

不同贮藏湿度对番茄贮藏品质的影响

陈东杰^{1,2}, 于怀智^{1,2}, 邓秀丽¹, 张长峰^{1,2}, 孙崇德^{1,2,3}

(1. 国家农产品现代物流工程技术研究中心, 山东 济南 250103; 2. 山东省农产品贮运保鲜技术重点实验室, 山东 济南 250103; 3. 浙江大学, 浙江 杭州 310027)

摘 要: 为了探寻湿度对番茄果实角质层的结构组分及贮藏品质的影响, 以‘汉蒙 7 号’番茄果实为试验材料, 分别置于相对湿度为 $50\% \pm 5\%$ 和 $100\% \pm 5\%$ 的气候培养箱中进行贮藏, 测定果实的失水率、可溶性固形物含量、质构、色差、多酚氧化酶(PPO)活性、过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量、角质层形态结构以及 *SISHINE3* 调控因子表达分析。结果表明, $100\% \pm 5\%$ 贮藏湿度下的番茄能够更好地保持体内各种理化反应的正常运行, 番茄角质层形态结构更加完整, 角质层结构之间的细胞相较于 $50\% \pm 5\%$ 湿度的贮藏环境更加紧凑, 果实的失水率降低, 表皮更加鲜亮, PPO 活性更低, MDA 含量增长的更加缓慢。因此, 在 $100\% \pm 5\%$ 的贮藏湿度下, ‘汉蒙 7 号’番茄果实的品质、果皮显微结构更佳, 更有利于番茄果实的贮藏保鲜和品质调控。

关键词: 番茄; 贮藏湿度; 贮藏品质; *SISHINE3* 调控因子; 角质层

中图分类号: S642.2 文献标志码: A 文章编号: 1008-1038(2022)04-0010-06

DOI: 10.19590/j.cnki.1008-1038.2022.04.002

Effects of Different Storage Humidity on the Storage Quality of Tomato

CHEN Dong-jie^{1,2}, YU Huai-zhi^{1,2}, DENG Xiu-li¹, ZHANG Chang-feng^{1,2}, SUN Chong-de^{1,2,3}

(1. National Engineering Research Center for Agricultural Products Logistics, Jinan 250103, China; 2. Shandong Institute of Commerce and Technology, Shandong Key Laboratory of Storage and Transportation Technology of Agricultural Products, Jinan 250103, China; 3. Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to seek the effects of humidity on cuticle structure and storage quality of tomato fruit, tomato fruits of ‘Hanmeng 7’ were used as material. The fruit was set in the climatic incubator with relative humidity of $50\% \pm 5\%$ and $100\% \pm 5\%$ respectively for storage. The water loss rate, soluble solids content, texture, color difference, the activities of PPO and POD and MDA, cuticle morphology and expression of *SISHINE3* regulatory factor were determined. The results showed that: the normal operation of physical and chemical reactions in tomato could be maintained better under $100\% \pm 5\%$ humidity, and the cuticle structure of tomato was more complete, the cells in the cuticle structure were more compact than those in the $50\% \pm 5\%$ humidity storage environment, the water loss

收稿日期: 2021-12-28

基金项目: 泰山学者特聘专家项目; 山东省自然科学基金(ZR2018PC024)

第一作者简介: 陈东杰(1988—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事农产品无损检测及贮藏工作

rate of fruit was lower, the epidermis was brighter, the PPO activity was lower, and the MDA content increased more slowly. Therefore, in this research, the changes of fruit quality, anti-aging ability and pericarp microstructure of 'Hanmeng 7' tomato during $100\% \pm 5\%$ storage were better, which was more beneficial to the storage and quality control of tomato fruit.

Keywords: Tomato; storage humidity; storage quality; *SISHINE3* regulatory factor; cuticle

番茄生命周期相对较短,品种类型丰富,口感酸甜,遗传体系较为完善,是分析果实发育、成熟、货架保鲜、品质保持以及遗传基因等机制的优良材料^[1]。但番茄属于呼吸跃变型果实^[2],生长和采收期正值夏季高温高湿季节,采后果实极易软化腐烂,且易受多种病害侵染,不耐贮藏,从而失去商品价值和研究价值。研究发现采摘和采后贮藏过程中的不当操作,即使造成的损失非常微小或肉眼不可见,也会加速果实的软化^[3-4]。控制好采后番茄的贮藏条件对提高番茄贮藏品质至关重要。

目前国内外已研究涂膜保鲜技术、1-MCP处理、低温处理、添加抗氧化剂等^[5-8]对番茄贮藏的影响,但关于湿度对番茄贮藏品质影响的研究较少,而保持适宜的相对湿度也是控制和保持果实贮藏品质的有效方法之一。如黄振喜等^[9]研究发现,90%~100%相对湿度贮藏环境下的枣果,个头更加饱满,脆性更高。盖晓阳等^[10]研究得出,高湿度的贮藏环境可以减轻西葫芦的氧化损伤,提高贮藏品质。Mari等^[11]研究表明,85%~90%的相对湿度可以显著降低脐橙果皮的褐变率,增加脐橙的贮藏期。

同时,为了提高应对外界环境变化的能力,减少植物体内水分的流失,大多数高等植物器官的表面都被角质层所覆盖^[12]。角质层作为植物的一级保护屏障,主要是由多酶复合物参与一系列酶促反应合成的,其调控机制受基因序列 *SISHINE3* 因子含量的影响^[13-14]。Ladaniya^[15]研究发现,角质层的结构能影响柑橘的保存期。郜海燕等^[16]研究发现,损伤外表皮角质层的蓝莓更易发生软化衰老。相关研究者对果实角质层的研究表明,相对湿度的变化会影响果实表皮角质层结构、化学组成的变化,从而影响果实的品质。江英等^[14]研究发现,高贮藏湿度对于保持香梨表皮角质层结构和化学组分、延长果实采后贮藏品质具有正向作用。Jana等^[17]研究表明,番茄果实不同发育阶段蜡质组分的变化与角质层蒸腾有着直接的关系。但目前番茄贮藏方法研究中,涉及不同湿度对番

茄贮藏品质影响的文献甚少。本文研究了不同贮藏湿度对番茄品质、番茄表皮及角质层结构、*SISHINE3* 转录因子表达水平的影响,从基因水平探讨了不同湿度对番茄贮藏品质的影响,为番茄采后贮藏保鲜提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试的‘汉蒙7号’番茄购买于济南市七里堡蔬菜批发市场。番茄采摘后4℃冷藏车运送至国家农产品现代物流工程技术研究中心。挑选成熟度一致、形状均匀、无病虫、无机械损伤的番茄。

柠檬酸、柠檬酸钠、硼酸、硼砂、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、邻苯二酚、愈创木酚、三氯乙酸、硫代巴比妥酸,分析纯,均购买于天津市科密欧化学试剂有限公司;果胶酶(酶活1000 U/mg)、纤维素酶(酶活25 U/mg),上海金穗生物科技有限公司;RNA提取试剂盒,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;Premix Ex Taq™(Tli RNaseH Plus)试剂盒,大连 TaKaRa 公司。

1.2 仪器与设备

RX-2智能型人工气候培养箱,宁波江南仪器厂;T9S紫外可见分光光度计,北京普析通用有限公司;CR-400色彩色差计,日本柯尼卡美能达控股公司;质构仪,TMS-TOUCH型,美国FTC公司;高速冷冻离心机,D-78532型,德国Hettich科技有限公司;恒温震荡培养箱,HZL-280型,太仓市强乐实验设备有限公司。

1.3 实验设计

本试验共分为2组处理,在温度 15 ± 0.5 ℃下,将番茄在相对湿度分别为 $50\% \pm 5\%$ 、 $100\% \pm 5\%$ 的条件下贮藏18 d。每隔3 d观测一次番茄失水率、可溶性固形物含量、色差、质构、多酚氧化酶活性、过氧化物酶活性、丙二醛含量以及角质层的形态结构、*SISHINE3* 调控因子表达水平。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 失重率

随机挑选 10 个番茄,每隔 3 d 测定一次总质量并记录,按照公式(1)计算失重率。

$$\text{失重率 } \% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

式中, m_1 为前一次称量的番茄总质量, g; m_2 为后一次称量的番茄总质量, g。

1.4.2 可溶性固形物(SSC)含量

随机挑选 6 个完好的番茄,每个番茄均匀的选取 3 个点,用药匙取适量番茄汁滴于手持糖度计的检测镜上,记录数据。按同样的方法平行操作 6 次,取平均值,单位以%计。

1.4.3 多酚氧化酶(PPO)活性

按照范三红等^[18]的方法进行测定。

1.4.4 过氧化物酶(POD)活性

按照王丽等^[19]的方法进行测定。

1.4.5 丙二醛(MDA)含量

按照彭鸥等^[20]的方法进行测定。

1.4.6 角质层的提取及形态学观察

取直径 2.5 cm 的圆形番茄果皮于烧杯中,加入 10 mL 含 1.5% 纤维素酶、1.5% 果胶酶的柠檬酸-柠檬酸钠缓冲液(0.05 mol/L, pH 4.0, 含 0.01% NaN_3)。将烧杯放置在 35 °C 恒温缓慢旋转的振荡器中(100 r/min),酶解 24 h 后取出,角质层用蒸馏水冲洗掉表面黏附的表皮细胞及果肉,改用硼酸缓冲液(pH 9.0)清洗,以除去黏附在角质层的酸性物质如酚类、脂肪酸等,直到硼酸液保持澄清。最后,分离的角质层用蒸馏水洗涤,自然晾干,贮存于 1~4 °C 冰箱中备用,在电子显微镜下观察其形态变化并拍照。

1.4.7 电镜扫描角质层成分分析

取 10 mL 的 2.5% 戊二醛固定液,加入采样瓶中,用镊子撕下一块番茄表皮,用手术刀轻柔地将番茄表皮切成 3 mm × 5 mm 的长方形,迅速放入采样瓶中,盖紧橡胶瓶盖,置于 4 °C 冰箱中,24 h 后取出。将处理后的番茄果皮分别用不同浓度(10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%)的乙醇清洗 20 min,再用 100% 的乙醇清洗 5 次,每次 20 min,以保证完全脱水。之后样品干燥 1.5 h 后,在解剖镜下将样品用黑色导电胶带固定至电镜扫描台上,喷金,上机观察角质层。

1.4.8 SISHINE3 调控因子表达水平的测定

番茄 SISHINE3 基因提取采用高志民等^[21]的方法。提取的番茄果实 RNA,在检测合格后,进行反转录,其余送至青岛深泉检测公司进行二代测序分析。qRT-PCR 反应采用 CFX96 Real-time PCR detection Systems,按照 SYBRPremix Ex Taq™(Tli RNaseH Plus)试剂盒操作说明进行。引物信息:SIASR1 RT-F CCTGTTCCACCACAAG GACAA,SIASR1RT-RGTGCCAAGTTTACCGATTTC、SISHINE3RT-FATGCAAAGCTGAGGAAATGTTG、SISHINE3RT-R GATGTTTTTTGCCACACTCCAA。

1.5 数据处理方法

采用 Origin 2019 软件对数据进行做图,采用 SPSS 23.0 对数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同湿度对番茄贮藏期内失重率的影响

番茄失水对果蔬的外观形态与内在组织影响较大,不利于果蔬的贮藏^[22]。图 1 显示了不同湿度对番茄贮藏期内失重率的影响。由图可知,随着贮藏时间的延长,贮藏在 50% ± 5% 及 100% ± 5% 贮藏湿度下的番茄的失重率都呈上升趋势,且 100% ± 5% 贮藏湿度下的番茄失重率小于 50% ± 5%,100% ± 5% 贮藏湿度对番茄的保水效果较好,这可能是由于高贮藏湿度抑制了番茄表面的水分散失,从而延缓了番茄内部水分的流失。这表明,100% ± 5% 贮藏湿度可以减少番茄失重率,更有利于番茄的贮藏保鲜。

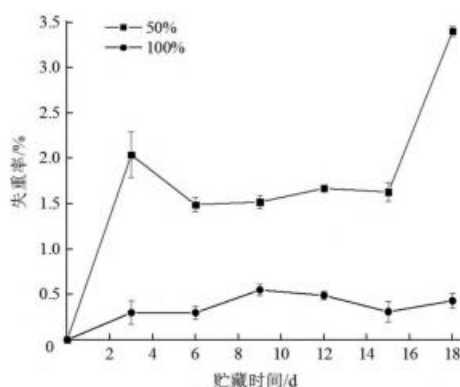


图 1 不同贮藏湿度对番茄失重率的影响

Fig.1 Effect of different storage humidity on weight loss rate of tomato

2.2 不同湿度对番茄贮藏期内 SSC 含量的影响

由图 2 可知,在贮藏期内,50%±5%和 100%±5%贮藏湿度条件下的番茄 SSC 含量均呈下降趋势,且 50%±5%贮藏湿度下番茄 SSC 含量下降趋势比 100%±5%的更明显。这表明,100%±5%贮藏湿度能够减缓番茄 SSC 含量的降低。

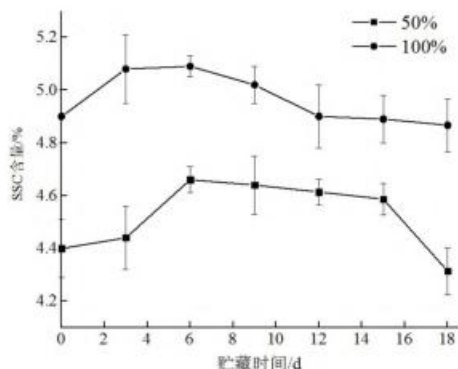


图 2 不同贮藏湿度对番茄 SSC 含量的影响

Fig.2 Effect of different storage humidity on soluble solid content of tomato

2.3 不同湿度对番茄贮藏期内 PPO 活性的影响

由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,50%±5%贮藏湿度下番茄 PPO 活性明显上升,100%±5%贮藏湿度下番茄 PPO 活性保持在较稳定的水平,变动幅度较 50%±5%的小;100%±5%湿度处理下番茄中 PPO 活性低于 50%±5%贮藏湿度下的,可见 100%±5%的湿度处理更能有效抑制番茄中 PPO 活性,延缓番茄氧化衰老,抑制其氧化褐变。

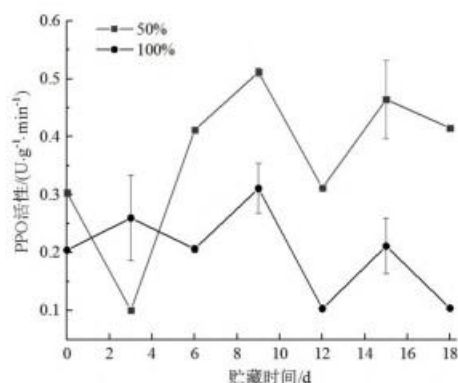


图 3 不同贮藏湿度对番茄 PPO 活性的影响

Fig.3 Effect of different storage humidity on PPO activity of tomato

2.4 不同湿度对番茄贮藏期内 POD 活性的影响

由图 4 可知,随着贮藏时间的延长,不同贮藏湿度对番茄 POD 活性产生不同影响,贮藏到 18 d,50%±5%和 100%±5%贮藏湿度下番茄 POD 活性差异明显 ($P < 0.05$),说明不同贮藏湿度对番茄 POD 产生影响。而在贮藏到 16 d 时,不同贮藏湿度下,两组 POD 数据差异不显著 ($P > 0.05$)。不同湿度对番茄 POD 影响需要后续深入研究。

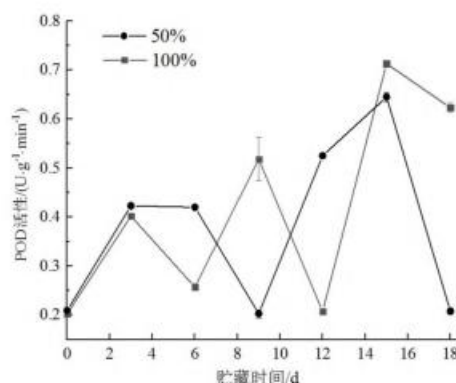


图 4 不同贮藏湿度对番茄 POD 活性的影响

Fig.4 Effect of different storage humidity on POD activity of tomato

2.5 不同湿度对番茄贮藏期内 MDA 的影响

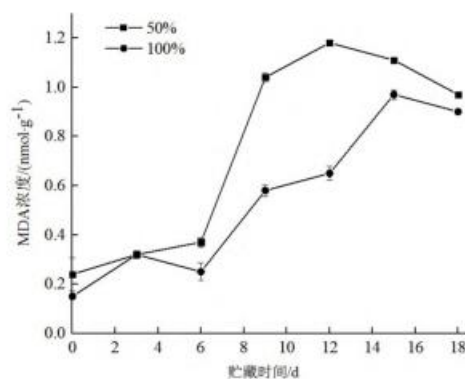


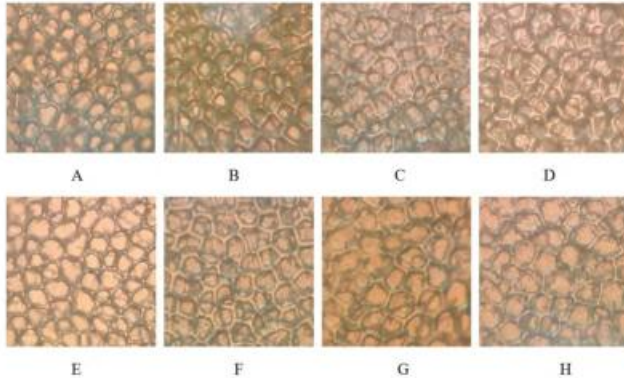
图 5 不同贮藏湿度对番茄 MDA 的影响

Fig.5 Effect of different storage humidity on MDA of tomato

MDA 是植物组织膜过氧化的主要产物,其含量的多少反映膜损伤的程度^[30]。由图 5 可知,随着贮藏时间的延长,番茄 MDA 含量明显增加,在贮藏期内,50%±5%贮藏湿度下番茄 MDA 含量高于 100%±5%贮藏湿度下的。这表明,100%±5%的贮藏湿度处理可以抑制其在贮藏期间 MDA 的积累,从而抑制番茄组织过氧化反应,延长

番茄的贮藏期。

2.6 不同湿度对番茄贮藏期间角质层形态结构的影响



A:50%±5%贮藏0 d;B:50%±5%贮藏6 d;C:50%±5%贮藏12 d;D:50%±5%贮藏18 d;E:100%±5%贮藏0 d;F:100%±5%贮藏6 d;G:100%±5%贮藏12 d;H:100%±5%贮藏18 d

图6 不同湿度下番茄角质层形态学观察

Fig.6 Morphological observation of tomato cuticle under different humidity

角质层在保持番茄果实的完整性及防止果实破裂变形等方面具有重要作用^[23]。由图6可知,在贮藏第0天时,番茄表皮角质层结构完整,细胞成熟清晰且排列整齐紧凑;但随着贮藏时间的延长,50%±5%贮藏湿度下的番茄角质层结构之间的间隙逐渐增大,个别细胞破裂,细胞形态不再完整;100%±5%贮藏湿度下的番茄角质层结构之间的间隙略有增加,但细胞结构依旧完整,无破损现象。这表明,100%±5%贮藏湿度下的番茄表皮形态更加完整,防御外界环境侵害的能力更强,更有利于番茄的贮藏保鲜。

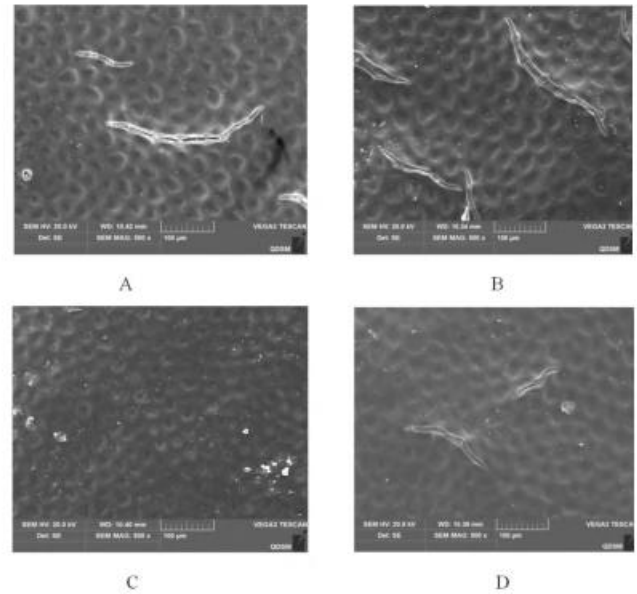
2.7 不同湿度对番茄贮藏期内番茄表皮结构的影响

如图7所示,贮藏第6天,扫描电镜下,贮藏在100%±5%湿度下和50%±5%湿度下的番茄外表皮外观无明显差别。但随着贮藏时间的延长,贮藏到第18天时,在100%±5%和50%±5%湿度下的番茄表皮趋于粗糙;而50%±5%湿度下的外表皮则更为粗糙。

2.8 不同湿度对番茄贮藏期内 *SISHINE3* 调控因子表达水平的影响

如图8所示,*SISHINE3* 调控因子表达水平随着贮藏时间的延长整体呈下降趋势,贮藏第3天时,在100%±5%和50%±5%湿度下番茄的 *SISHINE3* 调控因子表达量较低,且贮藏在50%±5%湿度表达下降更明显,贮藏

到第18天时,贮藏在湿度100%±5%的 *SISHINE3* 调控因子表达水平明显高于贮藏50%的湿度,说明不同湿度对 *SISHINE3* 因子表达产生影响,因 *SISHINE3* 因子控制果实角质层的合成,高湿度环境下,可更有利于稳定保持果实表皮角质层结构,从而延长番茄贮藏周期。



A:50%±5%湿度下贮藏到第6天;B:100%±5%湿度下贮藏到第6天;C:50%±5%湿度贮藏到第18天;D:100%±5%湿度贮藏到第18天

图7 不同湿度下番茄角质层形态学观察

Fig.7 Morphological observation of tomato cuticle under different humidity

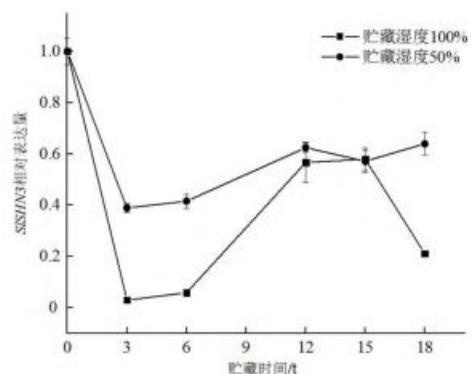


图8 不同贮藏湿度下番茄 *SISHINE3* 调控因子表达水平

Fig.8 Expression level of *SISHINE3* regulatory factors in tomato under different storage humidity

3 结论

50%±5%贮藏湿度下番茄的可溶性固形物含量可以得到明显的提升,但不适宜长期贮藏。而100%±5%贮藏湿度条件下的番茄可溶性固形物含量更加稳定,失重率较小,延缓了 *SISHINE3* 调控因子表达水平的下降,同时能够更好地保持番茄的外观和结构形态,降低贮藏过程中MDA含量及PPO活性,延缓果实的软化衰老。总之,该条件湿度不论是短期贮藏还是长期贮藏,都更有利于番茄果实贮藏品质的保持。

参考文献:

- [1] 周国春. 壳寡糖对番茄果实保鲜机理的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2016: 23-25.
- [2] 冯锡刚, 王孝宣, 国艳梅, 等. 耐贮性不同番茄果实成熟过程中生理特性差异的研究[J]. 华北农学报, 2010, 25(5): 121-126.
- [3] 王静. 失水对果蔬采后成熟衰老的影响[J]. 现代农业科技, 2015(16): 269, 272.
- [4] 李应彪, 黄佐蓉, 刘建成, 等. 库尔勒香梨贮藏期间酶促褐变机理的研究[J]. 冷饮与速冻食品工业, 2005(4): 12-14, 23.
- [5] 隋思瑶, 马佳佳, 陆皓茜, 等. 不同涂膜处理对樱桃番茄保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(5): 40-45.
- [6] 姚萍, 蒋海峰, 刘瑶, 等. 不同处理对樱桃番茄贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(3): 8-15.
- [7] 张丽芬, 张盼盼, 潘润森, 等. 超声协同钙浸渍对樱桃番茄贮藏过程中番茄红素和品质特性的影响[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(1): 54-64.
- [8] 董晓庆, 吴本翠, 黄世安, 等. 采前喷施二氧化氯对设施番茄采后贮藏品质的影响[J]. 北方园艺, 2020(20): 98-106.
- [9] 黄振喜, 王明友, 潘恩敬, 等. 影响冬枣贮藏保鲜的关键因素分析[J]. 现代农村科技, 2021(3): 107-108.
- [10] 盖晓阳, 张敏, 胡均如, 等. 不同湿度对热处理西葫芦传热过程及低温贮藏品质和抗氧化系统影响[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-12 [2021-04-30]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFD-LAST2022&filename=SPFX20220-2015&uniplatform=NZKPT&v=eigAfyk-6vQDRtNzAXNuzvaxIMTd3t-b2uP4iSOKILTnu-JtO54VS5-1vE3tdt2sq>.
- [11] MARÍ A T L, JOSE M S. Absciscic acid levels and the influence of ethylene, humidity and storage temperature on the incidence of postharvest rindstaining of 'Navelina' orange(*Citrus sinensis* L. Osbeck) fruit[J]. Postharvest Biology & Technology, 2002, 25(1): 49-57.
- [12] 刘俊辰, 马蒙蒙, 劳春峰, 等. “海尔冰吧”对樱桃番茄贮藏品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2018(22): 78-82.
- [13] 杨绿竹, 王馨雨, 王蓉蓉, 等. 柑橘果皮角质层及其对采后贮藏保鲜影响的研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(7): 234-244.
- [14] 江英, 王月, 毛惠娟, 等. 高湿度贮藏环境保持香梨表皮蜡质延缓衰老进程[J]. 农业工程学报, 2020, 36(3): 287-295.
- [15] LADANIYA M S. Physico-chemical, respiratory and fungicide residue changes in wax coated mandarin fruit stored at chilling temperature with intermittent warming[J]. Journal of Food Science and Technology, 2011, 48(2): 150-158.
- [16] 邵海燕, 杨帅, 陈杭君, 等. 蓝莓外表皮蜡质及其对果实软化的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 102-108.
- [17] JANA L, ULRICH H, KERSTIN R, et al. The developmentall pattern of tomato fruit wax accumulation and its impact on cuticular transpiration barrier properties: Effects of a deficiency in a β -Ketoacyl-Coenzyme A synthase (LeCER6)[J]. Plant Physiology, 2007, 144(3): 1667-1679.
- [18] 范三红, 李静, 施俊凤. 拮抗菌 *Burkholderia contaminans* 对玫瑰香葡萄采后灰霉病的抗性诱导[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 284-288.
- [19] 王丽, 王万兴, 索海翠, 等. 马铃薯块茎酶促褐变及与相关生理指标的关系[J]. 园艺学报, 2019, 46(8): 1519-1530.
- [20] 彭鹏, 叶长城, 刘玉玲, 等. Cd胁迫下水稻叶片SOD活性和MDA含量与糙米中Cd含量的相关性研究[J]. 生态毒理学报, 2019, 14(6): 233-240.
- [21] 高志民, 范少辉, 高健, 等. 基于CTAB法提取毛竹基因组DNA的探讨[J]. 林业科学研究, 2006, 19(6): 725-728.
- [22] BUXDORF K, RUBINSKY G, BARDA O, et al. The transcription factor *SISHINE3* modulates defense responses in tomato plants[J]. Plant Molecular Biology, 2013, 84(1-2): 37-47.
- [23] MAI A, PBP A, AY B. Chemical and nutritional quality changes of tomato during postharvest transportation and storage[J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2021, 20(6): 401-408.