

“金花蜜 25 号”哈密瓜在不同贮藏温度下的品质变化

高育文, 陈国刚, 郭敏瑞*, 张伟达, 唐翼淞, 郝火叶, 沈鹏, 何艳玲
(石河子大学 食品学院, 新疆 石河子 832000)

摘要:为探究不同贮藏温度下“金花蜜 25 号”哈密瓜的品质变化、延长哈密瓜贮藏保鲜期,该文以“金花蜜 25 号”哈密瓜为试验材料,分别将其放置在 (-1 ± 0.3) ℃和 (4 ± 0.3) ℃的冷藏库中贮藏,测定其采后贮藏过程中理化指标和抗氧化酶活性的差异。在两种贮藏温度下,哈密瓜果实的品质随贮藏时间的延长而下降;与 -1 ℃处理组的哈密瓜相比, 4 ℃处理组哈密瓜中可滴定酸、维生素 C 损耗较少,过氧化氢、超氧阴离子含量较低,抗氧化酶活性较高,且细胞膜通透性较低,丙二醛含量、纤维素酶、多聚半乳糖醛酸酶活性较低。

关键词:低温贮藏;哈密瓜;生理生化;活性氧代谢;细胞壁代谢

Quality Change of 'Jinhuami 25' Cantaloupe under Different Storage Temperatures

GAO Yu-wen, CHEN Guo-gang, GUO Min-rui*, ZHANG Wei-da, TANG Yi-song, HAO Huo-ye,
SHEN Peng, HE Yan-ling

(School of Food Science and Technology, Shihezi University, Shihezi 832000, Xinjiang, China)

Abstract: This research was conducted to better understand storage characteristics of cantaloupe, for the end use of extending the storage period while maintaining the quality of this fruit. In this paper, the 'Jinhuami 25' cantaloupe, a local variety from Xinjiang, China, was used as the study subject. Based on existing research, cantaloupe with good senses and no mechanical damage were selected and stored at (-1 ± 0.3) ℃ and (4 ± 0.3) ℃. The physical and chemical indexes and antioxidant enzyme activity of the cantaloupes were measured to ascertain the differences in these properties between the storage temperatures. Under both storage temperatures, the quality of the cantaloupe fruit decreased with increasing storage time. The loss of titratable acid and vitamin C was lower in the cantaloupes stored at 4 ℃ than in those stored at -1 ℃. Likewise, the hydrogen peroxide, superoxide anion, malondialdehyde, and cellulose contents and polygalacturonase activity were lower in the cantaloupes stored at 4 ℃ than in those stored at -1 ℃. In contrast, the antioxidant enzyme activity was higher in the cantaloupes stored at 4 ℃ than in the cantaloupes stored at -1 ℃.

Key words: low temperature storage; cantaloupe; physiological and biochemical; active oxygen metabolism; cell wall metabolism

引文格式:

高育文, 陈国刚, 郭敏瑞, 等. “金花蜜 25 号”哈密瓜在不同贮藏温度下的品质变化[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 36-46.

GAO Yuwen, CHEN Guogang, GUO Minrui, et al. Quality Change of 'Jinhuami 25' Cantaloupe under Different Storage Temperatures[J]. Food Research and Development, 2022, 43(8): 36-46.

基金项目: 石河子大学人才培养计划项目(KX00860202); 新疆生产建设兵团第十三师财政科技计划项目(2021B4); 国家大学生创新创业训练项目(202010759048)

作者简介: 高育文(1999—), 男(汉), 本科生, 研究方向: 农产品加工及贮藏。

* 通信作者: 郭敏瑞, 副教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏。

哈密瓜是新疆重要的特色果品之一,其营养丰富,药用价值高,具有浓郁的香气,含有大量人体所需的有机酸、矿物质、抗坏血酸、黄酮类化合物、丰富的铁元素等^[1]。新疆属于暖温带干燥气候,白天充足的光照和夜晚的低温交替,更好地锁住了哈密瓜的糖分,多年来一直深受广大消费者的喜爱。

随着哈密瓜种植面积的逐渐增大,其产量和外销比例也在逐年增加,但由于哈密瓜的采收期多值高温季节且采收期集中^[2],在贮运过程中极易发生软化、腐败、变质等现象,严重影响哈密瓜的采后贮运品质。研究发现,低温贮藏有助于延长果蔬贮藏期,维持果实品质,而哈密瓜是冷敏性果实^[3],过低温度贮藏会发生冷害,冷害后果实表面产生凹陷,甚至出现水渍状,腐烂率增加,果实品质下降。因此,寻找适宜哈密瓜贮藏的低温条件,探究哈密瓜在不同低温条件下的生理品质变化极为必要。前期学者已经针对新疆当地的特色哈密瓜果品进行了研究,张慧杰等^[4]将哈密瓜贮藏在4℃、相对湿度70%~75%的环境条件下,探究了不同氧气和二氧化碳的组成对“西州蜜”贮藏期间各种生理指标的影响,得出气调贮藏有利于哈密瓜果实保鲜,且3% O₂+1% CO₂贮藏效果较6% O₂+1% CO₂好;张婷等^[5]测定了不同温度(-1、3℃和5℃)对“86-1”哈密瓜理化性质的影响,发现-1℃的哈密瓜冷害出现最早,程度最严重,3℃出现轻微冷害,5℃未出现明显冷害现象。基于此,本文以“金花蜜25号”哈密瓜为原料,通过测定哈密瓜果实在-1℃和4℃贮藏条件下生理生化、活性氧代谢、细胞壁代谢3个方面的指标,比较2种温度下哈密瓜果实品质的变化,以期为哈密瓜选择较为适宜的贮藏温度,延长哈密瓜贮藏期,降低采后贮藏期间哈密瓜腐烂率,从而达到减少损失、增加外输、实现增收的目的,并为哈密瓜贮藏保鲜技术的研究提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

“金花蜜25号”哈密瓜:采摘于新疆生产建设兵团第十三师淖毛湖农场。

氢氧化钠、2,6-二氯酚、3,5-二硝基水杨酸(均为分析纯):天津市大茂化学试剂厂;过氧化氢含量检测试剂盒、脂氧合酶活性检测试剂盒、超氧化物歧化酶活性检测试剂盒、过氧化物酶活性检测试剂盒:迪信泰检测科技(北京)有限公司;丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量测定试剂盒、超氧阴离子含量检测试剂盒:北京索莱宝科技有限公司。

PHS-3C型pH计:上海仪电科学仪器股份有限公

司;DDS-307型电导率仪:天津市奥淇洛谱商贸有限公司;UV-2600紫外可见分光光度计:岛津仪器(苏州)有限公司;YS3010分光测色仪:深圳市三恩驰科技有限公司;FRESCO 21离心机:赛默飞世尔科技(中国)有限公司;GY-4硬度计:宁波科诚仪器有限公司;DigiPol-R600全自动折光仪:上海佳航仪器仪表有限公司。

1.2 果实的采收与处理

哈密瓜果实达到八成熟时采收并运输至石河子大学食品学院,当天挑选出感官良好、无机械损伤的哈密瓜分别放置于(-1±0.3)℃和(4±0.3)℃的冷藏库(相对湿度85%)中,每3d测定其理化指标,测定周期为18d。

1.3 理化指标的分析

1.3.1 腐烂率、失重率的测定

腐烂率参考杨军等^[6]的方法,果实出现菌斑、发霉、流水等均计算为腐烂果实。

失重率采用称重法^[7],分别取10个果实测定果实失重率。

1.3.2 果肉色泽、硬度、总体可溶性固形物(total soluble solid, TSS)含量的测定

色泽:采用分光测色仪进行测定;硬度:采用GY-4硬度计进行测定;可溶性固形物含量:采用阿贝折光仪进行测定。

1.3.3 可滴定酸及抗坏血酸(vitamin C, V_C)含量的测定

可滴定酸含量^[8]的测定:称取混合均匀的果蔬样品10g磨碎,转移到100mL容量瓶,并定容至刻度,静置提取30min后过滤,吸取20mL滤液,转入三角瓶中,加入2滴1%酚酞,用已标定的氢氧化钠溶液进行滴定,滴定至溶液初显粉色,记录氢氧化钠滴定液的用量,重复3次。再以蒸馏水代替滤液进行滴定,作为空白对照,以g/L表示。

抗坏血酸含量的测定采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^[9],以mg/100g表示。

1.3.4 呼吸强度及乙烯释放量的测定

呼吸强度的测定参照曹建康等^[10]的方法,采用静置法测定呼吸强度,以mg CO₂/(kg·h)表示。

乙烯释放量的测定采用气相色谱法^[11],以μL/(kg·h)表示。

1.4 活性氧代谢相关指标的测定

1.4.1 过氧化氢含量及过氧化氢酶活性的测定

称取5g新鲜果蔬组织样品,加入5mL预冷的丙酮,在冰浴条件下研磨成匀浆后,于12000×g、4℃离心20min,收集上清液即为样品提取液。处理后,在410nm处测定吸光值,以nmol/g表示。

过氧化氢酶活性的测定参考唐霞等^[12]的测定方法,以 U/mg 表示。

1.4.2 超氧阴离子产生速率、超氧化物歧化酶活性的测定

超氧阴离子产生速率测定参考超氧阴离子含量检测试剂盒说明书,超氧化物歧化酶测定方法参考超氧化物歧化酶活性检测试剂盒说明书。

1.4.3 过氧化物酶、脂氧合酶活性的测定

过氧化物酶活性测定方法参考过氧化物酶活性检测试剂盒说明书,脂氧合酶活性测定方法参考脂氧合酶活性测定试剂盒说明书。

1.4.4 多酚氧化酶(polyphenol oxidase,PPO)活性的测定

取 3 g 果肉,加入 3 mL 磷酸缓冲液(pH 值为 7.50,摩尔质量 50 mmol/L,内含 8% 交联聚维酮(crosslinking polyvinylpyrrolidone,PVPP)、1 mmol/L 聚乙二醇 6000、1 mmol/L 的苯甲基磺酰氟(phenylmethanesulfonyl fluoride,PMSF)、0.01% 聚乙二醇辛基苯基醚(Triton X-100),冰浴条件下充分研磨,于 4 ℃、10 000 r/min 离心 30 min,取上清液用于酶活测定。PPO 反应体系:2 mL 磷酸缓冲液、0.10 mL 酶提取液、0.50 mL 邻苯二酚。24 ℃ 条件下反应 2 min,420 nm 处测定吸光值。以 0.10 mL 的蒸馏水代替酶提取液,做空白对照。酶活性以每分钟内吸光度变化 0.01 为 1 个活性单位。重复 3 次,以 0.01($\Delta A/g$)^[13]表示。

1.5 细胞壁代谢变化的研究

1.5.1 细胞膜通透性的测定

细胞膜透性采用电导仪测量,以相对电导率表示。

1.5.2 丙二醛含量的测定

丙二醛含量的测量参考丙二醛含量测定试剂盒说明书。

1.5.3 纤维素酶活力的测定

纤维素酶活力测定^[14]:称取 10.0 g 果蔬样品,置于经预冷的研钵中,加入经预冷的 95% 乙醇,在冰浴条件下研磨成匀浆后,低温放置 10 min 后,8 000 r/min 离心 20 min。加入 10 mL 经预冷的 80% 乙醇,振荡,低温放置 10 min,并在相同条件下离心。再倾去上清液,向沉淀物中再加入 5 mL 经预冷的提取缓冲液,于 4 ℃ 放置提取 20 min,再经过离心后收集上清液即为酶提取液,于 540 nm 波长处分别测定各管中溶液的吸光度,以 U/mg 表示。

1.5.4 多聚半乳糖醛酸酶活性的测定

多聚半乳糖醛酸酶活性的测定^[15]:称取 10.0 g 果蔬样品,在冰浴条件下研磨匀浆后,低温放置 10 min,然后于 4 ℃、12 000×g 离心 20 min。加入 10 mL 经预冷

的 80% 乙醇,振荡,低温放置 10 min,然后在相同条件下离心。再加入 5 mL 经预冷的提取缓冲液,于 4 ℃ 放置提取 20 min,离心后收集上清液为酶提取液,于 540 nm 测定吸光值,以 nmol/(h·g Fw) 表示。

1.6 数据处理与作图

数据采用 Excel 2010 进行整理,作图采用 Origin 8.0 软件。

2 结果与讨论

2.1 理化分析

2.1.1 腐烂率、失重率

腐烂率能直接反映哈密瓜的贮藏保鲜效果,两种贮藏方式对哈密瓜腐烂率的影响见表 1。在哈密瓜贮藏过程中,有机物的消耗和水分的减少是果实质量减少的主要因素。此外,不同贮藏温度对果实代谢、病菌繁殖的相关酶活性有一定影响,也会影响果实的质量变化。贮藏温度对失重率的影响见图 1。

表 1 贮藏结束时“金花蜜 25 号”腐烂率

Table 1 The decay rate of 'Jinhuami 25' at the end of storage

-1 ℃/%	4 ℃/%
(17.65±0.21) ^a	(11.76±0.18) ^b

注:不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

-1 ℃贮藏条件下,哈密瓜腐烂率为 17.65%;4 ℃贮藏条件下的哈密瓜腐烂率为 11.76%,在 4 ℃的贮藏条件下果实腐烂率较-1 ℃贮藏条件下低,说明 4 ℃的贮藏条件对哈密瓜果实腐烂有一定的抑制作用。-1 ℃贮藏条件下哈密瓜腐烂率高,推测可能与哈密瓜受冷害有关。

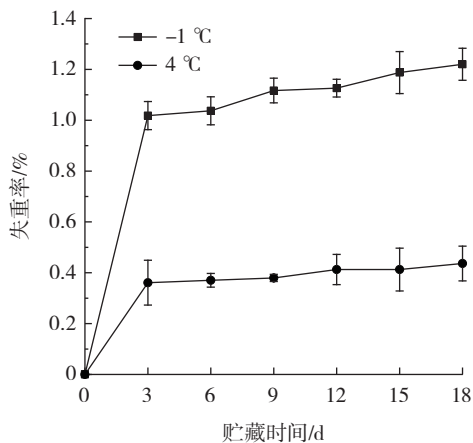


图 1 “金花蜜 25 号”失重率变化

Fig.1 Changes in weight loss rate of 'Jinhuami 25'

由图 1 可知,-1 ℃贮藏条件下的哈密瓜果实失重率在贮藏的第 3 天以后明显高于 4 ℃贮藏。说明 4 ℃贮藏条件下有机物消耗量和水分减少量相对较低。

2.1.2 色泽、硬度、可溶性固形物

“金花蜜 25 号”果肉色泽变化结果见图 2。

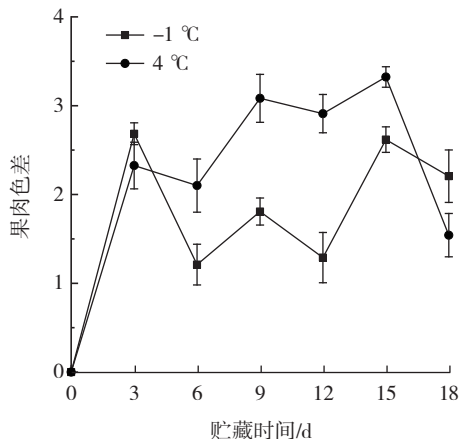


图 2 “金花蜜 25 号”果肉色泽变化

Fig.2 Changes in flesh color of 'Jinhuaami 25'

色泽变化可以在一定程度上反应哈密瓜的成熟程度。由图 2 可以看出,哈密瓜果实贮藏到第 3 天时,果肉色差均有下降趋势,-1 °C 贮藏条件下果肉色差值较高,为 2.68,4 °C 贮藏条件下果肉色差值为 2.32。在第 9 天时-1 °C 果肉 ΔE 1.81,而 4 °C 贮藏条件下果肉色差值为 3.08,两者差异逐渐增大。

“金花蜜 25 号”果皮色泽变化结果图见图 3。

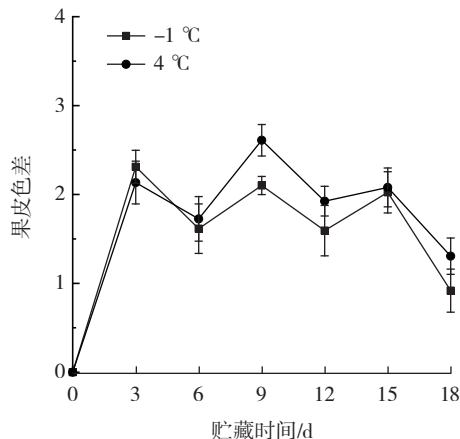


图 3 “金花蜜 25 号”果皮色泽变化

Fig.3 The color change of the peel of 'Jinhuaami 25'

由图 3 可以看出,哈密瓜果实贮藏至第 3 天时果皮色差同样出现下降趋势,-1 °C 果皮具有较高色差值 (ΔE)2.31,4 °C 贮藏条件下的果皮色差值 (ΔE)2.13,且在第 6 天后有波动,贮藏到第 15 天时,-1 °C 贮藏条件下的果皮色差变化较大,果皮 ΔE 2.02,4 °C 贮藏条件下果皮 ΔE 2.08。总体来看,“金花蜜 25 号”哈密瓜果肉的颜色在贮藏期间变化较大,果皮的色差变化较小。

硬度的大小不仅能直观反映哈密瓜的品质,而且是评定哈密瓜果实商品性的指标之一。不同贮藏温度

下硬度的变化见图 4。

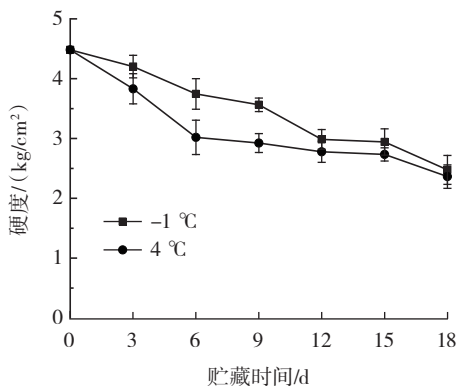


图 4 “金花蜜 25 号”硬度变化

Fig.4 Hardness change of 'Jinhuaami 25'

哈密瓜贮藏过程中硬度呈下降趋势,-1 °C 贮藏条件下的果实硬度由 4.48 kg/cm² 下降到 2.48 kg/cm²,4 °C 果实硬度从 4.48 kg/cm² 下降到 2.36 kg/cm²,果实质地随贮藏时间的延长而变软;此外果实贮藏 15 d 后硬度下降趋势明显,可能是哈密瓜果皮腐烂,进而造成硬度的大幅下降。以上结果表明,-1 °C 和 4 °C 贮藏条件下均能较好地维持哈密瓜的硬度。

哈密瓜中可溶性固形物可作为果实呼吸作用的底物,可溶性固形物含量降低,说明哈密瓜果品质发生劣变^[6],两种贮藏温度下可溶性固形物含量的变化见图 5。

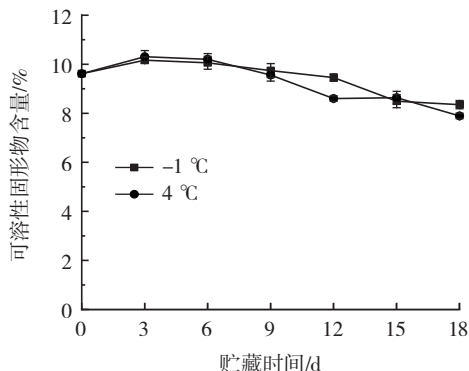


图 5 “金花蜜 25 号”可溶性固形物含量变化

Fig.5 Changes in the content of soluble solids in 'Jinhuaami 25'

由图 5 可知,两种贮藏温度下,哈密瓜可溶性固形物含量差异不大且总体呈现先上升后下降的趋势,贮藏初期,果实可溶性固形物有上升趋势,这可能与果实贮藏中糖的转化和代谢有关。而贮藏后期,可溶性固形物的下降证明随着贮藏时间的延长,果实在不断消耗自身的有机物质,完成代谢和衰老的进程。-1 °C 贮藏条件下可溶性固形物含量从 9.62% 下降至 8.35%,4 °C 贮藏条件下 TSS 含量从 9.62% 下降至

7.89%。在第18天贮藏结束时, -1°C 贮藏条件下的可溶性固形物含量相对较高, 哈密瓜品质相对更好。

2.1.4 可滴定酸及抗坏血酸含量的测定

果蔬中有机酸含量是评价其品质的重要生理生化指标, 含量的多少不仅影响着哈密瓜品质和风味, 而且对人体胃肠道消化, 维持体内的酸碱平衡有重要作用^[7]。可滴定酸含量变化见图6。维生素C含量变化见图7。

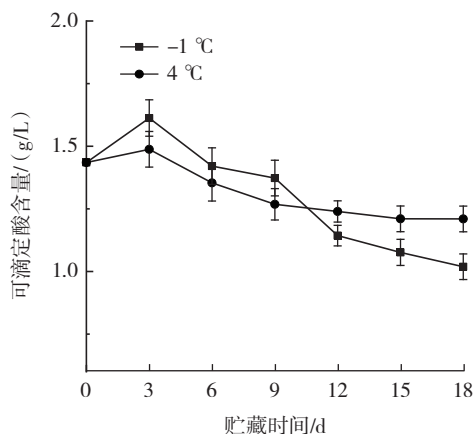


图6 “金花蜜 25 号”可滴定酸含量变化

Fig.6 Changes in titratable acid content of 'Jinhuami 25'

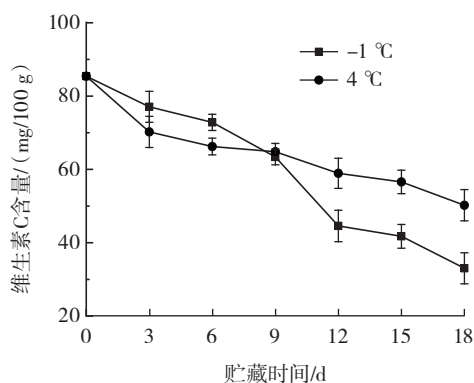


图7 “金花蜜 25 号”维生素 C 含量变化

Fig.7 Changes in vitamin C content in 'Jinhuami 25'

贮藏至第3天时, -1°C 下可滴定酸含量为1.61 g/L, 4°C 贮藏条件下可滴定酸含量为1.48 g/L;第18天时, -1°C 和 4°C 条件下可滴定酸含量分别下降为1.02、1.21 g/L;总体来看,两种贮藏环境下可滴定酸含量均呈下降趋势,它们的下降可能与有机物的消耗和糖的合成有关。 4°C 下可滴定酸含量变化趋势相对平缓,且最终有机酸含量维持在较高水平,由此得出 4°C 贮藏条件下的哈密瓜可滴定酸含量损失较少,更利于哈密瓜风味的保持。原因是果实较低的呼吸速率,可以延缓果实衰老,维持果实品质,减少有机物的损耗。

抗坏血酸,又名维生素C,是果蔬中具有抗氧化能力的一类物质,可以减缓果蔬的衰老,是哈密瓜关键的

营养指标^[8]。由图7中可知,在 -1°C 贮藏条件下 V_c 含量从85.42 mg/100 g下降至33.03 mg/100 g, 4°C 贮藏条件下 V_c 含量从85.42 mg/100 g下降至50.23 mg/100 g。上述结果证明,两种贮藏条件下 V_c 均会损失,但 -1°C 贮藏条件下的果实 V_c 含量损失较为严重; 4°C 贮藏条件下能更好的减少 V_c 损失,进一步说明 V_c 含量的下降与低温氧化降解有关。

2.1.3 呼吸强度和乙烯释放量

呼吸强度是研究果蔬采后生理变化的重要指标之一。一般来说,果实的呼吸强度越大,耐贮性相对越差^[9],并且呼吸强度的变化也与果实自身特性、贮藏环境有极大的关系。两种贮藏方式对“金花蜜 25 号”哈密瓜呼吸强度的影响见图8。果蔬自身产生的内源激素乙烯能催化果实成熟、加快衰老,乙烯释放量的多少可以反映果实的衰老程度^[10],这与果实的呼吸存在密切联系。“金花蜜 25 号”乙烯释放量变化见图9。

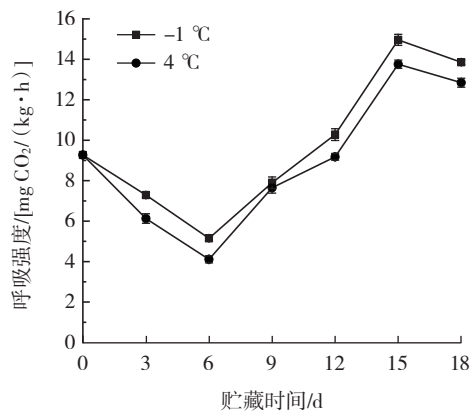


图8 “金花蜜 25 号”呼吸强度变化

Fig.8 Changes in breathing intensity of 'Jinhuami 25'

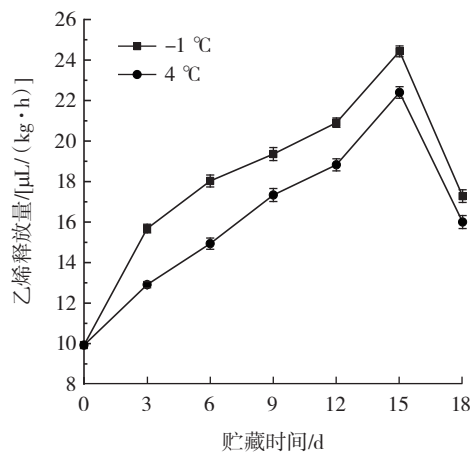


图9 “金花蜜 25 号”乙烯释放量变化

Fig.9 Changes in ethylene emission of 'Jinhuami 25'

如图8显示,贮藏期间哈密瓜果实呼吸强度的变化呈先下降后上升再下降的趋势,在第6天时出现最

低值, -1°C 和 4°C 贮藏条件下的哈密瓜呼吸强度分别为 5.15 、 $4.11\text{ mg CO}_2/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。随后在第15天时, 哈密瓜呼吸强度达到峰值, 这是由于哈密瓜发生呼吸跃变而引起的。

由图9可以看出, 乙烯释放量总体呈先上升后下降趋势, 在第15天时达到峰值, -1°C 和 4°C 贮藏下的哈密瓜乙烯释放量分别为 24.43 、 $22.40\text{ }\mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。总体来看, 4°C 贮藏条件下的果实乙烯释放量较低, 说明 4°C 可以有效抑制果实乙烯释放, 这对延缓果实衰老, 有促进作用。两种温度相比, 4°C 贮藏条件下的哈密瓜呼吸强度和乙烯释放量均较低, 说明 4°C 更有利于贮藏。

2.2 活性氧代谢分析

2.2.1 过氧化氢、过氧化氢酶贮藏过程中的变化

过氧化氢含量反映果品的活性氧积累程度^[21], 也反映出果品贮藏品质。“金花蜜25号”过氧化氢含量变化见图10。“金花蜜25号”过氧化氢酶活性变化结果见图11。

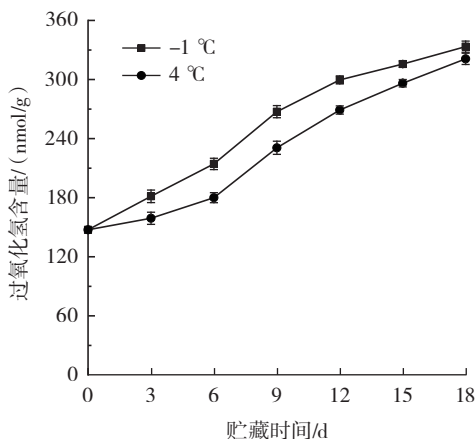


图10 “金花蜜25号”过氧化氢含量变化

Fig.10 Changes in the content of hydrogen peroxide in 'Jinhuaami 25'

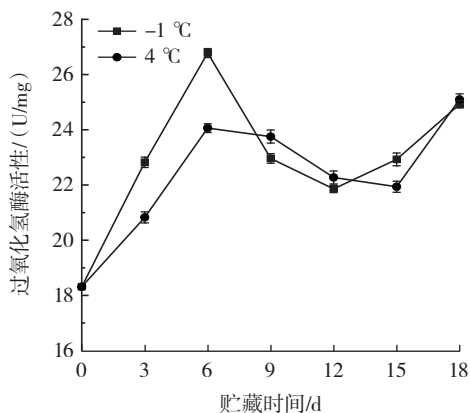


图11 “金花蜜25号”过氧化氢酶活性变化

Fig.11 Changes in catalase activity of 'Jinhuaami 25'

由图10可以看出, 过氧化氢的总体含量呈上升趋势, -1°C 贮藏条件下的果实过氧化氢含量在第18天上升至 333.39 nmol/g , 4°C 贮藏条件下哈密瓜的过氧化氢含量上升至 320.97 nmol/g , 结果表明, 随贮藏时间的延长, 哈密瓜的活性氧在不断积累。贮藏前期, 过氧化氢上升速率较慢, 说明低温可有效抑制活性氧的积累, 继而延长贮藏时间。从图11可以看出, 过氧化氢酶活性呈先升后降再上升的趋势, 在第6天的时候出现明显的峰值, 此时过氧化氢的含量有上升速度加快的趋势, 说明过氧化氢含量增多, 促使过氧化氢酶清除活性氧的能力达到最强^[22]。随着贮藏期的延长, 过氧化氢酶活性又逐步降低, 并在第15天时开始上升, 原因是超氧阴离子转变成过氧化氢的速率变快, 从而造成过氧化氢酶的活性上升, 最终在第18天时, 4°C 贮藏条件下过氧化氢酶活性高于 -1°C , 且 4°C 过氧化氢含量较 -1°C 低。分析得出, 4°C 条件下过氧化氢酶的活性更高, 过氧化氢含量更少, 对防止果实活性氧损伤, 延缓果实衰老, 保持果实品质最有利。

2.2.2 超氧化物歧化酶、超氧阴离子贮藏过程中的变化

超氧化物歧化酶是一种可以清除超氧阴离子, 调节机体氧化代谢的抗氧化酶^[23]。“金花蜜25号”超氧阴离子产生速率结果见图12。超氧阴离子更是活性氧中氧化能力较强的一类物质, 在果实的衰老及乙烯的信号传递方面起着尤为重要的作用^[24], “金花蜜25号”超氧化物歧化酶活性变化见图13。

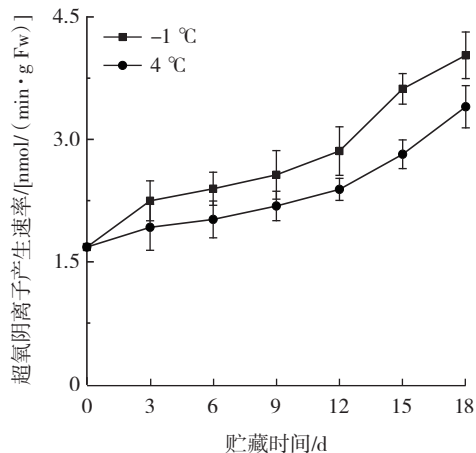


图12 “金花蜜25号”超氧阴离子产生速率

Fig.12 Production rate of superoxide anion in 'Jinhuaami 25'

图12中超氧阴离子总体呈现持续上升的趋势, 在第3天出现明显峰值, 且在 -1°C 贮藏条件下的超氧阴离子生成速率明显高于 4°C , -1°C 产生的超氧阴离子多, 为超氧化物歧化酶提供良好的工作条件, 激发超氧化物歧化酶开始工作, 将超氧阴离子转化成过氧化

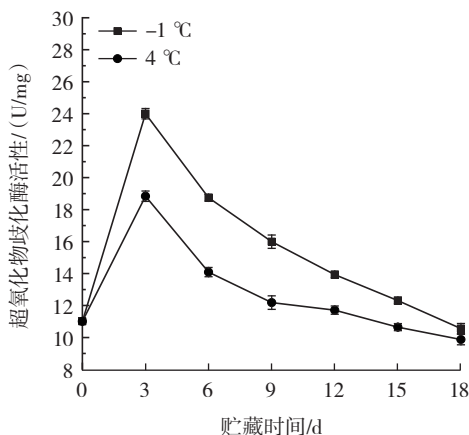


图13 “金花蜜 25 号”超氧化物歧化酶活性变化

Fig.13 Changes of superoxide dismutase activity in 'Jinhuami 25'

氢等物质,但过多的超氧阴离子的积累也会造成果实的活性损伤,对延缓果实衰老、保持果实品质更为不利。由图 13 可知,超氧化物歧化酶的活性随贮藏时间延长出现先上升后下降的趋势,在贮藏第 3 天后,其活性急剧下降,可能是由于哈密瓜果实内部的过氧根离子含量增多而引起。两种贮藏温度下超氧化物歧化酶活性差异显著,从贮藏后期来看,-1 °C 贮藏条件下过氧根离子的含量上升相对较快,可以推断哈密瓜在贮藏过程中,-1 °C 所贮藏的果实衰老更快。

2.2.3 过氧化物酶、多酚氧化酶活性在贮藏过程中的变化

过氧化物酶、多酚氧化酶活性在贮藏过程中的变化结果见图 14 和图 15。

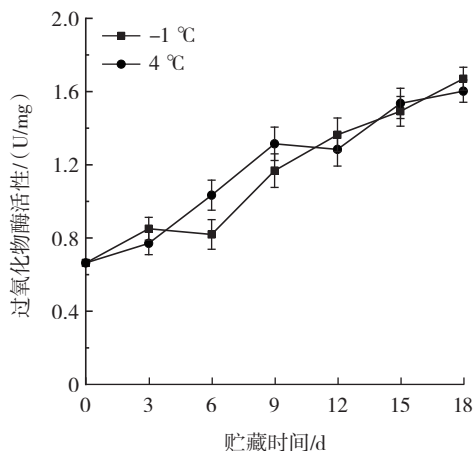


图 14 “金花蜜 25 号”过氧化物酶活性变化

Fig.14 Changes of peroxidase activity of 'Jinhuami 25'

过氧化物酶可使 O_2^- 和 H_2O_2 等转变为活性较低的物质,消除生物体内氧化反应产生的有毒物质^[25],从而保护果实组织和细胞。此外,过氧化物酶还能够对由多酚氧化酶催化酚类物质生成具有毒性的醌类物质

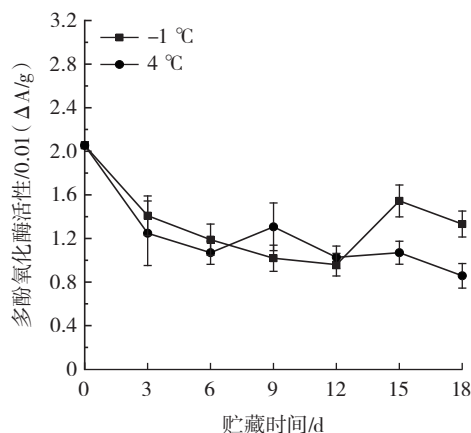


图 15 “金花蜜 25 号”多酚氧化酶活性变化

Fig.15 Changes of polyphenol oxidase activity in 'Jinhuami 25'

进行消杀。从图 14 可以看出,两种贮藏温度下过氧化物酶的活性均呈上升趋势。过氧化物酶的变化可能与低温环境胁迫、果实衰老、酚类物质氧化等存在极大联系,随着果实贮藏期的延长,会有更多活性氧的积累,这也会加剧酚类物质的氧化,而过氧化物酶作为调控酚类氧化的关键酶,也在不断的发生变化,过氧化物酶活性的升高将有助于延缓果实的衰老。多酚氧化酶控制着哈密瓜果实的褐变和衰老^[26],由图 15 可以看出,两种贮藏温度下多酚氧化酶的活性总体有减弱的趋势,说明哈密瓜果实的褐变程度在逐渐减弱,但在第 12 天时又有上升的趋势,这可能是由于哈密瓜个体间差异造成的。在第 3 天~第 9 天,4 °C 贮藏的哈密瓜过氧化物酶活性升高较快,是由于一部分用于分解由哈密瓜机体产生的过氧化氢,另一部分则用于抵抗多酚氧化酶催化生成的醌类物质。上述结果表明,两种贮藏温度下的过氧化物酶的活性差异较小,但均处于上升趋势,而 4 °C 贮藏条件下哈密瓜的多酚氧化酶的活性在后期较低,说明所产生的有毒醌类物质较少。综合得出,4 °C 的贮藏能较好维持哈密瓜品质,减少醌类物质的累积。

2.2.4 脂氧合酶活性在贮藏过程中的变化

脂氧合酶能加速氧化产物的生成,造成食品质量和营养价值的下降^[27],此外,脂氧合酶还可以特异性催化膜脂不饱和脂肪酸生成饱和脂肪酸,进而破坏细胞结构,引发膜脂过氧化反应。因此,脂氧合酶的变化与诸多因素有关,如过氧化氢、超氧阴离子、细胞膜通透性、MDA 积累等。不同贮藏温度下脂氧合酶活性的变化见图 16。

由图 16 可以看出,随着贮藏时间的延长,脂氧合酶活性略有增强,且两种贮藏温度下其活性存在明显差距,第 18 天时-1 °C 的酶活为 0.15 mol/(min·g Fw),

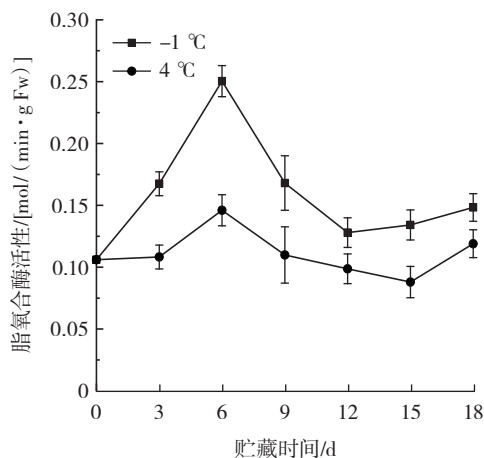


图 16 “金花蜜 25 号”脂氧合酶活性变化

Fig.16 Changes in lipoxygenase activity of 'Jinhuami 25'

4 °C的酶活为 0.12 mol/(min·g Fw)。总体来看 4 °C能维持哈密瓜果实脂氧合酶的活性在较低水平,说明 4 °C贮藏条件下果实膜脂过氧化程度较低,贮藏效果更好。

2.3 细胞壁代谢分析

2.3.1 细胞膜通透性变化

细胞膜通透性变化结果见图 17。

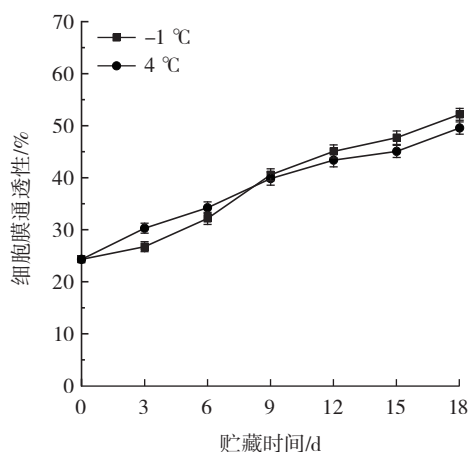


图 17 “金花蜜 25 号”细胞膜通透性变化

Fig.17 Changes in cell membrane permeability of 'Jinhuami 25'

细胞膜的通透性反映了果实细胞膜的完整和衰老程度,细胞膜通透性越大代表果实的衰老程度越大^[28]。由图 17 可以得出果实细胞膜通透性随贮藏时间的延长而增大,说明即使是低温贮藏,果实也不可避免的发生着衰老。细胞壁、细胞膜对果实的保护作用在逐渐减少。这与过氧化氢和超氧阴离子的积累密切相关,果实中活性氧的快速积累使细胞膜受到氧化损伤,从而导致了膜透性的增加以及 MDA 的积累。从数据可以看出,当贮藏至第 9 天时,4 °C贮藏条件下的果实细胞膜通透性开始低于-1 °C,但整体仍呈上升趋势。

势。贮藏至第 18 天时,-1 °C和 4 °C贮藏条件下的果实细胞膜通透性分别上升至 52.18%、49.55%。

2.3.2 丙二醛含量变化

“金花蜜 25 号”丙二醛含量变化见图 18。

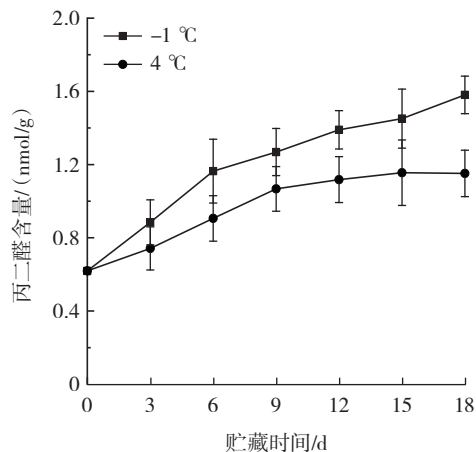


图 18 “金花蜜 25 号”丙二醛含量变化

Fig.18 Changes in malondialdehyde content of 'Jinhuami 25'

丙二醛含量反映了细胞膜脂过氧化的程度^[29]。由图 18 可以看出,-1 °C和 4 °C贮藏条件下的果实丙二醛含量均呈上升趋势,丙二醛的持续上升,说明果实的膜脂过氧化程度在随时间的延长而持续加剧,这与细胞膜透性的变化呈正相关。综合来看,-1 °C贮藏条件下,哈密瓜果实丙二醛含量较高,这是由于低温环境破坏了果实细胞结构,从而导致丙二醛含量的上升。与-1 °C相比,4 °C贮藏能较好维持哈密瓜果品的品质。

2.3.3 纤维素酶活性变化

“金花蜜 25 号”纤维素酶活性变化见图 19。

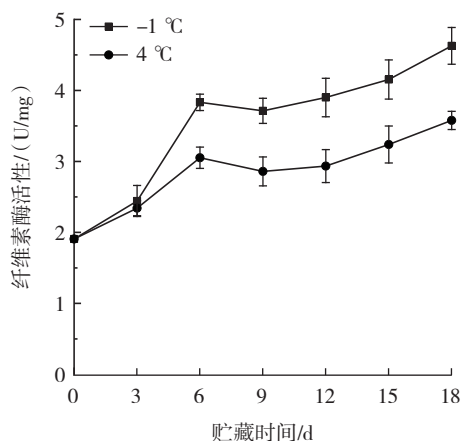


图 19 “金花蜜 25 号”纤维素酶活性变化

Fig.19 Changes in cellulase activity of 'Jinhuami 25'

纤维素酶可将纤维素水解成葡萄糖,从而提高细胞

壁的通透性^[9],加速果实的软化衰老,纤维素酶的活性越低越有利于果品贮藏。由图 19 可以看出,随着贮藏时间的延长,纤维素酶活性总体呈上升趋势,至贮藏结束时,-1℃贮藏条件下的果实的纤维素酶活性上升至 4.68 U/mg,而 4℃贮藏条件下酶活性总体较低,最终为 3.06 U/mg。基于此,推测 4℃下哈密瓜的品质更好。

2.3.4 多聚半乳糖醛酸酶活性变化

“金花蜜 25 号”多聚半乳糖醛酸酶活性变化结果见图 20。

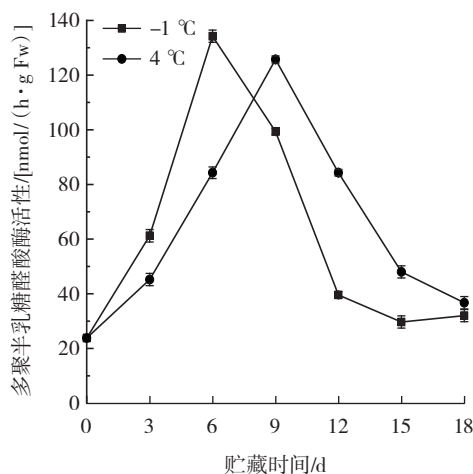


图 20 “金花蜜 25 号”多聚半乳糖醛酸酶活性变化

Fig.20 Changes of polygalacturonase activity of 'Jinhuami 25'

果胶是植物细胞壁的主要成分,多聚半乳糖醛酸酶能催化果胶的分解,从而导致细胞壁结构被破坏。由图 20 可知,贮藏前期,多聚半乳糖醛酸酶的活性呈上升趋势,说明贮藏期间果实的果胶在被逐渐水解,这与前面细胞膜透性的增加一致。随着贮藏时间延长,多聚半乳糖醛酸酶活性骤然下降,这可能是由于哈密瓜中果胶结构被破坏而导致的。

3 结论

通过分析“金花蜜 25 号”哈密瓜在-1℃和 4℃贮藏条件下的理化指标、活性氧代谢、细胞壁代谢的变化以及温度对哈密瓜贮藏特性的影响,发现 4℃贮藏条件下哈密瓜果实可滴定酸、维生素 C 等含量较高,营养流失程度较低,哈密瓜品质较好;活性氧代谢分析显示 4℃贮藏条件下的哈密瓜过氧化氢、超氧阴离子含量都相对较低,更能抵抗哈密瓜果实衰老、软化;细胞壁代谢方面,4℃下的哈密瓜丙二醛含量、纤维素酶活性都较低,细胞壁完整性更高,从而抵抗衰老的能力更强。而-1℃哈密瓜果实贮藏后期发生冷害,果皮表面出现凹陷,且有不规则的小斑点,造成果实品质下降。综上所述,“金花蜜 25 号”哈密瓜在 4℃时贮

藏效果更好,该贮藏温度可以有效延缓果实的软化和衰老,延长果实贮藏保鲜期。

参考文献:

- [1] 单春会. 哈密瓜响应青霉菌感染的转录组和蛋白组研究及相关抗性酶变化分析[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
SHAN Chunhui. Transcriptomics and proteomics of Hami melon responding to *Penicillium* infection and change analysis of resistance-related enzymes[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015.
- [2] 高静静, 李佳, 玛尔哈巴·帕尔哈提, 等. 不同包装方式与贮藏条件对哈密瓜干品质的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(3):39-45.
GAO Jingjing, LI Jia, Maerhaba · paerhati, et al. Effects of different packaging methods and storage conditions on quality of dried Hami melon[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(3):39-45.
- [3] 王静, 茅林春, 李学文, 等. 热处理降低哈密瓜果实活性氧代谢减轻冷害[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2):280-286.
WANG Jing, MAO Linchun, LI Xunwen, et al. Reduction of active oxygen metabolism and mitigation of chilling injury in Hami melon fruit as influenced by postharvest hot water treatment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(2):280-286.
- [4] 张慧杰, 纪海鹏, 张晓军, 等. 不同气体配比对哈密瓜采后贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(15): 1-7.
ZHANG Huijie, JI Haipeng, ZHANG Xiaojun, et al. Effects of different gas proportion on postharvest storage quality of cantaloupe[J]. Food Research and Development, 2019, 40(15): 1-7.
- [5] 张婷, 陈娟, 潘俨, 等. 不同贮藏温度对采后 86-1 哈密瓜果实冷害及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(3): 345-348.
ZHANG Ting, CHEN Juan, PAN Yan, et al. Influence on chilling injury and quality of postharvest 86-1 Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruit under different storage temperatures[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(3): 345-348.
- [6] 杨军, 廖新福, 沙勇龙, 等. 冷链运输对哈密瓜品质及腐烂率的影响[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(7): 1277-1282.
YANG Jun, LIAO Xinfu, SHA Yonglong, et al. Effect of low temperature chain transportation on qualities and decay rate of Hami melon fruit[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011, 48(7): 1277-1282.
- [7] 周研, 曾媛媛, 王锡昌, 等. 2 种复合涂膜对哈密瓜的采后保鲜效果[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(1): 133-138.
ZHOU Yan, ZENG Yuanyuan, WANG Xichang, et al. Effect of two compound coatings on storage quality of cantaloupe[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2016, 44(1): 133-138.
- [8] PARK E, LUO Y G, MARINE S C, et al. Consumer preference and physicochemical evaluation of organically grown melons[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 141: 77-85.
- [9] 李立民. 运输过程中机械振动对果蔬贮藏品质的影响[D]. 天津: 天津商业大学, 2016.
LI Limin. Effects of mechanical vibration in transport process on the storage quality of vegetables and fruits[D]. Tianjin: Tianjin University

- of Commerce, 2016.
- [10] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化试验指导 II [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 99–101.
- CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Postharvest physiological and biochemical laboratory guidance for fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 99–101.
- [11] 李晓娜, 刘龙腾, 陈钟, 等. 气相色谱法测定番茄中乙烯利的残留量[J]. 农药科学与管理, 2013, 34(6): 32–35.
- LI Xiaona, LIU Longteng, CHEN Zhong, et al. Determination of ethephon residue in tomatoes by GC[J]. Pesticide Science and Administration, 2013, 34(6): 32–35.
- [12] 唐霞, 张明, 马俊莲, 等. 适宜贮藏温度保持鲜食无花果品质[J]. 农业工程学报, 2015, 31(12): 282–287.
- TANG Xia, ZHANG Ming, MA Junlian, et al. Appropriate stored temperature to maintain quality of fresh figs fruits[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(12): 282–287.
- [13] 李亚莉, 张炎, 胡国智, 等. 新型尿素对新疆哈密瓜产量、品质及氮肥利用的影响[J]. 新疆农业科学, 2018, 55(10): 1888–1894.
- LI Yali, ZHANG Yan, HU Guozhi, et al. Effects of new urea on yield, quality and nitrogen fertilizer utilization of Hami melon in Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2018, 55(10): 1888–1894.
- [14] 张俊, 许超, 张宇, 等. 纤维素酶降解机理的研究进展[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2019, 47(9): 121–130.
- ZHANG Jun, XU Chao, ZHANG Yu, et al. Research progress on cellulase biodegradation mechanism[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2019, 47(9): 121–130.
- [15] 张小秋, 宋修鹏, 陈冠州, 等. 植物病原菌多聚半乳糖醛酸酶的研究简述[J]. 广西糖业, 2020(4): 49–53, 60.
- ZHANG Xiaoqiu, SONG Xiupeng, CHEN Guanzhou, et al. Introduction to the research of polygalacturonase in phytopathogen[J]. Guangxi Sugar Industry, 2020(4): 49–53, 60.
- [16] 杜娟, 张敏, 杨军, 等. 不同成熟度哈密瓜贮藏期间的生理变化[J]. 北方园艺, 2014(23): 109–112.
- DU Juan, ZHANG Min, YANG Jun, et al. Physiological change of different maturity of Hami melon storage temperature[J]. Northern Horticulture, 2014(23): 109–112.
- [17] 陈屏昭, 杜红波, 秦燕芬, 等. 果蔬品含酸量测定方法的改进及其应用[J]. 浙江农业科学, 2013(4): 451–453, 456.
- CHEN Pingzhao, DU Hongbo, QIN Yanfen, et al. Improvement and application of determination method of acid content in fruits and vegetables[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2013(4): 451–453, 456.
- [18] 于晓霞, 李燕, 宋星, 等. 不同清洗液对鲜切哈密瓜品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(4): 324–327, 333.
- YU Xiaoxia, LI Yan, SONG Xing, et al. Effect of cleaning solutions on the quality of fresh-cut Hami melons[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(4): 324–327, 333.
- [19] 董成虎. 采前套袋及采后 1-MCP、CO₂ 处理对甜瓜品质和生理的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2013.
- DONG Chenghu. Preharvest bagging and postharvest 1-MCP, CO₂ treatment on quality of melon and physiological[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2013.
- [20] 张晓军, 刘长悦, 董成虎, 等. 二氧化氯对西周蜜 25 号哈密瓜采后生理及贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(22): 198–203.
- ZHANG Xiaojun, LIU Changyue, DONG Chenghu, et al. Effects of chlorine dioxide(ClO₂) treatment on postharvest physiology and storage quality of cantaloupe ‘Xizhoumi 25’[J]. Food Research and Development, 2017, 38(22): 198–203.
- [21] 孙佳. 食品中过氧化氢的检测方法研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2014.
- SUN Jia. Detection method for hydrogen peroxide in food[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2014.
- [22] VILLEGAS OLGUÍN M A, CABRERA DE LA FUENTE M, BENAVIDES MENDOZA A, et al. Commercial and nutraceutical quality of grafted melon cultivated under hydric stress[J]. Horticultural Science, 2020, 47(3): 139–149.
- [23] 刘雅琳, 余金明, 刘英. 蔬果中超氧化物歧化酶活性测定及保鲜作用探究[J]. 南方农业, 2020, 14(12): 120–122.
- LIU Yalin, SHE Jinming, LIU Ying. Determination of superoxide dismutase activity in vegetables and fruits and exploration of its fresh-keeping effect[J]. South China Agriculture, 2020, 14(12): 120–122.
- [24] 李学文. 1-MCP 和 MeJA 对哈密瓜采后品质调控及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- LI Xuewen. Study on 1-MCP and MeJA regulation and mechanism of quality of Hami melon fruit after harvest[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.
- [25] 丁薪源, 曹建康. 果蔬过氧化物酶酶学特性研究进展[J]. 食品科技, 2012, 37(10): 62–66.
- DING Xinyuan, CAO Jiankang. Characteristics of peroxidase from fruit and vegetable research progress[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(10): 62–66.
- [26] 柳涛. 哈密瓜采后病原菌的生长特性及致病机理初步研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2014.
- LIU Tao. Study on the growth characteristic of Hami melon postharvest pathogen and its preliminary study pathogenesis[D]. Shihezi: Shihezi University, 2014.
- [27] 吴桂玲, 冯定坤. 植物脂氧合酶的研究进展[J]. 广州化工, 2019, 47(17): 37–39.
- WU Guiling, FENG Dingkun. Research progress on plant lipoxygenase[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2019, 47(17): 37–39.
- [28] 王静, 茅林春, 杨璐, 等. 草酸处理对采后哈密瓜果实膜脂代谢的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(8): 189–198.
- WANG Jing, MAO Linchun, YANG Lu, et al. Effect of oxalic acid on reduction of membrane lipids metabolism of Hami melon's fruit in postharvest[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(8): 189–198.

- [29] 张小梅, 白友强, 马西欣, 等. 过氧乙酸处理对哈密瓜采后生理的影响[J]. 中国瓜菜, 2017, 30(1): 35-38.
ZHANG Xiaomei, BAI Youqiang, MA Xixin, et al. Effect of peroxy-acetic acid on post-harvest physiology of Hami melon[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2017, 30(1): 35-38.
- [30] 高蕾蕾, 李迎秋. 纤维素酶及其在食品行业中的应用[J]. 食品工

业, 2017, 38(2): 271-274.

GAO Leilei, LI Yingqiu. Celulase and its application in food industry[J]. The Food Industry, 2017, 38(2): 271-274.

加工编辑: 张楠

收稿日期: 2021-04-30

食品研究与开发

Food Research and Development

2022 欢迎订阅

★ 中文核心 ★

中国科技核心期刊 (中国科技论文统计源期刊)
“RCCSE 中国核心学术期刊”
中国农林核心期刊
“中文科技期刊数据库”收录期刊
“万方数据—数字化期刊群”全文上网
《中国核心期刊 (遴选) 数据库》收录期刊
《中国期刊网》收录期刊
“中国期刊全文数据库 (CJFD)”全文收录
《乌利希期刊指南》收录期刊
美国《化学文摘》收录期刊
日本科学技术振兴机构数据库 (JST) 收录期刊
“英国国际农业与生物科学研究中心 (CABI)”收录期刊
EBSCO 数据库收录期刊

国内统一刊号 CN12-1231/TS; 国际刊号 ISSN1005-6521;

邮发代号: 6-197。全国各地邮局及本编辑部均可订阅。

定价: 30元/册, 全年720元。

银行汇款
开户银行: 工商银行 静海支行
账号: 030 209 511 930 020 4171
单位: 天津市食品研究所有限公司

邮局汇款
地址: 天津市静海经济开发区南区科技路 9 号
收款人: 《食品研究与开发》编辑部
邮政编码: 301600