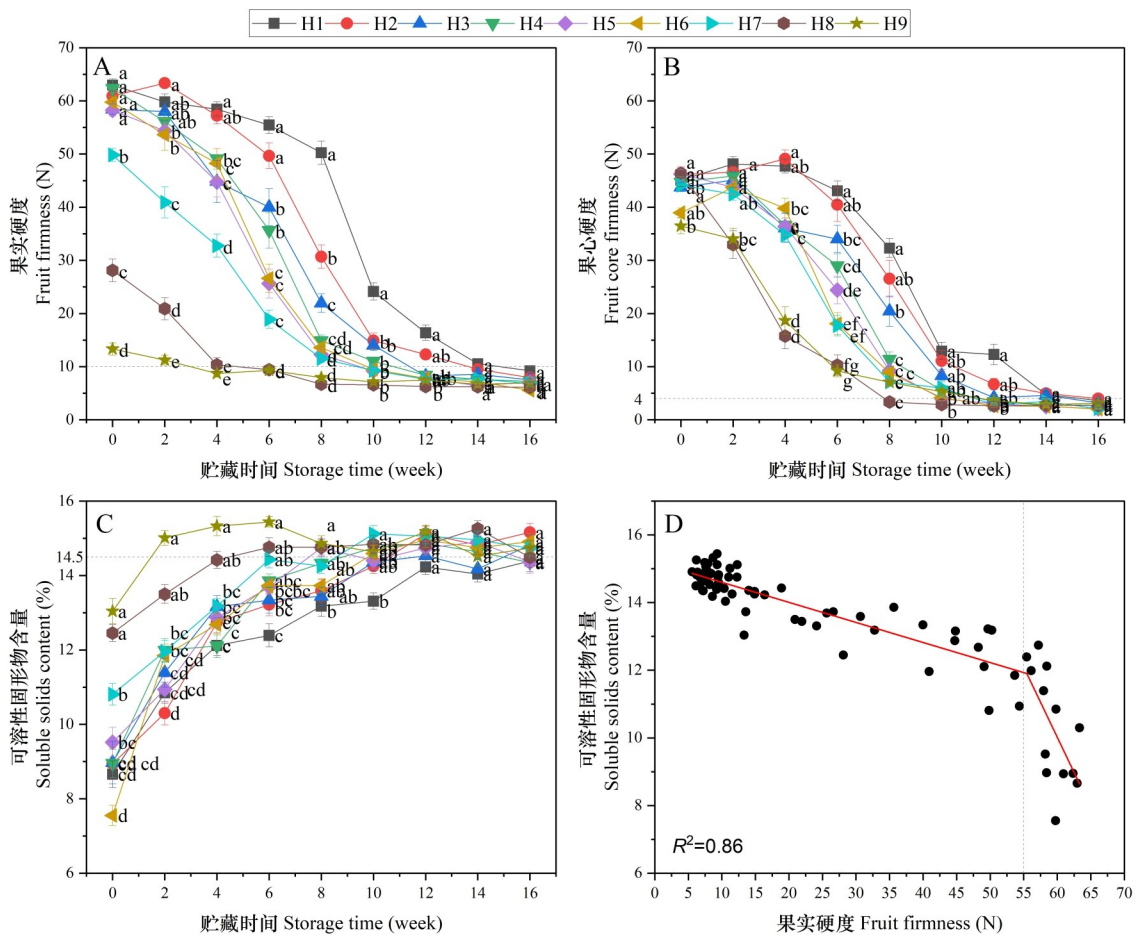
中,通常将果实硬度 9.81 N 作为可食用硬度阈值,因此果实达到 9.81 N 所需时间是判定贮藏期限的重要依据。根据不同采收期的硬度曲线, H1-H9 时期果实在 1 °C 低温贮藏下达到 9.81 N 所需时间分别约为 15、14、11.5、11、10、10、9.5、4、3 周,最大相差 12 周(图 1:A),表明不同采收期果实在低温贮藏下的软化速率和贮藏期限差异极大。

不同采收期对低温贮藏过程中的果心硬度也具有显著影响。果心硬度曲线与果实硬度曲线高度相似,也呈 S 型。根据曲线变化特征,大致可分为 3 种类型。一是 H1-H2 时期采收果实,贮藏 2~4 周内果心硬度变化非常小,具有 3 个明显软化阶段;二是 H3-H7 时期采收果实,贮藏 2~4 周内果心硬度下降明显快于早期采收且不同采收期之间果心硬度差异较小,至贮藏 6 周时差异最大(16 N),采收越晚,硬度下降越快;三是 H8-H9 时期采收果实,贮藏起始时果心硬度仍较高(>36 N),随后快速下降至稳定水平(3~4 N,图 1:B)。总体而言,采收时间严重影响低温贮藏过程中果

心硬度的下降速率,采收越晚,果心软化越快,H1-H9 果实在 1 °C 下果心硬度降至 4 N 稳定水平所需时间在 8~16 周之间。

随着果实软化,所有采收期果实的可溶性固形物含量均表现为先快速上升后趋于稳定,不同采收期之间的差异主要发生在贮藏前 6 周,随后差异逐渐缩小,至贮藏 10~16 周内除 H1 外其他采收期之间无显著性差异(图 1:C)。不同采收期果实可溶性固形物含量上升至稳定水平(14.5%~

15.0%)所需时间差异较大,如早期(H1-H3)果实需约 12 周,而晚期(H8-H9)果实仅需 2~6 周(图 1:C)。对 9 个采收期果实在贮藏过程中的果实硬度与可溶性固形物含量平均值进行相关性分析,发现两者呈负相关,但具有明显转折的线性关系;分段线性拟合分析发现,转折点约为 55 N,对应可溶性固形物含量约 12%,分段拟合 R^2 值高达 0.86(图 1:D)。这表明 55 N 为‘东红’果实快速软化启动的临界值,与图 1:A 结果吻合。



不同小写字母表示不同采收期在相同贮藏时间点上的均值差异显著(Tukey 检验,0.05 水平)。

Means with different lowercase letters represent significant differences between different harvest times at the same storage time point (Tukey test at 0.05 level).

图 1 ‘东红’果实在 1 °C 低温贮藏过程中的果实硬度、果心硬度、可溶性固形物含量的变化及果实硬度与可溶性固形物含量的相关性

Fig. 1 Changes of fruit firmness, fruit core firmness, soluble solids content (SSC) and correlation of fruit firmness and SSC of ‘Donghong’ fruits during cold storage at 1 °C

不同采收期对果实贮藏病害有一定影响。总体而言,较早(H1-H3)采收果实容易发生腐烂,如低温贮藏 16 周+常温货架 7 d 时,果实腐烂率为

5.000%~16.505%,H1 果实腐烂率最高(16.505%)。腐烂主要发生在果身和花柱端,而相同贮藏时期下的其他采收期(H4-H9)果实腐烂

率均低于1.2%,腐烂基本发生在果身(表2)。早期采收果实的腐烂率随贮藏时间延长而增加,尤以H1最为明显,其低温贮藏10周、12周和16周后的腐烂率分别为0.917%、1.064%和12.621%;转移到常温货架7d后,腐烂率显著增加(表2)。相比之下,中晚期(H4-H9)采收果实在低温贮藏各时期基本无腐烂,仅转移到常温货架7d后才发生较低水平腐烂,均低于2.2%,仅H7果实10周+7d除外(4.396%)(表2)。

2.3 不同采收期对果实软熟后内在品质的影响

不同采收期对‘东红’果实软熟后内在品质指标的影响不一致,其中对可溶性固形物含量、总糖、总酸、固酸比和糖酸比等风味指标影响甚微,绝大多数采收期之间无显著性差异,而对维生素C含量影响略大(表3)。不同采收期果实软熟后硬度均在4~6N之间,表明果实已充分软熟且各采收期间无较大差异。可溶性固形物含量集中在15.0%~15.9%之间,除H1和H3略低外,其他采收期之间无显著性差异。总糖和总酸分别集中在10.5%~11.5%和0.71%~0.76%之间,各采收期之间均无显著性差异;相应地,固酸比和糖酸比在各采收期之间亦无显著性差异。但是,维生素C含量在部分采收期之间具有显著性差异,总体趋势为随采收期推迟逐渐下降,从H1的最高含量143.03 mg·100 g⁻¹降至H8的最低含量126.51 mg·100 g⁻¹,降幅11.5%(表3)。

2.4 不同采收期对果实响应低温能力的影响

选择早(H1-H2)、中(H5-H6)、晚(H7-H9)时期采收的果实,置于4个不同贮藏温度(1、5、10、20℃)下贮藏7d,检测果实硬度和可溶性固形物含量的变化,以明确不同采收期果实在不同贮藏温度下的后熟速率变化。本研究结果表明,不同采收期果实均具有响应10℃诱导快速软化的能力,但随采收期推迟,该能力呈弱化趋势。具体而言,H1-H2时期采收果实的硬度在10℃下显著低于其他3个温度,1℃和5℃下硬度下降最慢,20℃次之;对应的可溶性固形物含量虽在10℃和5℃下最高,但不同温度之间无显著性差异(图2)。H8-H9时期采收果实的硬度在5、10、20℃之间,无显著性差异,均较1℃处理更快降至10N可食用硬度左右,而可溶性固形物含量呈相反趋势,但H9果实可溶性固形物含量在不同温度之间无显著性差异(图2)。H5-H7时期采收果实的硬

度均表现为10℃处理下最低,其次为5℃和20℃,1℃下最高,可溶性固形物含量呈相反趋势,但H5果实在20℃下可溶性固形物含量最高,与10℃无显著性差异(图2)。这表明10℃处理可显著诱导H5-H7果实快速软化,而1℃下软化最慢。因此,采收期显著影响果实对10℃低温诱导软化的响应能力。

3 讨论

3.1 采收期对果实成熟度的影响表现不一

不同采收期对果实成熟度具有不同程度的影响。猕猴桃果实具有自身内在的生长发育规律,当生长趋缓或停滞时,果重已经趋于或达到最终果重(Burdon, 2018)。本研究结果显示,果重在绝大部分采收期之间无显著性差异,表明延迟采收并未促进果实进一步增重。然而,‘东红’果实可溶性固形物含量的变化趋势与预期的典型S型曲线不符:自H1时期(125 DAFB)起,可溶性固形物含量已升至8.66%,并维持稳定直至H6时期才开始迅速上升,至H9时期时达到峰值13.04%。可溶性固形物含量的异常提前上升可能与2022年6—8月夏季高温干旱(孙博等,2023)有关。与本研究‘东红’种植于同一果园的‘金美’在2022年生长季中,其可溶性固形物含量也表现出相同趋势(黄文俊等, 2025)。与此同时,果实硬度在H1-H6时期保持稳定(约60N);但进入H7后,果实硬度开始迅速下降,可溶性固形物含量快速上升,符合猕猴桃果实进入快速软化阶段的典型特征(Richardson et al., 2011; Burdon, 2018)。猕猴桃果实软化阶段分为缓慢软化-快速软化-缓慢软化3个阶段,其中快速软化与淀粉降解、果胶降解有关,外在表现为硬度迅速下降,内在表现为淀粉降解导致可溶性固形物含量的快速上升(Burdon, 2018)。此外,干物质含量在绝大部分采收期之间无显著性差异,表明延迟采收并未显著增加干物质含量。有研究表明,‘Hort16A’果实干物质含量进入稳定平台期后,基本保持稳定或小幅提升0.5%~1.0%(Burdon et al., 2014),这往往与不同年份有关。‘金美’果实干物质含量在2021—2023年也表现出进入平台期后保持稳定的趋势(黄文俊等,2025)。干物质含量的积累趋缓,甚至停止与果实生长发育停滞有关,受到发育进程的精细调控。

表 2 ‘东红’果实 1 °C 低温贮藏不同时间及其转移至 20 °C 货架 7 d 后的腐烂率

Table 2 Rot rates of ‘Donghong’ fruit after different periods of low temperature storage at 1 °C and after being transferred to 20 °C shelf for 7 days

采收期 Harvest time	腐烂率 Rot rate (%)					
	10 周 10 weeks	10 周+7 d 10 weeks+7 d	12 周 12 weeks	12 周+7 d 12 weeks+7 d	16 周 16 weeks	16 周+7 d 16 weeks+7 d
H1	0.917	5.505	1.064	6.383	12.621	16.505
H2	0.000	3.409	0.990	2.970	1.000	5.000
H3	0.000	0.000	0.000	0.000	10.000	13.750
H4	0.000	1.075	0.000	1.942	0.000	1.000
H5	0.000	0.000	0.000	1.818	0.000	0.971
H6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
H7	0.000	4.396	0.000	0.000	0.000	0.980
H8	0.000	0.000	1.087	2.174	1.111	1.111
H9	0.000	0.000	0.000	1.075	0.000	0.000

表 3 ‘东红’猕猴桃软熟后果实品质分析

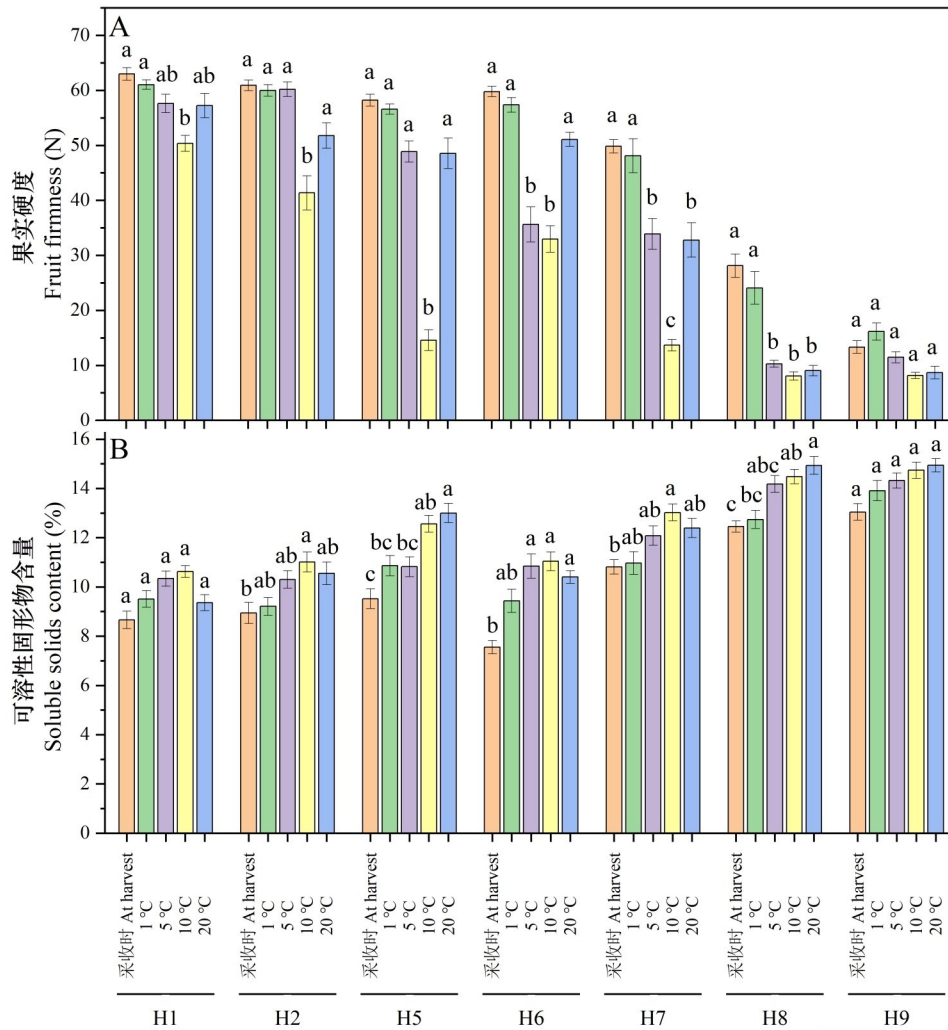
Table 3 Quality analysis of ripe fruit of kiwifruit ‘Donghong’

采收期 Harvest time	果实硬度 Fruit firmness (N)	可溶性固 形物含量 Soluble solids content (%)	总糖 Total sugar (%)	总酸 Total acidity (%)	固酸比 SSC/Acidity	糖酸比 Sugar/Acidity	维生素 C Vitamin C (mg · 100g ⁻¹)
H1	6.27±0.14a	14.45±0.22c	11.15±0.21a	0.71±0.00a	20.26±0.12a	15.63±0.35a	143.03±3.29a
H2	5.98±0.18ab	15.86±0.26a	10.90±0.24a	0.73±0.00a	21.70±0.06a	14.91±0.35a	141.48±1.97ab
H3	5.82±0.19ab	14.67±0.18bc	10.62±0.29a	0.72±0.01a	20.50±0.34a	14.85±0.64a	132.38±1.58bc
H4	4.78±0.12cd	15.62±0.20ab	11.52±0.11a	0.72±0.01a	21.60±0.42a	15.92±0.30a	135.07±2.19abc
H5	4.81±0.15cd	15.80±0.23a	11.29±0.13a	0.72±0.03a	22.11±0.77a	15.79±0.48a	130.81±3.15c
H6	5.04±0.19cd	15.66±0.22ab	10.77±0.51a	0.75±0.01a	21.00±0.32a	14.45±0.80a	130.19±0.28c
H7	4.63±0.18d	15.09±0.21abc	10.64±0.21a	0.72±0.01a	21.03±0.41a	14.81±0.11a	127.47±2.15c
H8	5.23±0.18bcd	15.33±0.19abc	10.55±0.26a	0.72±0.02a	21.48±0.64a	14.80±0.80a	126.51±0.39c
H9	5.46±0.21bc	15.63±0.34ab	11.01±0.22a	0.76±0.01a	20.58±0.23a	14.50±0.38a	135.00±0.48abc

3.2 采收期显著影响果实软化

采收成熟度显著影响果实软化进程。果实硬度曲线呈 S 型,可分为缓慢下降-快速下降-再缓慢下降 3 个阶段 (Schroeder & Atkinson, 2006)。本研究中,较早 (H1-H3) 采收果实表现出完整的 3 阶段 S 型软化曲线;而中晚期采收果实因在树上已启动软化,采后仅表现出 2 个或 1 个软化阶段。该现象与 ‘Hayward’ (Burdon et al., 2017) 和

‘Hort16A’ (Burdon et al., 2014) 品种中报道的规律相符,表明采后软化阶段数量与果实采收成熟度密切相关。此外,果实在贮藏中的软化速率亦受采收时成熟度的调控:较早 (H1) 采收的果实软化启动慢,贮藏期延长,其硬度降至可食用水平 (9.81 N) 需 15 周;晚期 (H9) 采收果实已在树上完成了快速软化,直接进入后熟状态,因此仅需 3 周即可降至 9.81 N。这一差异为通过调控采收期来



不同小写字母表示同一个采收期果实在 5 个处理(不同贮藏温度和采收时)间的均值差异显著(Tukey 检验, 0.05 水平)。

Means with different lowercase letters represent significant differences between five treatments (different storage temperatures and at harvest) for the same harvest time (Tukey test at 0.05 level).

图 2 不同采收期‘东红’果实不同贮藏温度下贮藏 7 d 后的果实硬度(A)和可溶性固形物含量(B)的变化

Fig. 2 Changes of fruit firmness (A) and soluble solids content (B) of ‘Donghong’ fruit in different harvest times after 7 days of storage at different storage temperatures

延长贮藏期与销售窗口提供了依据。

果心硬度变化在以往研究中常被忽视。大量研究表明果肉硬度与果心硬度具有不同的软化速率,气调贮藏或 1-MCP 处理对‘Hayward’果实的外果皮、内果皮和果心具有相同或不程度抑制效果(Burdon et al., 2017; Li et al., 2017; Gong et al., 2020)。本研究中,‘东红’采收时的果心硬度在不同采收期之间变化幅度较小,至 H9 时期时仍保持在 36 N,远高于同期果实硬度(13 N)。随后的低温贮藏结果表明,不同采收期对‘东

红’果实果心硬度具有显著影响。果心硬度曲线与果实硬度高度相似,均呈 S 型下降趋势,但与‘Hayward’品种中报道的线性下降模式不同(Burdon et al., 2017; Gong et al., 2020)。这一差异是否源于品种特性或采收成熟度的交互作用,尚需进一步研究。

3.3 采收期影响贮藏病害发生率

猕猴桃本质上是冷敏性果实,在不适宜低温下长期贮藏容易造成冷害,甚至冻害(Burdon, 2018)。猕猴桃贮藏性能表现通常包括硬度下降

(软化速率)和病害发生率(如生理性病害冷害和侵染性真菌病害等)两方面,而国内贮藏性研究往往忽视了对贮藏病害的分析。Manning 等(2016)研究表明,‘Hort16A’果实在低温贮藏后的腐烂率受到采收期和采后贮藏温度强烈影响,发育不充分的早采果实容易发生腐烂。本研究中,早期采收的‘东红’果实也表现出较高的腐烂率,特别是H1时期果实。受冷害损伤的果实腐烂率也会升高,尤其是早期采收发育不完全的果实(Manning et al., 2016)。同时,有研究证实早采的‘Hort16A’和‘金艳’果实容易发生冷害(Burdon et al., 2014; Manning et al., 2016; 袁怀瑜等, 2020)。然而在本研究中,尚未观察到‘东红’果实出现典型冷害症状(水渍状、颗粒状)(Burdon et al., 2014),可能与贮藏温度较高,时间不足或品种特异性有关,其冷害敏感性有待后续评估。

3.4 采收期对主要果实品质无显著影响

不同采收期对猕猴桃软熟果实品质的影响已有大量研究报道,但结果并非完全一致(钱政江等, 2011; 王国立等, 2019; Choi et al., 2019; Tilahun et al., 2020; 陈成等, 2020; Goldberg et al., 2021; 陈双双等, 2021)。尽管多数研究认为推迟采收可提高果实干物质含量、可溶性固形物含量、总糖含量以及糖酸比(王国立等, 2019; 李小艳等, 2020; Goldberg et al., 2021),然而在本研究中,‘东红’果实除维生素 C 含量随采收推迟略有下降(最大降幅 11.5%)外,其余品质指标(如可溶性固形物含量、总糖、总酸、固酸比和糖酸比等)均无显著变化。这一结果可能与采收时干物质含量无显著性差异有关。前人的研究结果已表明,果实软熟后的可溶性固形物含量与采收时干物质含量高度正相关(Burdon et al., 2004),而‘东红’果实采收时干物质含量在不同采收期之间(H1 与 H2 之间除外)无显著性差异,基本稳定在 17.5%~18.0%之间。类似现象在‘奉黄 1 号’(陈双双等, 2021)和‘金艳’(陈成等, 2020)品种中亦有报道。本研究中,果实总酸含量在各采收期间无显著性差异且分布于 0.71%~0.76%的极小范围内,这与‘金艳’软熟果实总酸含量随采收推迟逐渐降低的变化趋势不符(陈成等, 2020),但‘红阳’软熟后总酸含量却在晚采果实中高于早采或中采,而早采和中采之间无显著性差异(Tilahun et al., 2020)。关于采收时间对果实维生素 C 含量的影

响有相互矛盾的报道,维生素 C 含量随采收时间呈单边上升或先上升后下降趋势(陈成等, 2020; 陈双双等, 2021),与本研究中的变化趋势不一致。尽管绝大部分内在成分变化不显著,但晚期采收果实在感官评价中表现更优(数据未展示),提示其风味或芳香物质可能存在差异,值得进一步研究。

3.5 采收期影响果实响应低温诱导软化的能力

果实对低温诱导软化的响应能力亦受采收期调控。本研究结果表明,10℃处理可加速‘东红’果实软化和可溶性固形物含量上升,与‘Hayward’和‘Hort16A’在 8~12℃下软化最快的结论相符(Burdon et al., 2017; Mitalo et al., 2019)。冉欣雨等(2024)研究表明,猕猴桃果实中除了乙烯诱导果实软熟外,还存在低温(8~12℃)诱导果实软熟的第二条途径。这条途径不依赖于乙烯,而是果实响应低温,加速淀粉降解和细胞壁组分降解,导致可溶性固形物含量和总糖含量上升,硬度下降(Mworia et al., 2012; Mitalo et al., 2019)。然而,不同采收期果实的低温响应强度不同:H5-H7 时期果实响应最为显著,而较早(H1)采收果实响应较弱,晚(H8-H9)采果实则在不同温度下软化差异不显著。该趋势与‘Hayward’(Burdon et al., 2017)和‘Hort16A’(Burdon et al., 2014)的报道部分一致。例如,盛花后 121、156、170 d 采收的‘Hort16A’果实分别表现出有限的、一定的和较强的低温响应能力(Burdon et al., 2014)。这表明果实对低温的生理响应可能依赖其发育阶段。

4 结论

采收期对果实成熟度、果实软化速率、贮藏病害及低温响应能力具有较大影响,而对果实软熟后内在品质无显著影响(维生素 C 含量除外)。推迟‘东红’果实采收并不能显著促进果重和干物质含量以及软熟品质的进一步提升,但会加快果实软化,缩短贮藏期。综合分析,159~165 DAFB 可能是‘东红’果实快速软化启动的临界点,对应果实硬度临界值约为 55 N。不同采收期果实均具有响应 10℃低温诱导果实软化的能力,并且中期(151~165 DAFB)采收果实的响应低温能力较为显著。综合考虑,建议‘东红’猕猴桃在快速软化启动临界点前采收(可溶性固形物含量不超过

12.0%),以兼顾贮藏期与果实品质;结合 10 ℃ 处理,可实现果实快速后熟。

参考文献:

- BURDON J, MCLEOD D, LALLU N, et al., 2004. Consumer evaluation of “Hayward” kiwifruit of different at-harvest dry matter contents [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 34(3): 245–255.
- BURDON J, PIDAKALA P, MARTIN P, et al., 2014. Postharvest performance of the yellow-fleshed ‘Hort16A’ kiwifruit in relation to fruit maturation [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 92: 98–106.
- BURDON J, PIDAKALA P, MARTIN P, et al., 2017. Softening of ‘Hayward’ kiwifruit on the vine and in storage: The effects of temperature [J]. *Scientia Horticulturae*, 220: 176–182.
- BURDON J N, 2018. Kiwifruit biology: The commercial implications of fruit maturation [J]. *Horticultural Reviews*, 46: 385–421.
- CHEN C, WANG Y, YANG Y, et al., 2020. Effects of maturity stage on fruit quality and aroma components of ‘Jinyan’ kiwifruit [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 36(31): 28–36. [陈成, 王依, 杨勇, 等, 2020. 采收成熟度对‘金艳’猕猴桃果实品质及香气成分的影响 [J]. *中国农学通报*, 36(31): 28–36.]
- CHEN S S, HE Y Q, XU X B, et al., 2021. Effect of different harvest time on fruit quality of ‘Fenghuang No.1’ kiwi fruit [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 43(6): 1259–1268. [陈双双, 贺艳群, 徐小彪, 等, 2021. 不同采收期对‘奉黄1号’猕猴桃果实品质的影响 [J]. *江西农业大学学报*, 43(6): 1259–1268.]
- CHOI H R, TILAHUN S, PARK D S, et al., 2019. Harvest time affects quality and storability of kiwifruit (*Actinidia* spp.): Cultivars during long-term cool storage [J]. *Scientia Horticulturae*, 256: 108523.
- COSTA G, QUADRETTI R, SUCCI A, et al., 1997. Influence of harvest time and temperature on fruit quality and storage of kiwifruit (cv Hayward) [J]. *Acta Horticulturae*, 444: 517–522.
- GOLDBERG T, AGRA H, BEN-ARIE R, 2021. Quality of ‘Hayward’ kiwifruit in prolonged cold storage as affected by the stage of maturity at harvest [J]. *Horticulturae*, 7(10): 358.
- GONG H J, FULLERTON C, BILLING D, et al., 2020. Retardation of ‘Hayward’ kiwifruit tissue zone softening during storage by 1-methylcyclopropene [J]. *Scientia Horticulturae*, 259: 108791.
- HUANG W J, LIU X L, ZHANG Q, et al., 2019. Research on changes in postharvest physiology and fruit quality of *Actinidia chinensis* ‘Donghong’ under different storage methods [J]. *Plant Science Journal*, 37(3): 382–388. [黄文俊, 刘小莉, 张琦, 等, 2019. 黄肉红心猕猴桃‘东红’果实不同贮藏方式下的生理和品质变化研究 [J]. *植物科学学报*, 37(3): 382–388.]
- HUANG W J, RAN X Y, YANG J, et al., 2025. Dynamic changes of fruit growth and development of ‘Jinmei’ kiwifruit [J]. *China Fruits* (11): 55–62. [黄文俊, 冉欣雨, 杨洁, 等, 2025. 金美猕猴桃果实生长发育动态变化研究 [J]. *中国果树* (11): 55–62.]
- HUANG W J, WANG Z Q, YANG J, et al., 2024. Effects of different temperatures and ethylene treatments on fruit fast softening and ripening of ‘Jinyan’ kiwifruit [J]. *China Fruits* (11): 39–45, 52. [黄文俊, 王周倩, 杨洁, 等, 2024. 不同温度和乙烯处理对金艳猕猴桃果实快速后熟的影响 [J]. *中国果树* (11): 39–45, 52.]
- LI H, BILLING D, PIDAKALA P, et al., 2017. Textural changes in ‘Hayward’ kiwifruit during and after storage in controlled atmospheres [J]. *Scientia Horticulturae*, 222: 40–45.
- LI H J, PIDAKALA P, BILLING D, et al., 2016. Kiwifruit firmness: Measurement by penetrometer and non-destructive devices [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 120: 127–137.
- LI X Y, YANG H, XIE T Q, et al., 2020. Fruit growth and development and effects of different harvest times on quality of kiwifruit ‘Jinyan’ [J]. *South China Fruits*, 49(4): 116–121. [李小艳, 杨红, 谢谭秋, 等, 2020. “金艳”猕猴桃果实生长规律及不同采收期对其品质的影响 [J]. *中国南方果树*, 49(4): 116–121.]
- MAGUIRE K M, AMOS N, KELLY D, 2005. Influence of storage temperature and at-harvest maturity on incidence of chill-related disorders in ‘Hort16A’ kiwifruit [J]. *Acta Horticulturae*, 687: 57–62.
- MANNING M, BURDON J, DE SILVA N, et al., 2016. Maturity and postharvest temperature management affect rot expression in ‘Hort16A’ kiwifruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 113: 40–47.
- MCATEE P A, RICHARDSON A C, NIEUWENHUIZEN N J, et al., 2015. The hybrid non-ethylene and ethylene ripening response in kiwifruit (*Actinidia chinensis*) is associated with differential regulation of *MADS*-box transcription factors [J]. *BMC Plant Biology*, 15: 304.
- MITALO O W, TOKIWA S, KONDO Y, et al., 2019. Low temperature storage stimulates fruit softening and sugar accumulation without ethylene and aroma volatile production in kiwifruit [J]. *Frontiers in Plant Science*, 10: 888.

- MWORIA E G, YOSHIKAWA T, SALIKON N, et al., 2012. Low-temperature-modulated fruit ripening is independent of ethylene in ‘Sanuki Gold’ kiwifruit [J]. *Journal of Experimental Botany*, 63(2): 963–971.
- QIAN Z J, LIU T, WANG H, et al., 2011. Effects of harvest stage and storage temperature on quality of ‘Jin Yan’ kiwifruit (*Actinidia chinensis* × *A. eriantha*) [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 19(2): 127–134. [钱政江, 刘亭, 王慧, 等, 2011. 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*, 19(2): 127–134.]
- RAN X Y, HUANG W J, ZHONG C H, 2024. Advance in starch metabolism research of kiwifruit [J]. *Journal of Fruit Science*, 41(2): 325–337. [冉欣雨, 黄文俊, 钟彩虹, 2024. 猕猴桃果实淀粉代谢研究进展 [J]. *果树学报*, 41(2): 325–337.]
- RICHARDSON A C, BOLDINGH H L, MCATEEP A, et al., 2011. Fruit development of the diploid kiwifruit, *Actinidia chinensis* ‘Hort16A’ [J]. *BMC Plant Biology*, 11: 182.
- SCHRÖEDER R, ATKINSON R G, 2006. Kiwifruit cell walls: Towards an understanding of softening? [J]. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 36: 112–129.
- SUN B, WANG H J, HUANG Y Y, et al., 2023. Characteristics and causes of the hot-dry climate anomalies in China during summer of 2022 [J]. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 46(1): 1–8. [孙博, 王会军, 黄艳艳, 等, 2023. 2022年夏季中国高温干旱气候特征及成因探讨 [J]. *大气科学学报*, 46(1): 1–8.]
- TILAHUN S, CHOI H R, LEE Y M, et al., 2020. Ripening quality of kiwifruit cultivars is affected by harvest time [J]. *Scientia Horticulturae*, 261: 108936.
- WANG G L, WU S F, HUANG Y X, et al., 2019. Effects of different harvest periods on fruit quality of “Guichang” kiwifruit during storage [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 47(17): 174–178. [王国立, 吴素芳, 黄亚欣, 等, 2019. 不同采收期对“贵长”猕猴桃贮藏期间果实品质的影响 [J]. *安徽农业科学*, 47(17): 174–178.]
- WANG M, LI M, MENG A, 2003. Selection of a new red-fleshed kiwifruit cultivar ‘Hongyang’ [J]. *Acta Horticulturae*, 610: 115–117.
- WANG Q K, YANG D, ZHANG X Q, et al., 2016. Growth pattern and storage performance of ‘Jinyan’ kiwi fruits [J]. *Food Science*, 37(9): 129–133. [王琪凯, 杨丹, 张晓琴, 等, 2016. ‘金艳’猕猴桃果实生长动态规律和贮藏性能 [J]. *食品科学*, 37(9): 129–133.]
- WITERE MITALO O, OLUBERO ASICHE W, KASAHARA Y, et al., 2018. Characterization of ripening-related genes involved in ethylene-independent low temperature-modulated ripening in ‘Rainbow Red’ kiwifruit during storage and on-vine [J]. *The Horticulture Journal*, 87(3): 421–429.
- YUAN H Y, ZHU Y Q, LI K, et al., 2020. Study on postharvest and ripening quality of ‘Jinyan’ kiwifruit with different maturation [J]. *Storage and Process*, 20(3): 34–40. [袁怀瑜, 朱永清, 李可, 等, 2020. 成熟度对“金艳”猕猴桃采后及后熟品质的影响研究 [J]. *保鲜与加工*, 20(3): 34–40.]
- ZHONG C H, HAN F, LI D W, et al., 2016. Breeding of red-fleshed kiwifruit cultivar ‘Donghong’ [J]. *Journal of Science*, 33(12): 1596–1599. [钟彩虹, 韩飞, 李大卫, 等, 2016. 红心猕猴桃新品种‘东红’的选育 [J]. *果树学报*, 33(12): 1596–1599.]
- ZHONG C H, HUANG W J, LI D W, et al., 2021. Dynamic analysis of global kiwifruit industry development and fresh fruit trade [J]. *China Fruits* (7): 101–108. [钟彩虹, 黄文俊, 李大卫, 等, 2021. 世界猕猴桃产业发展及鲜果贸易动态分析 [J]. *中国果树* (7): 101–108.]
- ZHONG C H, HUANG W J, WANG Z P, et al., 2022. The breeding progress and development status of the kiwifruit industry in China [J]. *Acta Horticulturae*, 1332: 445–454.

(责任编辑 邓斯丽)