植物科学学报 2022, 40(5): 695~704
Plant Science Journal http://www.plantscience.cn

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2022.50695
黄文俊, 冉欣雨, 王周倩, 钟彩虹. 不同贮藏温度对软枣猕猴桃'猕枣1号'果实品质和贮藏性的影响[J]. 植物科学学报, 2022, 40(5): 695-704
Huang WJ, Ran XY, Wang ZQ, Zhong CH. Effects of different storage temperature on fruit quality and storability of *Actinidia arguta* (Sieb. & Zucc.) Planch. ex Miq. 'Mizao 1'[J]. *Plant Science Journal*, 2022, 40(5): 695-704

不同贮藏温度对软枣猕猴桃'猕枣1号'果实品质和贮藏性的影响

黄文俊[1,2], 冉欣雨[1,3], 王周倩[1,2], 钟彩虹[1,2*]

(1. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074; 2. 中国科学院猕猴桃产业技术工程实验室, 武汉 430074; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 为了探究不同贮藏温度对软枣猕猴桃(*Actinidia arguta* (Sieb. & Zucc.) Planch. ex Miq.)品种'猕枣1号'采后生理、品质和贮藏性的影响, 比较分析了'猕枣1号'果实在常温贮藏(20℃, 85%相对湿度)和低温贮藏(1.5℃, 90%相对湿度)过程中果实硬度、无损压力硬度、可溶性固形物、失重率、可溶性总糖、总酸和维生素C等指标的变化, 同时对低温贮藏6周结束时和转入20℃货架期3 d后的果实贮藏病害进行了评价。结果显示, 贮藏温度对果实软化和贮藏期限、失重率、内在品质均有较大影响。在20℃贮藏过程中, 果实软化较快, 贮藏7 d后果实可食, 贮藏12 d后果实过熟; 果实失重率和可溶性总糖含量均随贮藏时间的延长而逐渐增加, 至12 d时分别达到7.17%和9.60%; 而总酸和维生素C含量在贮藏前期基本稳定。在1.5℃贮藏过程中, 果实软化较慢, 至贮藏4周后才开始快速软化, 至6周时果实硬度仍有4.60 N, 但是20℃货架3 d后果实过熟; 果实日失重速率远低于常温贮藏, 以致于贮藏6周后果实失重率仅为3.0%; 可溶性总糖变化与常温下相似, 但货架结束后的总糖含量(10.73%)略高于常温贮藏, 总酸和维生素C含量呈逐渐轻微下降的趋势。低温贮藏6周时, 果实腐烂率仅为6.7%, 但货架期3 d后急剧上升到81.7%, 同时所有果实表现出不同程度的皱缩, 但无冷害发生。研究结果表明'猕枣1号'采后应该全程冷链物流, 以保证果实品质, 减少采后损失。

关键词: 软枣猕猴桃; 果实品质; 贮藏; 货架; 硬度

中图分类号: Q945 **文献标识码**: A **文章编号**: 2095-0837(2022)05-0695-10

Effects of different storage temperature on fruit quality and storability of *Actinidia arguta* (Sieb. & Zucc.) Planch. ex Miq. 'Mizao 1'

Huang Wen-Jun[1,2], Ran Xin-Yu[1,3], Wang Zhou-Qian[1,2], Zhong Cai-Hong[1,2*]

(1. *Wuhan Botanical Garden*, *Chinese Academy of Sciences*, Wuhan 430074, China; 2. *Engineering Laboratory for Kiwifruit Industrial Technology*, *Chinese Academy of Sciences*, Wuhan 430074; 3. *University of Chinese Academy of Sciences*, Beijing 100049, China)

Abstract: To explore the effects of different storage temperature on post-harvest physiology, quality, and storability of *Actinidia arguta* 'Mizao 1', changes in fruit firmness, non-destructive compression force, soluble solids content, weight loss, and soluble sugar, total acidity, and vitamin C content were investigated in fruit stored at room temperature (20℃, 85% relative humidity) for up to 12 days and at low temperature (1.5℃, 90% relative

收稿日期: 2022-04-18, 修回日期: 2022-05-30。
基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-26); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA24030404)。
This work was supported by grants from the Chinese Agriculture Research System (CARS-26) and Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA24030404).
作者简介: 黄文俊(1981-), 男, 副研究员, 研究方向为猕猴桃采后生理与贮藏保鲜(E-mail: wjhuang@wbgcas.cn)。
* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: zhongch@wbgcas.cn)。

© Plant Science Journal http://www.plantscience.cn

humidity) for up to six weeks, followed by three days of shelf life at 20℃. Diseases in fruit at the end of cold storage and shelf life were also evaluated. Results indicated that different storage temperatures had significant effects on fruit softening, weight loss, and internal quality. During the storage period at 20℃, the fruit softened quickly, and fruit firmness declined rapidly from day 1, reaching 2.38 N after seven days when the fruit became edible and 0.99 N after 12 days of storage when the fruit became over-ripe. Both fruit weight loss and soluble sugar content increased gradually with storage time, reaching 7.17% and 9.60% at the end of storage, respectively. Total acidity and vitamin C content stabilized in the early stage of storage but increased slightly in the late stage. During the storage period at 1.5℃, fruit softened slowly, and firmness dropped to 14.61 N (26.4% decrease) after four weeks of storage, then rapidly decreased to 4.60 N after six weeks. After three days of shelf life at 20℃, the fruit became over-ripe, and firmness further decreased to 0.88 N. The fruit weight loss rate per day was much lower than that at room temperature storage, leading to a very low level of weight loss (3.0%) after six weeks of storage. The change in soluble sugar content was similar to that at room temperature storage, but total sugar content after shelf life was slightly higher (10.73%) than that at the end of room temperature storage. Total acidity and vitamin C content decreased slightly and was generally lower than that during room temperature storage. At the end of cold storage, the fruit decay rate was 6.7%, but increased sharply to 81.7% at the end of shelf-life storage. All fruit showed shriveling to different extents, but no chilling injury. These findings suggest that whole cold chain logistics should be carried out to ensure fruit quality and reduce post-harvest loss for 'Mizao 1'.

Key words: *Actinidia arguta*; Fruit quality; Storage; Shelf life; Firmness

软枣猕猴桃(*Actinidia arguta* (Sieb. & Zucc.) Planch. ex Miq.)属猕猴桃科猕猴桃属落叶藤本植物，又名软枣子、猕猴梨、藤瓜、藤梨。软枣猕猴桃果实较小、新颖，单果重 4 ~ 20 g；果皮光滑无毛，可直接食用；果肉酸甜可口，风味独特，营养成分丰富，逐渐受到民众的喜爱和国内外学者的关注[1, 2]；其栽培利用价值高，发展前景广阔。软枣猕猴桃野生种质资源丰富，主要分布于中国、日本及俄罗斯远东等地区，在我国境内东北、华北、华中、华东南和西南等地均有分布，其中以东北三省最为丰富[3]。20 世纪后半叶，新西兰、意大利、美国等国家开始软枣猕猴桃商业种植；到目前，已发展到包含中国、日本等在内的近 10 个国家均有商业化栽培[2, 3]。截至 2021 年，我国已审定或取得植物新品种权的软枣猕猴桃品种数量高达 31 个[4]，其中主要栽培品种包括'魁绿'、'龙成 2 号'、'LD133'、'桓优 1 号'等，但这些品种主要适合于寒冷的北方地区种植和推广。为了选育出能适应华中地区种植的软枣猕猴桃新品种，中国科学院武汉植物园猕猴桃种质资源与育种研究团队通过实生选育，从'魁绿'的实生后代中选育出'猕枣 1 号'和'猕枣 2 号'[5, 6]。其中，'猕枣 1 号'果实较大，平均单果重 10 ~ 15 g；软熟后果实品质优良，可溶性固形物为 16% ~ 20%，可溶性总糖 9.7%，总酸 1.0%；已于 2019 年取得植物新品种权证书(CNA20130341.9)。

软枣猕猴桃采后环节已成为严重影响其产业扩张的关键限制因素之一。软枣猕猴桃果实采后特性不同于中华猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch.)，对采后操作和贮藏提出了更高的挑战，它应该像草莓(*Fragaria* × *ananassa* Duch.)、蓝莓(*Vaccinium* spp.)等浆果类水果对待[7]。软枣猕猴桃果实皮薄易破，不抗压；果实软熟快，不耐贮藏，常温下仅可贮藏 1 周左右，低温下也仅贮藏 2 ~ 4 周不等[8]。采收时果实成熟度和贮藏条件(温度、湿度、乙烯、O_2/CO_2气体组成等)对软枣猕猴桃果实品质、采后生理生化、耐贮性和感官评价等均有较大的影响[7-13]。顾思彤等[9]比较了软枣猕猴桃'桓优一号'果实在 0℃、5℃、10℃贮藏下的采后生理品质，表明 0℃最有利于保持果实采后生理品

© Plant Science Journal http://www.plantscience.cn

质。气调贮藏[7]（2%或 5% O_2 + 5%或 10% CO_2）或限气包装[11]（（11% ~ 13%）O_2 +（2% ~ 4%）CO_2）也可以有效延缓软枣猕猴桃果实软化，从而延长贮藏期。无论采取气调贮藏[14]或自发气调包装[15]、1-MCP 处理[16]或其他化学处理（如 $CaCl_2$、水杨酸、茉莉酸甲酯等）[17, 18]等方式来贮藏软枣猕猴桃，基本都需要建立在低温贮藏基础之上，低温才是各种贮藏方式的核心。对于一个新的软枣猕猴桃品种，必须研究清楚其果实在低温下的响应与表现。因此，本研究设置了 1.5℃低温贮藏温度，同时还设置了 20℃常温贮藏温度作为对照和模拟货架期，分析两种贮藏温度对‘猕枣 1 号’果实采后生理、品质与贮藏性的影响，以获得新品种‘猕枣 1 号’果实采后生理和贮藏性数据，为本品种的采后商业化操作提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　实验材料

软枣猕猴桃‘猕枣 1 号’种植于湖南省郴州市桂阳县可怡水果园，于 2021 年 7 月 27 日早晨 8：30 – 9：30 采摘，当天常温运输至中国科学院武汉植物园实验室。挑选果实大小基本一致、外观无较大伤疤的健康果实分装于 500 g 包装容量的 PET 塑料带孔包装盒（尺寸为 175 × 135 × 76 mm）内待用，每盒装果实 35 ~ 40 个。采收当天从所有包装盒内随机抽取共 20 个果实用于采收指标测定。‘猕枣 1 号’果实采收时果实硬度（标准刺穿硬度）为 19.85 N，可溶性固形物 SSC（Soluble solids content）为 7.58%，干物质含量为 20.73%。

1.2　方法

1.2.1　贮藏温度处理

‘猕枣 1 号’果实贮藏温度设置（20 ± 0.5）℃和（1.5 ± 0.5）℃两个处理。常温贮藏（20℃）：将 3 盒包装果实置于果框内，果框内套有 0.02 mm 厚的 PE 塑料袋保湿，然后将果框置于恒温箱内（HWS-400，上海精宏）。同时，使用温湿度记录仪（RC-4HC，精创）记录果心温度和果实周围的相对湿度。贮藏 12 d 结束后，提取温湿度记录仪数据，结果显示果心平均温度为 19.35℃，平均相对湿度为 85%。常温贮藏过程中，于贮藏 0、1、3、5、7、10、12 d 后测定果实相关生理和品质指标。每盒随机选取 5 个果实，共计 15 个果实用于指标测定。每个果实单独测定果实硬度（标准刺穿硬度）、压力硬度和可溶性固形物含量；然后取每 5 个果实剩下的果肉组织（包括果心、种子）大致等量混合作为一个样本，即每个检测点有 3 份样本用于可溶性总糖、总酸（可滴定酸）和维生素 C 含量的测定。

低温贮藏（1.5℃）：将 6 盒包装果实置于两个果框中，每个果框中放 3 盒包装果实，每个果框中套有 0.02 mm 厚的 PE 开孔塑料袋，用来保证果实贮藏湿度，将果框置于冷库中贮藏 6 周。低温贮藏 6 周结束后，转移果实到 20℃下存放 3 d 以模拟货架期。同时，使用温湿度记录仪记录果心温度和果实周围的相对湿度。低温贮藏结束后，提取温湿度记录仪数据，结果表明果心平均温度为 1.4℃，果实周围的平均相对湿度为 90%。分别于低温贮藏 0、1、2、3、4、6 周和 6 周 + 货架期 3 d 后，随机挑取前 3 盒果实中每盒 5 个果实，即共计 15 个果实用于果实硬度、可溶性固形物、可溶性总糖、总酸和维生素 C 含量的测定。其中，果实硬度和可溶性固形物每个果实单独测定，测完之后取每 5 个果实剩下的果肉组织（包括果心、种子等）大致等量混合作为一个样本，即每个检测点有 3 个样本，用于可溶性总糖、总酸和维生素 C 含量测定。后 3 盒果实用于低温贮藏 6 周结束后和货架期 3 d 结束后的果实贮藏病害评价，主要包括果实腐烂、皱缩和冷害发生率。

1.2.2　果实压力硬度、果实硬度、可溶性固形物和失重率测定

果实压力硬度：压力硬度作为一种无损伤的硬度测量方式，也可以表明果实软硬程度，与果实标准刺穿硬度高度相关[19]。使用 GUSS GS-15 水果质地分析仪（GUSS，South Africa）测定果实赤道处的压力硬度，每个果实测 2 次，测定部位互为 90°，取其结果平均值作为压力硬度值，单位为 N。压力硬度测定时使用定制的圆形铝合金探头（直径 5 cm），仪器参数设置参考新西兰猕猴桃产业硬度测定标准[19]。果实硬度（果实标准刺穿硬度）：使用 GUSS GS-15 水果质地分析仪测定果实硬度，每个果实测定 1 次，测定位置为果实赤道处。无特殊说明，此处的果实硬度为果

© Plant Science Journal　http://www.plantscience.cn

实标准刺穿硬度，与上文的压力硬度以示区别。使用3 mm直径探头，仪器参数设置参考新西兰猕猴桃行业果实标准硬度测定[19]，单位为N。可溶性固形物含量测定：果实从中间横切，一分为二，取一半果实挤出汁液，使用PAL-1手持折射仪(Atago，Japan)测定其可溶性固形物含量。对于软熟的果实，因为果汁不易挤出，使用纱布包裹一半果实挤出汁液后再测定。果实失重率和日失重率测定：在贮藏0 d时，对常温贮藏和低温贮藏处理各挑选15个果实，每盒5个果实，固定并编号，定期称量果实重量，用于果实失重率分析。果实失重率=(贮藏前果重−贮藏后果重)/贮藏前果重×100%；而日失重率(失重速率)=果实失重率/贮藏天数。

1.2.3 可溶性总糖、总酸和维生素C含量测定

果实中可溶性总糖的测定按照行标NY/T 2742-2015《水果及制品可溶性糖的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法》执行，以葡萄糖折算可溶性总糖含量，单位为%。果实中总酸(可滴定酸)含量的测定按照国标GB/T 12456-2008《食品中总酸的测定》执行并略作修改，采用自动滴定仪(HI931，Hanna)和0.1 mol/L NaOH滴定液将样本溶液滴定到pH值为8.2，以柠檬酸折算总酸含量，单位为%。果实中维生素C含量的测定按照国标GB 5009.86-2016《食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定》中的2,6-二氯靛酚滴定法执行并略作修改，使用自动滴定仪(HI931，Hanna)滴定，单位为mg/100 g鲜重(FW)。

1.2.4 果实贮藏病害评价

对低温贮藏6周后和货架期3 d后的果实进行贮藏病害评价，主要包括果实腐烂、皱缩和冷害发生情况。贮藏结束后，所有果实基本没有冷害症状，故此处不涉及冷害评价。依据果实腐烂发生的位置，将腐烂分为果梗端腐烂、果身腐烂和花柱端腐烂3种类型[20]。参考Burdon等[21]对猕猴桃果实皱缩等级划分标准并略作修改，将‘猕枣1号’果实皱缩等级划分为轻微皱缩、中等皱缩和严重皱缩。

1.3 数据分析

采用Origin 2021软件进行数据分析和作图，结果以平均值±标准误表示。显著性统计分析采用Tukey检验(0.05水平)。

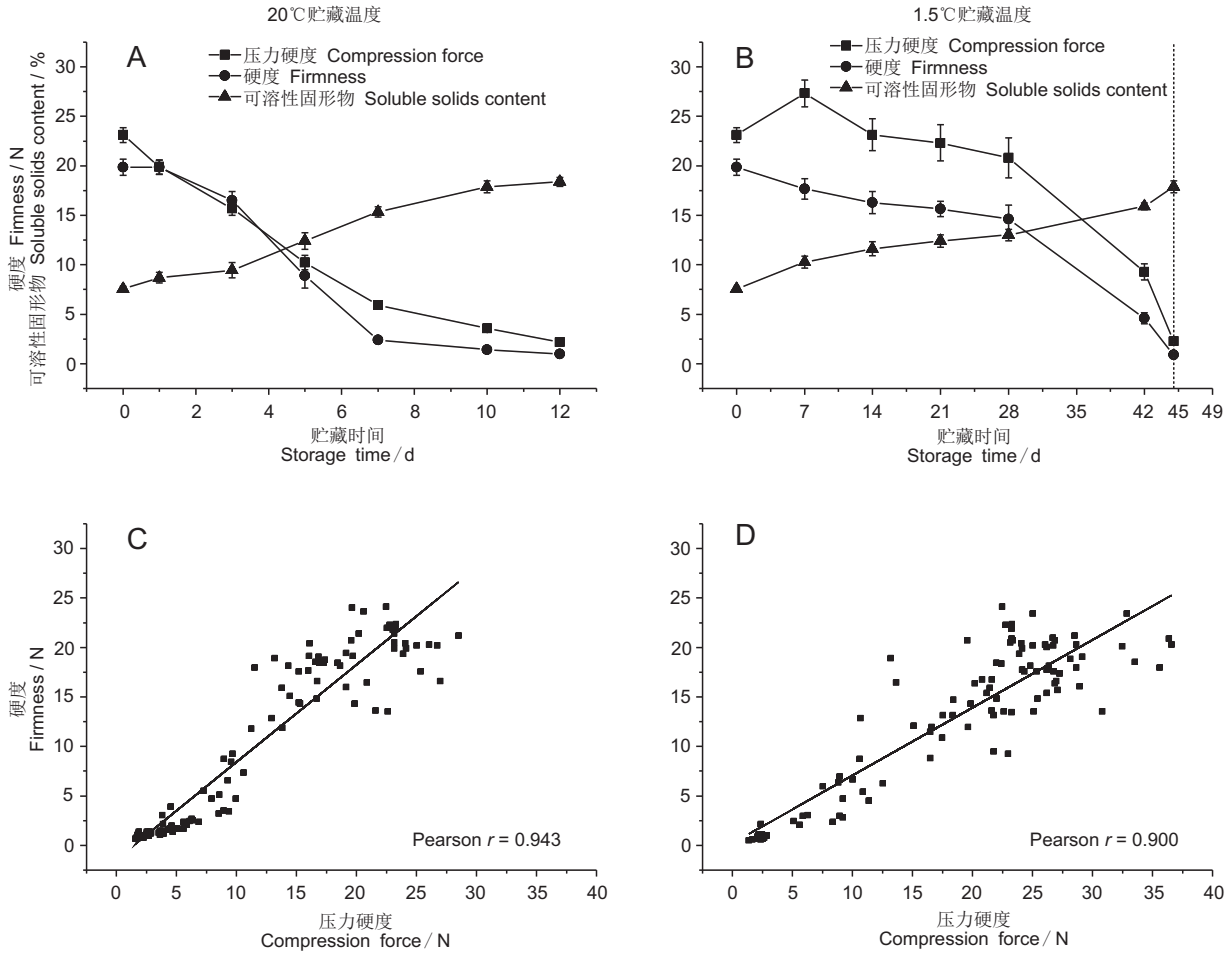
2 结果与分析

2.1 不同贮藏温度对果实硬度及可溶性固形物的影响

本研究发现，不同贮藏温度对‘猕枣1号’果实软化有较大的影响。在常温贮藏7 d后，果实硬度(标准刺穿硬度，下同)从采收之初的19.85 N快速下降至2.38 N，果实达到可食用状态，此时可溶性固形物含量上升到15.35%(图1：A)；贮藏至12 d结束后，果实硬度进一步下降至0.99 N，果实达到过熟状态(图1：A)。然而，在低温贮藏下，果实硬度呈现先慢后快两个阶段，在贮藏前28 d内，果实硬度从19.85 N缓慢下降至14.61 N，降幅26.4%；至贮藏42 d后，果实硬度快速下降至4.60 N，此时果实可溶性固形物上升到15.90%(图1：B)。当果实转移到20℃货架期3 d后，果实硬度进一步剧烈下降至0.88 N，果实进入过熟状态(图1：B)。不论在常温还是低温贮藏过程中，果实压力硬度变化趋势均与果实硬度相似，两者具有高度正相关性，其平均值在常温和低温贮藏过程中的相关系数分别高达0.984和0.971；但如果以单个果实的硬度和压力硬度相关性来看，其相关系数略降为0.943和0.900(图1，表1)。另外，在常温贮藏下，硬度和压力硬度的值较为接近；但在低温贮藏下，压力硬度始终高于果实硬度，其差距基本维持在5 ~ 7 N(贮藏45 d时除外)(图1：A、B)。

可溶性固形物含量均随贮藏时间的延长而逐渐增加，至常温贮藏12 d结束后，上升到18.38%；至低温贮藏42 d结束后上升到15.90%，货架3 d后，进一步上升到17.88%(图1：A、B)。在常温和低温贮藏过程中，可溶性固形物与果实硬度分别具有−0.91和−0.85的相关性，与压力硬度分别具有−0.90和−0.81的相关性(表1)；如果按照可溶性固形物、果实硬度和压力硬度在每个检测点的平均值来看，其相关性更高，尤其与硬度的相关性提升到−0.95以上(表1)。

© Plant Science Journal http://www.plantscience.cn



B 图 X 轴上虚线表示果实 1.5℃低温贮藏 42 d 后转移到 20℃货架贮藏 3 d。
Dotted lines represent three days of shelf-life at 20℃ after 42 d of cold storage at 1.5℃.

图 1　‘猕枣 1 号’果实在 20℃贮藏(A、C)和 1.5℃贮藏(B、D)过程中硬度、压力硬度和可溶性固形物(A、B)的变化以及硬度与压力硬度(C、D)的相关性分析

Fig. 1　Changes in fruit firmness, compression force, and soluble solids content (A, B), and correlation between fruit firmness and compression force (C, D) for ‘Mizao 1’ during storage period at 20℃ (A, C) and 1.5℃ (B, D)

表 1　‘猕枣 1 号’果实在 20℃贮藏和 1.5℃贮藏过程中硬度、压力硬度和可溶性固形物的相关性系数

Table 1　Pearson correlation coefficients for firmness, compression force, and soluble solids content of ‘Mizao 1’ fruit during storage at 20℃ and 1.5℃

Pearson 相关系数 Pearson correlation coefficient	20℃			1.5℃		
	硬度 Firmness	压力硬度 Compression force	可溶性固形物 Soluble solids content	硬度 Firmness	压力硬度 Compression force	可溶性固形物 Soluble solids content
硬度	1	0.943 (0.984)	−0.910 (−0.979)	1	0.900 (0.971)	−0.854 (−0.952)
压力硬度	0.943 (0.984)	1	−0.904 (−0.980)	0.900 (0.971)	1	−0.812 (−0.884)
可溶性固形物	−0.910 (−0.979)	−0.904 (−0.980)	1	−0.854 (−0.952)	−0.812 (−0.884)	1

注：括号内数值为每个检测点上指标平均值对应的相关系数。
Note: Values in parentheses are Pearson correlation coefficients based on average firmness, compression force, and soluble solids content at each sampling point during storage.

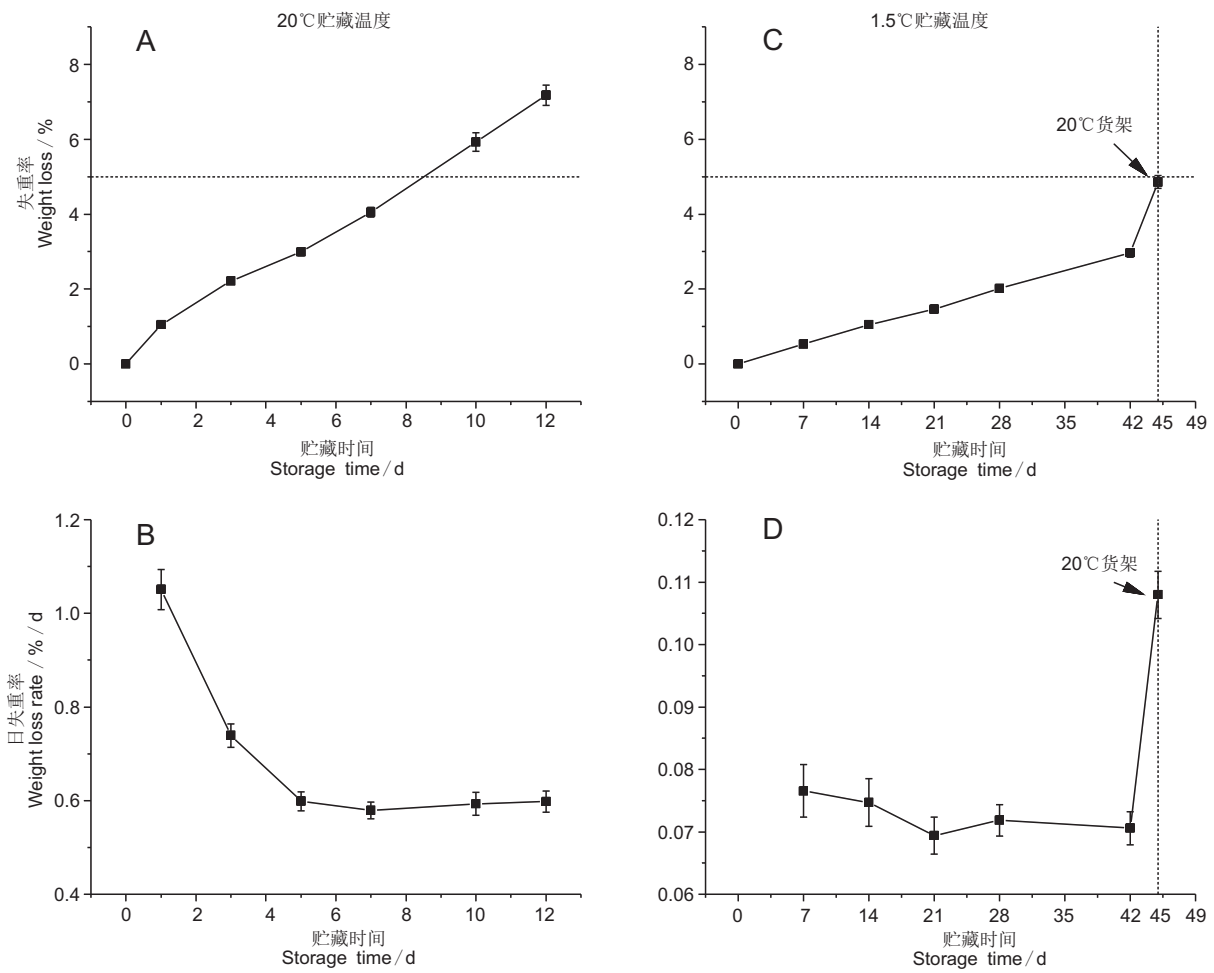
© Plant Science Journal　http://www.plantscience.cn

2.2 不同贮藏温度对果实失重的影响

研究结果显示，不同贮藏温度和贮藏时间对‘猕枣1号’果实失重有较大的影响。首先，不管贮藏温度如何，果实失重率随着贮藏时间的延长而逐渐增加，至常温和低温贮藏结束时，果实失重率分别达到7.2%(12 d后)和3.0%(42 d后)；在常温贮藏下，果实失重更快，贮藏7 d后高达4.1%，而低温贮藏7 d后仅为0.54%(图2：A，C)。从果实日失重率也可以证明这点，常温贮藏下日失重率从1.1%逐渐下降到约0.6%，然后趋于稳定；而低温贮藏下，果实日失重率基本维持在0.07%~0.08%，两者相差近10倍之多(图2：B，D)。但当果实从低温转移到20℃货架时，3 d之内果实失重率从3.0%迅速增加到4.9%(图2：C)。结合日失重率结果，说明贮藏温度比贮藏时间对果实失重率有更大影响。

2.3 不同贮藏温度对果实品质的影响

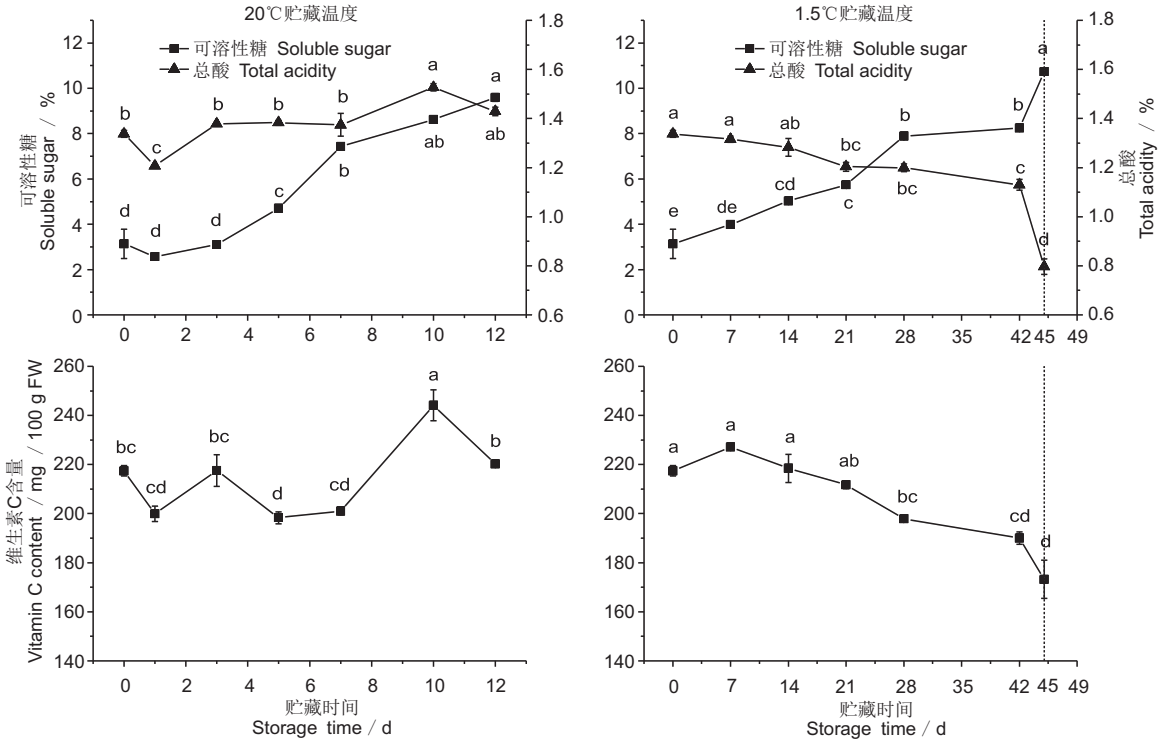
不同贮藏温度对‘猕枣1号’果实贮藏过程中可溶性总糖、总酸和维生素C等内在品质的影响有较大差异。20℃贮藏过程中，可溶性总糖含量变化趋势与SSC高度相似，从贮藏3 d后可溶性总糖开始快速上升，到贮藏7 d后上升减缓，至贮藏12 d结束时，达到最大值(9.60%)(图3：A)；而在1.5℃低温贮藏下，可溶性总糖逐步上升，到4周后达到较高稳定水平(7.88%)，但是当果实低温贮藏6周后再转移到20℃货架3 d后，果实总糖含量还能进一步增加到10.73%(图3：B)。总酸含量在常温和低温贮藏过程中表现出不同的变化趋势(图3：A、B)。在常温贮藏条件下，果实中总酸含量在贮藏前期基本稳定在1.35%左右，贮



箭头所指为低温贮藏42 d后转移到20℃货架3 d后。
Arrows indicate fruit held at 20℃ for three days of shelf life after 42 d of cold storage.

图2 ‘猕枣1号’果实在20℃贮藏(A、B)和1.5℃贮藏(C、D)过程中失重率(A、C)和日失重率(B、D)的变化
Fig. 2 Changes in fruit weight loss (A, C) and weight loss per day (B, D) for ‘Mizao 1’ during storage period at 20℃ (A, B) and 1.5℃ (C, D)

© Plant Science Journal http://www.plantscience.cn



不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著(Tukey 检验)。X 轴上虚线表示果实 1.5℃低温贮藏 42 d 后转移到 20℃货架贮藏 3 d。

Different lowercase letters are significantly different by Tukey test at $P < 0.05$. Dotted lines represent three-day shelf-life at 20℃ after 42 d of cold storage at 1.5℃.

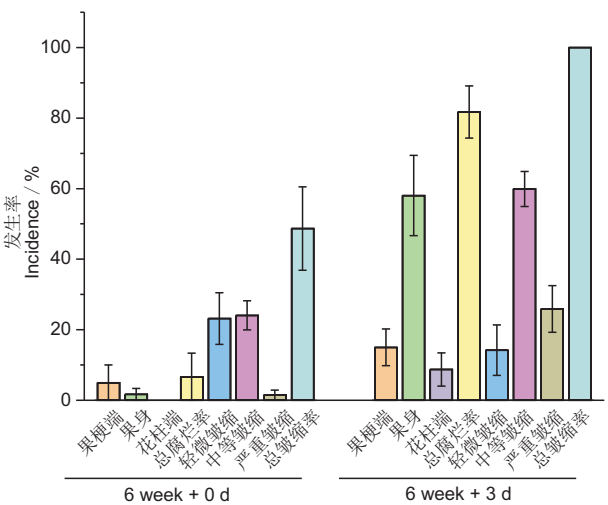
图 3　‘猕枣 1 号’果实在 20℃贮藏(A、C)和 1.5℃(B、D)贮藏过程中可溶性总糖和总酸(A、B)，以及维生素 C 含量(C、D)的变化

Fig. 3　Changes in soluble sugar, total acidity (A, B), and vitamin C (C, D) contents in ‘Mizao 1’ during storage period at 20℃ (A, C) and 1.5℃ (B, D)

藏 7 d 后开始明显上升，到贮藏 10 d 后达到最大值(1.53%)；但是在低温贮藏下，总酸含量随着时间逐渐下降，至贮藏 42 d 时下降至 1.13%，当转移到 20℃货架 3 d 后，总酸含量进一步下降至 0.80%(图 3：A、B)。果实维生素 C 含量表现出与总酸相似的趋势，在常温贮藏前期(0 ~ 7 d 内)，维 C 含量维持在 200 ~ 220 mg/100 g，但是到贮藏 10 d 后，维 C 增加到最大值(244 mg/100 g)(图 3：C)；而在低温贮藏过程中，维 C 含量逐渐下降，至贮藏 42 d 时降低至 190 mg/100 g，转移至货架 3 d 后，含量进一步下降至 173 mg/100 g(图 3：D)。

2.4　低温贮藏后果实病害评价

对‘猕枣 1 号’果实低温贮藏 6 周结束后以及其转移到 20℃货架 3 d 后进行贮藏果实病害评价(图 4)。结果表明，果实贮藏 6 周后总腐烂率仅为 6.7%，其中以果梗端腐烂类型为主；但是 3 d 常温货架后，果实总腐烂率急剧上升到 81.7%，其中



总腐烂率为果梗端腐烂率、果身腐烂率和花柱端腐烂率之和，总皱缩率为轻微、中等和严重皱缩率之和。

Incidence of total rot included stem-end rot, body rot, and stylar rot rates, while incidence of shriveling was sum of slight, moderate, and severe shriveling rates.

图 4　‘猕枣 1 号’果实在 1.5℃贮藏 6 周后(6 week + 0 d)和转移到 20℃货架 3 d 后(6 week + 3 d)贮藏病害评价

Fig. 4　Storage disease evaluation of ‘Mizao 1’ fruit after six weeks of cold storage at 1.5℃ (6 weeks + 0 d) and after three days of shelf life at 20℃ (6 weeks + 3 d)

© Plant Science Journal　http://www.plantscience.cn

绝大部分为果身腐烂(58.0%)(图4)。同时，果实总皱缩率在低温贮藏6周时就高达48.7%，不过果实严重皱缩率类型极低(1.5%)；但一旦果实转移到常温20℃货架3 d后，果实总皱缩率上升到100%，其中，中等和严重皱缩率之和占比85.8%，这也与转移到货架后果实日失重率急剧增加，果实失水更多有关。此外，所有果实没有发现冷害症状。

3 讨论

‘猕枣1号’为新的软枣猕猴桃品种，获得其果实在低温和常温贮藏下的采后生理数据对于未来商业化采后操作至关重要。本研究中发现，不同贮藏温度对果实软化、贮藏性、失重和内在品质有较大的影响。在20℃贮藏温度下，‘猕枣1号’果实快速软化，贮藏7 d后软熟，10 d后进入过熟状态，可食用期仅3 d；而1.5℃贮藏温度下，果实软化慢，从贮藏4周后开始加速软化，到6周后达到可食用状态，硬度为4.6 N，可溶性固形物达到15.9%。这与顾思彤等[9]的研究结果相似，相比5℃和10℃的贮藏温度，0℃低温贮藏可以更好地延缓硬度的下降，并抑制了果实呼吸强度和褐变发生率。‘桓优1号’和‘龙成2号’果实在20℃贮藏温度下也仅有7 d的贮藏期，其中贮藏3 d后果实开始软化可食[22]。‘猕枣1号’果实从低温1.5℃转移到20℃货架时，果实快速软化至过熟状态，这也侧面说明了贮藏温度对果实软化和贮藏性的影响较大。考虑到软枣猕猴桃果实普遍面临常温下软熟过快、食用期短的限制，建议全程冷链处理软枣猕猴桃，以延长贮藏和货架期。

皱缩是影响果实外观品质的重要因素，特别是对于低温贮藏数月的猕猴桃而言。失水是果实皱缩形成的主要原因，猕猴桃果实失重率达到4% ~ 5%时可能引起果实皱缩，但是果实硬度和果实内部水分状态也参与了皱缩形成与发展[21, 23]。对于软枣猕猴桃而言，皱缩、软果和表面缺陷更是常见的采后质量问题[7]。在20℃贮藏下，‘猕枣1号’果实日失重速率是低温下的10倍之多，常温贮藏7 d时果实失重率达到4.1%，而低温7 d时仅为0.54%。孙兴盛等[22]发现‘龙成2号’果实常温贮藏7 d时就表现出轻微皱缩和斑点现象。可能因为‘猕枣1号’果皮薄，较少的失重率也会引起明显的果实皱缩，如低温贮藏6周结束时，尽管失重率仅为3.0%，但是果实皱缩发生率高达48.7%，不过绝大部分为轻微皱缩，并不影响消费者接受度。但转移20℃货架期3 d后，失重率急剧上升到4.9%，全部果实呈现皱缩症状，其中中等和严重皱缩之和占比达85.8%。这表明贮藏温度对失重率和皱缩发生有较大的影响。对于其他易皱缩的软枣猕猴桃品种，也应该多选择低温贮藏，并维持高贮藏湿度，以减少失水和皱缩。

软枣猕猴桃皮薄易破，呼吸强度大，易软化衰老，易遭受真菌侵染而腐烂。高雪等[10]研究发现软枣猕猴桃‘QM 1号’在1.5℃贮藏42 d时果实腐烂率高达19% ~ 25%，70 d时上升到55% ~ 70%；而本研究的‘猕枣1号’低温贮藏42 d后腐烂率仅为6.7%，不过转移到20℃货架期3 d后急剧上升到81.7%。表明低温可能抑制了病原菌的生长与发展，但是转移到20℃货架时，‘猕枣1号’快速软化并衰老，果实硬度从4.60 N快速下降至0.88 N，果实抵抗病原菌能力下降，这可能是导致腐烂率急剧上升的重要原因。因此，对于软枣猕猴桃不同品种而言，其抗病能力或感病敏感性不同，但是低温贮藏是延缓果实成熟衰老，减少采后腐烂的一种有效措施。

猕猴桃为冷敏性果实，在不适低温下长期贮藏容易导致冷害发生[23]。但是在软枣猕猴桃果实中，关于冷害的报道较少。本研究中，1.5℃贮藏6周和20℃货架3 d后，基本没有发现冷害果实。顾思彤等[9]研究发现，0℃贮藏最有利于保持‘桓优1号’的采后生理品质，也没有冷害发生。这表明‘猕枣1号’果实对冷害敏感性不强，其贮藏温度应该可以适当降低。当然，这还需要配合不同采收期的果实。因为采收越早，果实发育越不成熟，越容易发生冷害风险[23]。

可溶性总糖和总酸含量及其比值是决定果实口感的重要因素，维生素C是决定果实营养价值的重要指标之一。在‘猕枣1号’低温贮藏过程中，总糖含量逐渐增加，总酸含量轻微逐渐降低，而在转移货架期3 d后，总糖和总酸含量又分别显著上升至10.7%和下降至0.8%；同时，维生素C含量随着贮藏时间延长而逐渐下降，下降幅度为12.4%。这些内在品质指标的变化趋势与众多研究报道一致[9, 10, 22]。然而，‘猕枣1号’果实在常温

© Plant Science Journal http://www.plantscience.cn

贮藏过程中的总酸含量与维生素 C 含量呈不同的变化趋势。在贮藏前 7 d 内，其含量在较小范围波动或稳定，然后在贮藏 10 d 时明显上升至最大值。果实软熟时的总酸和维生素 C 含量均高于低温贮藏的果实。有研究发现‘东红’猕猴桃在常温贮藏过程中维生素 C 含量也有明显增加的现象[24]。这可能与果实贮藏后期过度失水或抗坏血酸合成与再生协同作用有关[24, 25]。

猕猴桃果实硬度是体现果实成熟度的重要指标之一，贯穿了果实整个采后过程，是决定果实何时采收、如何贮藏、贮藏多久、何时销售的重要指标。猕猴桃果实标准硬度往往都是破坏性检测，使用刺穿型硬度计测定[26]。压力硬度与标准刺穿硬度高度正相关，可以作为一种无损检测方式来判断果实软硬程度，近些年已在中华猕猴桃‘Hayward’和‘Gold3’果实上有所报道[19, 27]。Li 等[19]分析比较了包括压力硬度在内的 4 种不同无损检测硬度与标准刺穿硬度在‘Hayward’和‘Gold3’贮藏过程中的相关性，发现它们整体上均与标准刺穿硬度有很好的相关性，但其相关性高低受到贮藏时期的影响，不同贮藏时期内压力硬度与标准刺穿硬度的相关性不同。本研究中，软枣猕猴桃‘猕枣 1 号’果实在常温和低温贮藏过程中压力硬度均表现出与标准刺穿硬度高度正相关。另外，在常温贮藏过程中，压力硬度平均值与标准硬度平均值比较接近，然而在低温贮藏下，压力硬度平均值高于标准硬度值，相同的现象在‘Hayward’低温贮藏过程中也有报道[27]。在低温贮藏中后期，压力硬度值高于标准硬度值，且压力硬度变化幅度很小，不能精确反映标准硬度值体现的果实软化程度[27]。这种差异推测可能与猕猴桃果实内外果皮软化速率不一致有关[27, 28]。标准硬度反映的是外果皮刺穿时受到的最大压力，而压力硬度反映的是整个果实受力变形时的最大压力值[19]。不过，本研究中的压力硬度值在低温贮藏过程中亦能如标准硬度一样反映出果实软化程度，与可溶性固形物也高度负相关，具有作为无损硬度检测方式判断‘猕枣 1 号’果实软化程度的潜力。

致谢：感谢湖南省郴州市桂阳县可怡水果种植合作社何小平提供软枣猕猴桃果实作为实验果。

参考文献：

[1] Huang H, Wang Y, Zhang Z, Jiang Z, Wang S. *Actinidia* germplasm resources and kiwifruit industry in China[J]. *HortScience*, 2004, 39(6): 1165–1172.

[2] 张敏, 王贺新, 娄鑫, 赵丽娜, 闫东玲. 世界软枣猕猴桃品种资源特点及育种趋势[J]. 生态学杂志, 2017, 36(11): 3289–3297.
Zhang M, Wang HX, Lou X, Zhao LN, Yan DL. The development status and breeding trend of hardy kiwifruit cultivars in the world[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(11): 3289–3297.

[3] 刘青, 贾东峰, 黄春辉, 钟敏, 廖光联, 徐小彪. 软枣猕猴桃(*Actinidia arguta*)种质资源研究进展[J]. 北方园艺, 2020(22): 132–137.
Liu Q, Jia DF, Huang CH, Zhong M, Liao GL, Xu XB. Research progress on germplasm resources of *Actinidia arguta*[J]. *Northern Horticulture*, 2020(22): 132–137.

[4] Zhong C, Huang W, Wang Z, Li L, Li D, *et al*. The breeding progress and development status of the kiwifruit industry in China[J]. *Acta Hortic*, 2022, 1332: 445–454.

[5] 韩飞, 黄宏文, 刘小莉, 李大卫, 钟彩虹. 软枣猕猴桃新品种‘猕枣 2 号’的选育[J]. 中国果树, 2018(1): 91–93.

[6] 黄宏文. 中国猕猴桃种质资源[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013: 154.

[7] Burdon J, Billing D, Pidakala P, Barnett AM, Thorp TG. Improving the storage of 'Hortgem Tahi' kiwiberry fruit[J]. *Acta Hortic*, 2018, 1218: 593–600.

[8] Latocha P, Krupa T, Jankowski P, Radzanowska J. Changes in postharvest physicochemical and sensory characteristics of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* and its hybrid) after cold storage under normal versus controlled atmosphere[J]. *Postharvest Biol Tec*, 2014, 88: 21–33.

[9] 顾思彤, 姜爱丽, 李宪民, 金华, 胡文忠. 不同贮藏温度对软枣猕猴桃采后生理品质及抗氧化性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(13): 178–184.
Gu ST, Jiang AL, Li XM, Jin H, Hu WZ. Effects of different storage temperatures on postharvest physiological quality and antioxidative capacity of *Actinidia arguta*[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(13): 178–184.

[10] 高雪, 章印, 辛广, 张博, 穆晶晶, 等. 不同成熟度软枣猕猴桃果实的划分标准及贮藏特性[J]. 中国农业科学, 2019, 52(10): 1784–1796.
Gao X, Zhang Y, Xin G, Zhang B, Mu JJ, *et al*. Classification criteria and storage characteristics of *Actinidia arguta* fruits with different maturities[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(10): 1784–1796.

[11] 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 B, Gao M, Qu W, Wang JH, Fan JM, Rao JP. Effect of air-limiting package on postharvest storage characteris-

© Plant Science Journal　http://www.plantscience.cn

tics of 'Lümi No.1' *Actinidia arguta* fruit[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2020, 29(12): 1848-1858.

[12] Fisk CL, Mcdaniel MR, Strik BC, Zhao Y. Physicochemical, sensory, and nutritive qualities of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* 'Ananasnaya') as affected by harvest maturity and storage[J]. *J Food Sci*, 2006, 71(3): S204-S10.

[13] Oh SB, Muneer S, Kwack YB, Shin MH, Kim JG. Characteristic of fruit development for optimal harvest date and postharvest storability in 'Skinny Green' baby kiwifruit[J]. *Sci Hortic-Amsterdam*, 2017, 222: 57-61.

[14] Szpadzik E, Zaraś-Januszkiewicz E, Krupa T. Storage quality characteristic of two minikiwi fruit (*Actinidia arguta* (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq.) cultivars: 'Ananasnaya' and 'Bingo'-a new one selected in poland[J]. *Agronomy*, 2021, 11(1): 134.

[15] 孙兴盛, 银徐蓉, 周福慧, 蒋海峰, 姜爱丽, 等. 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 XS, Yin XR, Zhou FH, Jiang HF, Jiang AL, *et al*. Effect of modified atmosphere packaging on quality of *Actinidia arguta*[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(19): 73-79.

[16] 曾照旭, 朴一龙, 金东淳, 冉丽萍, 李旭. 1-甲基环丙烯处理对软枣猕猴桃果实软化的影响[J]. 北方园艺, 2014(1): 123-126.
Zeng ZX, Piao YL, Jin DC, Ran LP, Li X. Effects of 1-MCP treatment on softening of *Actinidia arguta* fruit[J]. *Northern Horticulture*, 2014(1): 123-126.

[17] 胡文忠, 姜爱丽, 蔡慧, 马杰, 刘程惠, 田密霞. 茉莉酸甲酯处理对软枣猕猴桃生理生化变化的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(4): 331-334.
Hu WZ, Jiang AL, Cai H, Ma J, Liu CH, Tian MX. Effect of MeJA treatments on physiological and biochemical changes for *Actinidia arguta*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(4): 331-334.

[18] Stefaniak J, Sawicka M, Krupa T, Latocha P, Łata B. Effect of kiwiberry pre-storage treatments on the fruit quality during cold storage [J]. *Zemdirbyste-Agriculture*, 2017, 104(3): 235-242.

[19] Li H, Pidakala P, Billing D, Burdon J. Kiwifruit firmness: measurement by penetrometer and non-destructive devices[J]. *Postharvest Biol Tec*, 2016, 120: 127-137.

[20] Manning M, Burdon J, de Silva N, Meier X, Pidakala P, *et al*. Maturity and postharvest temperature management affect rot expression in 'Hort16A' kiwifruit[J]. *Postharvest Biol Tec*, 2016, 113: 40-47.

[21] Burdon J, Punter M, Billing D, Pidakala P, Kerr K. Shrivel development in kiwifruit[J]. *Postharvest Biol Tec*, 2014, 87: 1-5.

[22] 孙兴盛, 顾思彤, 蒋海峰, 姜爱丽, 胡文忠, 李江阔. 软枣猕猴桃后熟过程中生理及品质变化规律[J]. 包装工程, 2021, 42(5): 45-54.
Sun XS, Gu ST, Jiang HF, Jiang AL, Hu WZ, Li JK. Physiology and quality change laws of *Actinidia arguta* during late ripening[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(5): 45-54.

[23] Burdon J. Kiwifruit biology: the commercial implications of fruit maturation[J]. *Hortic Rev*, 2018, 46: 385-421.

[24] 黄文俊, 刘小莉, 张琦, 陈美艳, 钟彩虹. 黄肉红心猕猴桃'东红'果实在不同贮藏方式下的生理和品质变化研究[J]. 植物科学学报, 2019, 37(3): 382-388.
Huang WJ, Liu XL, Zhang Q, Chen MY, Zhong CH. Research on changes in postharvest physiology and fruit quality of *Actinidia chinensis* 'Donghong' under different storage methods[J]. *Plant Science Journal*, 2019, 37(3): 382-388.

[25] 张佳佳, 郑小林, 励建荣. 毛花猕猴桃"华特"果实采后生理和品质变化[J]. 食品科学, 2011, 32(8): 309-312.
Zhang JJ, Zheng XL, Li JR. Physiological and quality changes in *Actinidia eriantha* Benth 'Walter' fruit during at normal temperature[J]. *Food Science*, 2011, 32(8): 309-312.

[26] Schotsmans WC, Mawson AJ. Non-destructive firmness measurement of Zespri^{TM} Gold using the acoustic impulse response technique and compression tests[J]. *Acta Hortic*, 2005, 687: 107-112.

[27] Gong H, Fullerton C, Billing D, Burdon J. Retardation of 'Hayward' kiwifruit tissue zone softening during storage by 1-methylcyclopropene [J]. *Sci Hortic-Amsterdam*, 2020, 259: 108791.

[28] Li H, Billing D, Pidakala P, Burdon J. Textural changes in 'Hayward' kiwifruit during and after storage in controlled atmospheres[J]. *Sci Hortic-Amsterdam*, 2017, 222: 40-45.

(责任编辑: 周 媛)

© Plant Science Journal http://www.plantscience.cn