

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2024.06.011

海藻糖对樱桃番茄果实品质的影响

夏明慧, 樊婷婷, 曹君璇, 张静, 王彤, 曹树青

(合肥工业大学 食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230601)

摘要:文章以樱桃番茄为主要原料,研究质量浓度为 1 g/L 的海藻糖对樱桃番茄的保鲜效果。在常温下测定樱桃番茄的腐烂指数、质量损失率、硬度、pH 值、总可溶性固形物(total soluble solids, TSS)、可滴定酸(titratable acid, TA)、维生素 C(Vc)、番茄红素、还原糖以及可溶性蛋白质等指标。结果表明,采用 1 g/L 的海藻糖处理樱桃番茄后,显著抑制了果实腐烂指数和质量损失率的上升,延缓了可滴定酸质量浓度、维生素 C 和可溶性蛋白质质量比的下降。因此,海藻糖处理樱桃番茄后抑制了果实的腐烂,显著提高了果实的贮藏品质,延长了其保质期。

关键词:樱桃番茄;海藻糖;贮藏品质;腐烂指数

中图分类号:TS255.36

文献标志码:A

文章编号:1003-5060(2024)06-0790-06

Effect of trehalose on fruit quality of cherry tomato

XIA Minghui, FAN Tingting, CAO Junxuan, ZHANG Jing, WANG Tong, CAO Shuqing

(School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China)

Abstract: The preservation effect of 1 g/L trehalose solution was investigated using cherry tomato as the main ingredient. The decay index, weight loss rate, hardness, pH value, total soluble solids (TSS), titratable acid (TA), vitamin C (Vc), lycopene, reducing sugar and soluble protein of cherry tomato were measured at room temperature. The results showed that 1 g/L trehalose treated cherry tomato significantly inhibited the increase of fruit decay index and weight loss rate, and delayed the decrease of TA, Vc, and soluble protein. In conclusion, trehalose treatment suppressed the rising decay index of cherry tomato, significantly improved the storage quality of the fruit and extended shelf life.

Key words: cherry tomato; trehalose; storage quality; decay index

0 引言

樱桃番茄属于浆果类果实,风味独特,富含多种营养,是一种价值优良的水果,其具有清热解毒、健胃消食、补血养血等功效。樱桃番茄中的维生素、酚类物质和类胡萝卜素等有较好的抗氧化作用,能够猝灭活性剂、消除体内自由基、减缓动脉粥样硬化、保护心血管和预防多种癌症,因此樱桃番茄也被视为一种重要的天然食用抗氧化

剂^[1-2]。但是樱桃番茄因其皮薄汁多,不耐运输贮藏,在采后容易受到机械损伤和微生物的侵害,继而出现霉变腐烂,导致其感官品质和营养品质下降^[3]。目前樱桃番茄的贮藏方式主要是气调贮藏和化学处理,但气调贮藏成本较高、维修费用高,化学药剂过量使用会危害身体健康^[4]。因此可以采用无毒无害的天然保鲜防腐剂。

海藻糖又被称为酵母糖,是 Wiggers 在 1832 年首次从黑麦的麦角菌中提取出来的,后来发现其

收稿日期:2021-12-27;修回日期:2022-03-17

基金项目:安徽省自然科学基金青年基金资助项目(1508085QC50)

作者简介:夏明慧(1997—),女,山东德州人,合肥工业大学硕士生;

樊婷婷(1984—),女,安徽合肥人,博士,合肥工业大学副教授,硕士生导师,通信作者,E-mail:fantting@hfut.edu.cn;

曹树青(1966—),男,安徽合肥人,博士,合肥工业大学教授,博士生导师。

在植物、动物和微生物中广泛存在^[5]。海藻糖是由 2 个葡萄糖分子通过 $\alpha, \alpha-1, 1$ 糖苷键连接的非还原性双糖,其化学性质稳定,受热时不会发生脱水与降解,不发生焦糖化反应和美拉德反应^[6]。海藻糖因其特殊结构能够有效地保护细胞质膜和蛋白质结构,维持细胞渗透压,防止细胞内营养成分流失,维持细胞正常的生命结构。

目前海藻糖作为防止食品劣化、保持食品新鲜风味、提高食品品质的天然防腐剂,已经被应用于多种果蔬的保鲜,例如苹果、草莓和辣椒等^[7-8]。海藻糖可以抑制果蔬的呼吸作用,减缓水分蒸发,有效阻止外界空气进入果实内部,防止氧气与果蔬内的酶作用^[9]。因此海藻糖在果蔬采后的质量维护中可能具有潜在的商业用途。然而,关于海藻糖影响樱桃番茄果实品质的报道很少。本文研究常温下用海藻糖处理樱桃番茄对其腐烂程度和果实品质的影响,为寻求一种新的、安全有效的樱桃番茄保鲜剂提供一定的理论和应用依据。

1 材料与方法

1.1 材料

本实验的樱桃番茄购于合肥工业大学的水果超市,选用外观和成熟度一致,无病虫害和机械损伤的新鲜果实。选定的果实将被随机分配和使用。

海藻糖购于上海源叶有限公司,本实验配制了质量浓度为 1 g/L 的海藻糖溶液;其他所有的试剂均为分析纯。

预实验中配制不同质量浓度(0、1、10、50 g/L)海藻糖溶液处理樱桃番茄果实,结果显示质量浓度过高,果实腐烂程度升高。因此,本文选用质量浓度为 1 g/L 的海藻糖溶液作为实验组。

将樱桃番茄洗净沥干,在质量浓度为 1 g/L 的海藻糖溶液中浸泡 5 min,把处理好的樱桃番茄通风晾干后放在塑料筐内,保存在温度为 25 °C、湿度为 75%~85%的环境下。同时以蒸馏水处理样品作为对照组。以处理当天为第 0 天,一共处理 15 d,每 3 天取样检测各品质指标。每次处理重复 3 次。

1.2 腐烂指数和质量损失率的测定

腐烂指数的测定参考文献^[10]的方法,质量损失率的计算参考文献^[11]的方法。

1.3 硬度和总可溶性固形物的测定

将樱桃番茄果实置于两块玻璃板(10 cm × 10 cm)之间,用 GY-3 型果实硬度计从果实赤道

上方施加压力测定果实硬度。每次测定取 1 个果粒,重复 3 次取平均值。使用 WYT-III 手持糖量计测定果实的总可溶性固形物(total soluble solids, TSS)的质量分数。

1.4 pH 值和 TA 质量分数的测定

将 10 个樱桃番茄果实一起用榨汁机榨汁,用于测定 pH 值和可滴定酸(titratable acid, TA)质量分数。果实的 pH 值采用 PHS-25 型 pH 计测定。取果汁 10 mL 加入 2 滴酚酞,用 0.1 mol/L NaOH 滴定至微红色测定 TA 质量分数。

1.5 维生素 C 和番茄红素质量比的测定

采用 2,6 二氯酚靛酚滴定法测定维生素 C (Vc)质量比,取 5 g 样品加入 5 mL 的 20 g/L 草酸溶液,在冰浴条件下研磨成匀浆,倒入 100 mL 的容量瓶内,用草酸溶液洗涤数次,最后定容至刻度。4 °C、12 000 r/min 离心 10 min,取 10 mL 上清液用已标定的 2,6 二氯酚靛酚滴定至微红色。番茄红素质量比的测定参考文献^[12]的方法,测定 475 nm 处的吸光度。

1.6 还原性糖和可溶性蛋白质质量比的测定

采用斐林试剂滴定法测定还原糖质量比,准确称取 1 g 组织研磨,用双蒸水定容至 25 mL;在 80 °C 恒温水浴中保温 30 min;取出多次过滤定容至 100 mL 为还原糖提取液。

吸取斐林试剂 A 液和 B 液各 5 mL 于锥形瓶,加入 10 mL 水、2 滴甲基蓝和 3 颗玻璃珠;加热沸腾后,用还原糖提取液滴定至蓝色刚好褪去,记录消耗体积,计算出还原性糖质量。

称取 2 g 样品,加入 5 mL PBS 缓冲液研磨,4 °C、12 000 r/min 离心 20 min,取 1 mL 上清液与 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 充分混匀,静置 2 min 后,测定 595 nm 下的吸光度;按照同样的方法制作标准曲线;根据溶液吸光度,在标准曲线上查到相应的蛋白质质量,计算组织中可溶性蛋白质质量比。

1.7 统计分析

实验所有数据采用 Origin 2019 处理,并用 SPSS 19.0 软件分析数据。用 Tukey 多重比较方法进行差异显著性分析,* 表示 $P < 0.05$ 水平下差异显著,** 表示 $P < 0.01$ 水平下差异极显著。

2 结果与分析

2.1 海藻糖对腐烂指数和质量损失率的影响

樱桃番茄经处理后,测定 15 d 内的腐烂指数

和质量损失率,结果如图 1 所示。

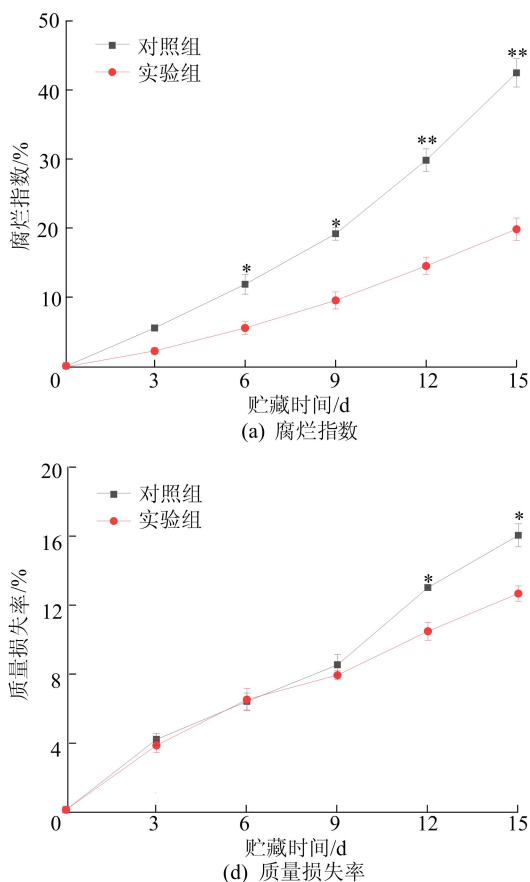


图 1 海藻糖对腐烂指数和质量损失率的影响

由图 1a 可知:对照组和实验组樱桃番茄果实 在第 3 天出现腐烂现象,之后随着贮藏时间延长,腐烂指数呈上升趋势;与对照组相比,海藻糖处理能够显著抑制樱桃番茄的腐烂,在贮藏 15 d 时,经海藻糖处理的果实腐烂指数仅为 28%,而对照组果实腐烂指数为 45.2%。这是由于果实表面的海藻糖在水果表面形成的特殊膜具有一定的抗病性,减少了病原菌的侵入,降低果实的病理性腐烂。文献[8]研究发现,经海藻糖溶液浸泡的草莓,相较于对照组显著抑制了腐烂指数的升高,较好地保持了草莓的色泽和气味,与本研究结果一致。

由图 1b 可知,樱桃番茄的质量损失率随贮藏时间的延长而增大。这是由于樱桃番茄果实在采后仍然会进行蒸腾作用和呼吸作用,导致细胞内的水分散失,营养物质消耗,从而增加果实的质量损失率^[13]。在贮藏后期,经海藻糖处理的果实质量损失率明显低于对照组。第 15 天时,对照组的质量损失率为 17.7%,实验组的质量损失率仅为 12.8%。海藻糖通过降低果蔬的呼吸速率,减缓

了水分蒸发^[14]。因此,海藻糖处理显著降低了腐烂指数和质量损失率,从而延长了果实的贮藏期。

2.2 海藻糖对硬度和 TSS 质量分数的影响

海藻糖对樱桃番茄的硬度和 TSS 质量分数的影响如图 2 所示。

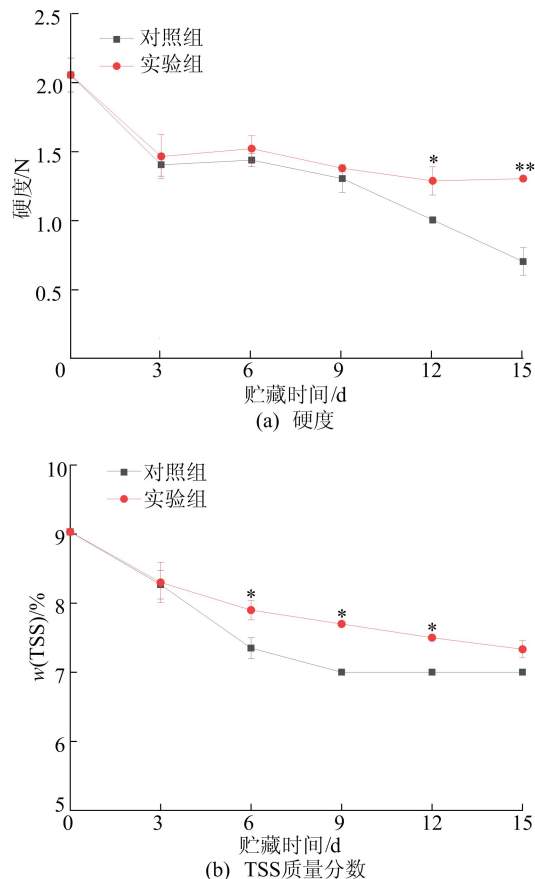


图 2 海藻糖对硬度和 TSS 质量分数的影响

从图 2a 可以看出,在室温条件下,随着贮藏时间的延长,各组樱桃番茄果实的硬度逐渐降低。但海藻糖的处理有效地延缓了果实硬度的下降,在第 12 天和第 15 天效果最为显著。不溶性果胶质量分数下降、可溶性果胶质量分数上升是导致果实软化的直接原因;原果胶酶活性升高,催化水解细胞壁中原果胶,使果实的细胞壁结构松散是间接内因^[15]。目前已有研究表明,海藻糖在动植物中能起到稳定组织细胞结构的作用,防止蛋白质变性,保持原有的组织或细胞构造^[16]。这可能是由于海藻糖能够降低原果胶酶质量分数,维持樱桃番茄的组织细胞结构,减少果实的萎蔫,但还需要具体实验加以验证。

TSS 主要包含可溶性糖和一些可溶有机质,是果实风味的重要因素,其质量分数的高低能够直接反映果实的成熟程度和品质状况。图 2b 结果表明,在贮藏前 3 d,各组果实的 TSS 质量分数

无显著差异。随贮藏时间的延长,果实不断地进行呼吸作用,但由于没有外界营养来源,主要消耗果实体内的可溶性糖,导致各组果实的 TSS 质量分数呈下降的趋势^[17]。在第 9 天时,对照组的 TSS 质量分数由 9% 下降到 7%,而实验组的 TSS 质量分数仅下降到了 7.8%。文献^[18]发现经海藻糖溶液浸泡的苹果切片,相较于对照组显著抑制了 TSS 质量分数的下降,这与本研究结果一致。以上结果表明,实验组果实成熟度比对照组低,海藻糖处理维持了樱桃番茄的品质。

2.3 海藻糖对 pH 值和 TA 质量分数的影响

海藻糖对樱桃番茄 pH 值和 TA 质量分数的影响如图 3 所示。由图 3a 可知,樱桃番茄果实的 pH 值随贮藏时间的延长持续升高,海藻糖处理能够抑制果实 pH 值上升,贮藏 15 d 时效果最为显著。在贮藏过程中,樱桃番茄果实中的有机酸含量不断减少,部分被消耗,也有部分转化为糖类,因此糖酸比呈上升趋势,导致 pH 值逐渐升高^[19]。但海藻糖处理能够延缓果实的成熟度,从而抑制 pH 值的上升。

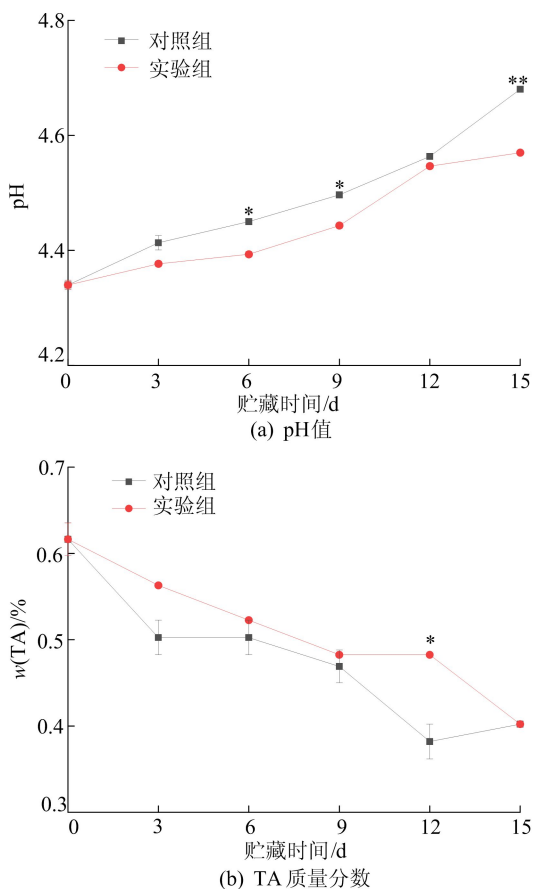


图3 海藻糖对 pH 值和 TA 质量分数的影响

可滴定酸是评价果实贮藏品质的关键指标之

一,直接反映果实的风味和口感,也可以间接反映果实的呼吸代谢水平。果实的呼吸作用可以分解消耗部分可滴定酸,过熟的樱桃番茄有机酸含量降低,从而导致果实的特征风味丧失^[20]。由图 3b 可知,樱桃番茄在贮藏期间的可滴定酸质量分数呈逐渐下降的趋势。经过海藻糖处理的樱桃番茄果实的可滴定酸质量分数在第 12 天得到了显著抑制。由此可知,海藻糖处理能够减少果实可滴定酸的损失,延缓组织的衰老,保鲜效果显著。

2.4 海藻糖对 Vc 和番茄红素质量比的影响

海藻糖对樱桃番茄 Vc 和番茄红素质量比的影响如图 4 所示。

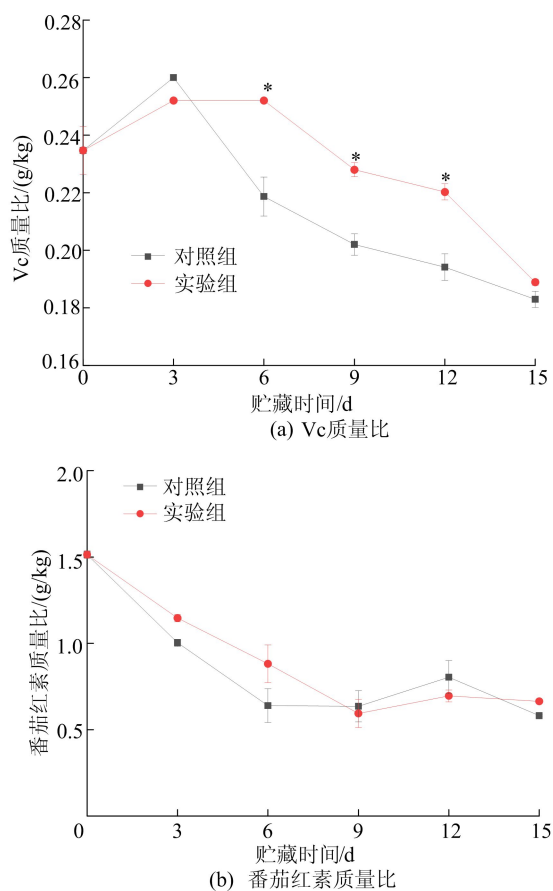


图4 海藻糖对 Vc 和番茄红素质量比的影响

Vc 质量比变化是衡量水果营养价值的一个重要指标,樱桃番茄果实中 Vc 质量比较高,大约是普通番茄的 1.7 倍^[21]。由图 4a 可知,随贮藏时间的延长,对照组和实验组的 Vc 质量比均都在第 3 天达到峰值后呈下降趋势,这可能与酶促分解和物理溶解有关,在贮藏过程中果实后熟,营养物质内部互相转化生成了 Vc。经过海藻糖处理可以显著抑制 Vc 质量比的降低,尤其在第 9 天和第 12 天效果最为显著。文献^[22]研究发现经

海藻溶液浸泡的苹果片冷冻、解冻后,明显降低了 Vc 的损失,较好地保持了苹果片的色泽和品质,这与本研究的结果一致。

番茄红素属于类胡萝卜素的一种,具有抗氧化、清除自由基和诱导细胞间信息传递等功能,能够预防心血管疾病,增强人体免疫力。由图 4b 可知,果实的番茄红素质量比随时间延长持续下降。在贮藏前期,实验组番茄红素质量比高于对照组,但两组之间并没有显著的差异。这可能是由于海藻糖能够激活樱桃番茄果实中 Vc 等抗氧化物质相关基因的表达水平,但不能显著诱导与番茄红素合成相关基因的表达量。

后续实验可以提取果实的 RNA,采用实时荧光定量聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)技术加以验证。实验结果表明,海藻糖处理可延缓 Vc 质量比的下降速度,减少 Vc 的消耗和营养流失。

2.5 海藻糖对还原糖和可溶性蛋白质的影响

果蔬的还原糖和可溶性蛋白质质量比是重要的生理生化指标,也是果蔬品质和营养的重要评价指标,海藻糖对还原糖和可溶性蛋白质质量比的影响如图 5 所示。

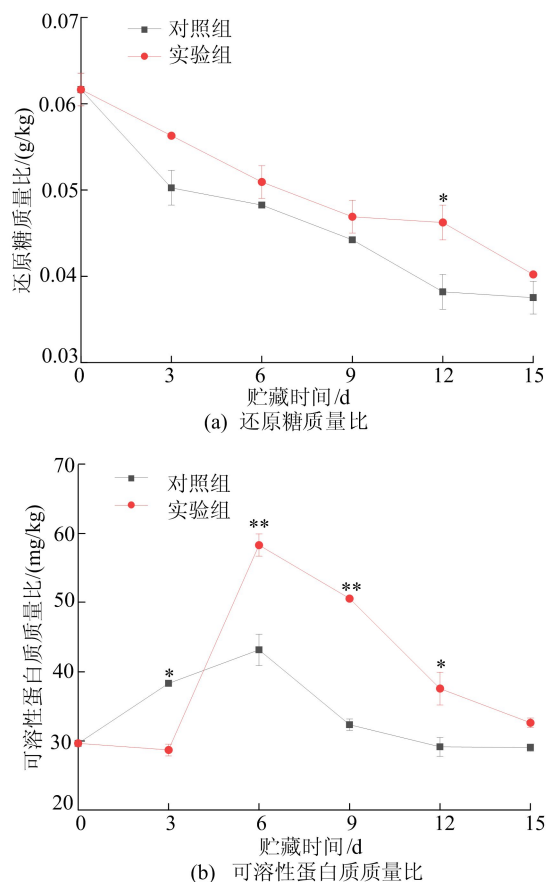


图 5 海藻糖对还原糖和可溶性蛋白质质量比的影响

由图 5a 可知,随着贮藏时间的不断延长,樱桃番茄果实中的还原糖质量比持续下降,但经海藻糖处理延缓了果实还原糖的下降速率,尤其在第 12 天时效果最显著。可见在贮藏过程中两组果实内部的代谢状况存在差异,这与海藻糖处理抑制了果实呼吸作用及减少糖分的转化有关。

由图 5b 可知,可溶性蛋白质质量比先上升后下降,在第 6 天达到峰值。这是由于在贮藏前期,果实体内的蛋白质合成和分解处于相对平衡的状态,随着果实衰老过程的进行,蛋白质的分解速率逐渐大于合成速率,表现为可溶性蛋白质质量比降低^[23]。海藻糖实验组相比于对照组能够维持可溶性蛋白质质量比减缓下降速率。在处理第 9 天时,实验组可溶性蛋白质质量比为 52 mg/kg,而对照组的质量比仅为 32 mg/kg。这是由于海藻糖处理能够有效地延缓可溶性蛋白质的分解速率。结果表明,海藻糖能够维持樱桃番茄果实的还原糖和可溶性蛋白质质量比,减少营养流失。

3 结 论

樱桃番茄果实从田间携带了大量的潜伏致病菌,因此采后樱桃番茄果实常温贮藏的主要问题是腐烂变质。樱桃番茄果实贮藏期间发生腐烂变质,导致果实的 TSS 和 TA 质量分数、还原糖和 Vc 质量比急剧下降,而硬度、pH 值、TSS 和 TA 质量分数、Vc、番茄红素、还原糖、可溶性蛋白质的质量比是采后果实的重要品质指标,决定着果实的营养品质及商品性。

在预实验阶段,分别配制了质量浓度为 0、1、10、50 g/L 的海藻糖溶液处理樱桃番茄,结果发现并不是海藻糖质量浓度越高,保鲜效果越好。高质量浓度的海藻糖溶液处理果实腐烂指数反而升高,这可能是由于溶液质量浓度过高阻碍了樱桃番茄果实的呼吸作用,或过多的糖类为微生物生长繁殖提供了良好的培养条件,继而造成病原菌更易侵入,导致腐烂指数的上升^[24]。这与文献[18,25]的研究结果相似,因此,本实验选用质量浓度为 1 g/L 的海藻糖溶液用于后续实验中。

在本实验中,1 g/L 的海藻糖处理樱桃番茄能较好地抑制采后果实腐烂,同时显著地抑制果实硬度、TA 质量分数、Vc 和可溶性蛋白质质量比的下降,使果实在贮藏结束时仍保持较高的水平,提高了樱桃番茄果实的贮藏品质,而果实的番茄红素质量比与对照组相比则无显著差异。因此海藻糖能够有效地减少采后果实的腐烂,较好地

保持采后樱桃番茄果实的品质,但其保鲜机理还需要进一步研究,后续实验也将关注海藻糖的抗氧化功能和抑菌机理。

[参 考 文 献]

- [1] VINHA A F, ALVES R C, BARREIRA S, et al. Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 55 (1): 197-202.
- [2] YOUNG A J, LOWE G M. Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2001, 385(1): 20-27.
- [3] RISSANEN T H, VOUTLLAINEN S, NYSSONEN K, et al. Serum lycopene concentrations and carotid atherosclerosis: the kuopio ischaemic heart disease risk factor study[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2003, 77: 133-138.
- [4] ZHANG H Y, LI R P, LIU W M. Effects of chitin and its derivative chitosan on postharvest decay of fruits: a review [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2011, 12(2): 917-934.
- [5] ZHANG D F, WANG H T, HU Y, et al. Chitosan controls postharvest decay on cherry tomato fruit possibly via the mitogen-activated protein kinase signaling pathway [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(33): 7399-7404.
- [6] ELBEIN A D, PAN Y T. New insights on trehalose: a multifunctional molecule[J]. Glycobiology, 2003, 13(4): 17-27.
- [7] ZHAO L N, ZHANG H Y, LI J, et al. Enhancement of biocontrol efficacy of pichia carribbica to postharvest diseases of strawberries by addition of trehalose to the growth medium[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2012, 13(3): 3916-3932.
- [8] 荆晓艳, 章银良, 张陆燕, 等. 海藻糖涂膜保鲜草莓和辣椒的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2014, 35(2): 81-84.
- [9] 章银良. 海藻糖和水分活度对腌制海鳗保藏性能的影响[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(2): 118-122.
- [10] WU S Y, ZHEN C Y, WANG K, et al. Effects of bacillus subtilis CF-3 VOCs combined with heat treatment on the control of monilinia fructicola in peaches and colletotrichum gloeosporioides in litchi fruit [J]. Journal of Food Quality, 2016, 84(12): 3418-3428.
- [11] GE Y H, CHEN Y R, LI C Y, et al. Effect of trisodium phosphate dipping treatment on the quality and energy metabolism of apples [J]. Food Chemistry, 2019, 274: 324-329.
- [12] GOULA A M, ADAMOPOULOS K G, CHATZITAKIS P C, et al. Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 74(1): 37-46.
- [13] 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.
- [14] 王帅静, 朱延光, 蓝尉冰, 等. 海藻糖对生鲜类食品保鲜的机理及其应用研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(10): 165-170.
- [15] 邵建雯. 短波紫外线照射对樱桃番茄果实成熟的影响及机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [16] 王一雯, 权淑静, 马焕, 等. 海藻糖保护植物组织和动物细胞的作用机制综述[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(2): 14-18.
- [17] 弓德强, 张秀梅, 谢江辉, 等. 1-MCP 处理对冷藏番茄果实贮藏品质和生理变化的影响 [J]. 食品科学, 2007, 28(6): 340-343.
- [18] 胡云峰, 贾冬梅, 魏增宇. 海藻糖涂膜对鲜切苹果品质的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(7): 10-15.
- [19] 薛玉梅, 穆欣, 许明, 等. 含迟熟基因 *rin* 的番茄果实货架寿命相关性状的研究 [J]. 华北农学报, 2007, 22(4): 104-107.
- [20] BLACHER S M, CREANOR S L, CREANOR S. An *in vitro* investigation of the initial pH and titratable acidity of a selection of fruit smoothies [J]. Dental Update, 2011, 38(9): 604-608.
- [21] 王晓光, 李成彬. 日光温室樱桃番茄栽培技术[J]. 北方园艺, 2010(17): 64-65.
- [22] 纵伟, 张欢欢, 冯亚奇. 海藻糖浸泡处理对冷冻苹果片质量特性的影响[J]. 中国食品添加剂, 2009(4): 126-128, 163.
- [23] 蔡梅艳, 陶乐仁, 张婷玉, 等. 温湿度对菠菜可溶性蛋白质含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(9): 250-252.
- [24] 潘永梅. 植物精油对枇杷果实常温保鲜的效果及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [25] 范林林, 李萌萌, 冯叙桥, 等. 壳聚糖涂膜对鲜切苹果贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 350-355.

(责任编辑 闫杏丽)