

水杨酸对蓝莓贮藏品质及果实软化的影响

曹森¹, 巴良杰¹, 张鹏², 李江阔^{2*}

(¹ 贵阳学院食品与制药工程学院 贵州省果品加工工程技术研究中心 贵阳 550005

² 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津) 农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室
天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室 天津 300384)

摘要 为探究水杨酸对蓝莓贮藏品质及果实软化的影响,以“粉蓝”为试材,采前用不同浓度的水杨酸(1.0,2.0,3.0 mmol/L)处理蓝莓,在(0.5±0.5)℃冷藏条件下研究蓝莓品质和果实软化的情况。结果表明,采前用水杨酸处理可以降低果实腐烂率,尤其用 2.0 mmol/L 水杨酸处理果实的腐烂率在贮藏 80 d 较对照组果实降低了 21.88%。与其它处理组比较,2.0 mmol/L 水杨酸处理组有效保持果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、总酚含量、维生素 C 含量和花色苷含量处于较高水平,同时能够有效延缓果胶甲酯酶活性(PME)、多聚半乳糖醛酸酶活性(PG)、半乳糖苷酶活性(β -Gal)和纤维素酶活性(Cx)的上升,进而有效抑制果实原果胶的水解和减少水溶性果胶的积累。结论:采前用 2.0 mmol/L 的水杨酸处理可通过调节蓝莓果实细胞壁代谢有效降低果实软化的发生,并能较好地维持果实贮藏品质。

关键词 蓝莓; 水杨酸; 贮藏品质; 果实软化

文章编号 1009-7848(2023)07-0337-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.07.034

蓝莓(Blueberry),杜鹃花科越橘属(*Vaccinium*),富含花色苷、多酚等营养成分,具有抗衰老、抗氧化等功能,有“浆果之王”的美誉^[1]。近年来随着贵州省蓝莓生产规模的不断扩大,蓝莓种植面积和产量均位列全国第一^[2]。然而,蓝莓皮薄、易失水,贮藏期易出现软化、果皮凹陷,甚至长霉腐烂等问题,严重降低蓝莓的商品率,从而造成经济损失^[3-4]。前人研究表明,果实贮藏期间其果胶甲酯酶、多聚半乳糖醛酸酶、 β -半乳糖苷酶及纤维素酶等细胞壁代谢酶活性增强,导致果实细胞壁物质水解,直接影响细胞组织结构改变,从而导致果实软化^[5-6]。探究适宜蓝莓的保鲜方法,确保蓝莓贮藏品质,有利于促进蓝莓产业的高质量发展。

水杨酸(Salicylic acid,SA)是大多数果实体内存在的酚类物质,能够参与植物的生理代谢过程,增强果实抗病性和抗逆性^[7]。SA 作为安全、高

效的新型保鲜剂已应用于水果贮藏保鲜方面,并且效果明显^[8-10]。目前,关于水杨酸采前处理蓝莓方面的研究鲜有报道,尤其关于水杨酸对蓝莓软化的调控未见报道。本文用不同浓度的水杨酸采前处理蓝莓,探究水杨酸对蓝莓贮藏品质的影响,为蓝莓贮藏保鲜提供新的方法。

1 材料与方法

1.1 材料、仪器与设备

蓝莓(品种:粉蓝),采摘自贵州省麻江县宣威镇实验基地。水杨酸(纯度:99%),上海源叶生物有限公司。

TA.XT.Plus 质构仪,英国 SMS 公司;UV-2550 紫外-可见分光光度计,日本 Shimadzu 公司;PAL-1 型迷你数显折射计,日本 ATAGO 公司;Check Piont III 便携式残氧仪,丹麦 Dansensor 公司;PK-16A 台式高速冷冻离心机,湖南平科科学仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 预处理 以八九成熟粉蓝为试验材料,分别用不同浓度的水杨酸对蓝莓果实进行采前处理,通过便携式手持喷雾器对已标记的不同水杨酸处理组(1.0,2.0,3.0 mmol/L)和对照组(对照组喷施蒸馏水)果实进行均匀喷施,至处理的蓝莓表

收稿日期: 2022-07-16

基金项目: 贵州省科技支撑研究计划项目(黔科合支撑[2021]一般 122);贵州省科技基础研究计划项目(黔科合基础-ZK[2021]一般 173);农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室开放基金项目(kf202004)

第一作者: 曹森,男,硕士,教授

通信作者: 李江阔 E-mail: lijkuo@sina.com

面开始滴液即可。处理后自然晒干,采收,将果实立刻运回实验室。分别选择无机械伤、无腐烂,成熟度一致的蓝莓分装于带孔聚乙烯塑料盒内,装入内部衬有PE20保鲜膜(厚度20 μm)的果实周转筐内,每组3个平行,每个平行15盒。分装后的果实运至冷库预冷24 h,扎袋,用于长期贮藏。贮藏温度(0.5±0.5)℃,相对湿度85%以上。蓝莓贮藏期间每隔20 d对不同处理组的果实进行品质检测,共检测5次。

1.2.2 测定方法 腐烂率采用计数法测定。硬度参照曹森等^[11]的方法。可溶性固形物含量(TSS)及可滴定酸含量(TA)参照曹森等^[12]的方法。总酚含量采用福林酚比色法测定^[13]。维生素C(Vc)含量采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^[14]测定。花色苷含量采用pH示差法测定^[15]。果胶甲酯酶活性(PME)参照Santos等^[16]的方法。多聚半乳糖醛酸酶活性(PG)和半乳糖苷酶活性(β-Cal)均参照Chen等^[17]的方法。纤维素酶活性(Cx)参照毛惠娟等^[18]报道的方法。原果胶含量和水溶性果胶含量参照曹建康等^[19]的方法。

1.3 数据处理

采用Origin 2018 进行统计分析,采用SPSS 22.0 进行差异显著分析。

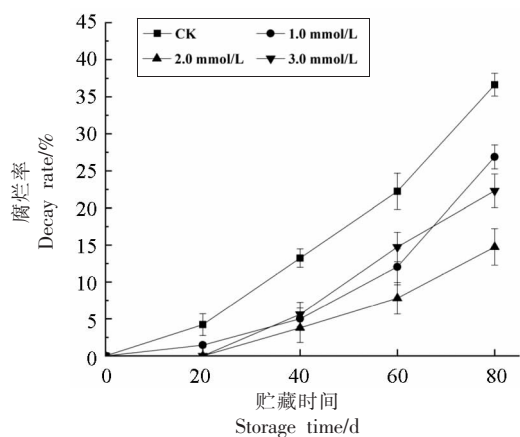


图1 蓝莓贮藏期腐烂率的变化

Fig.1 The changes of decay rate of blueberry during storage time

2.2 水杨酸处理对蓝莓营养品质的影响

2.2.1 蓝莓可溶性固形物含量和可滴定酸含量 可溶性固形物含量和可滴定酸含量是反映果实口感

2 结果与分析

2.1 水杨酸处理对蓝莓感官品质的影响

2.1.1 蓝莓腐烂率 图1表明随着蓝莓贮藏时间的延长,蓝莓腐烂率呈上升趋势。从开始贮藏至贮藏20 d期间,CK组腐烂率快速上升,而水杨酸处理组的腐烂率上升缓慢。贮藏20 d至80 d,CK组腐烂率均显著高于水杨酸处理组($P<0.05$)。贮藏期80 d时,CK组的腐烂率高达36.63%,而1.0, 2.0, 3.0 mmol/L的水杨酸处理组的腐烂率分别为26.89%, 14.75%, 22.31%,且不同处理组间均存在显著差异($P<0.05$)。综上,水杨酸能够降低蓝莓贮藏期的腐烂率,其中2.0 mmol/L水杨酸处理效果最好。

2.1.2 蓝莓硬度 硬度反映果实贮藏期间质地的变化情况,通常情况下,硬度越高果实越新鲜。图2表明,蓝莓硬度在贮藏期呈现下降趋势。在贮藏期前20 d,不同处理组的硬度无显著差异($P>0.05$)。贮藏60 d至贮藏80 d,2.0 mmol/L水杨酸处理的蓝莓硬度均显著高于其它处理组($P<0.05$)。贮藏80 d时,不同处理组硬度的排序为CK组<3.0 mmol/L水杨酸组<1.0 mmol/L水杨酸组<2.0 mmol/L水杨酸组。其中,2.0 mmol/L水杨酸对维持蓝莓贮藏期的硬度效果最好。

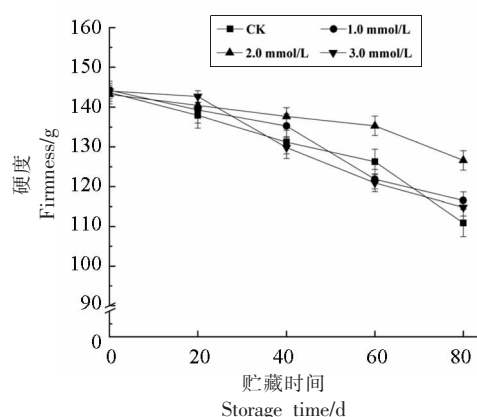


图2 蓝莓贮藏期硬度的变化

Fig.2 The changes of firmness of blueberry during storage time

的关键指标,也是重要的营养指标。图3a表明,在贮藏期前40 d,不同处理组的可溶性固形物含量无显著差异($P>0.05$)。从贮藏60 d至贮藏80 d,

2.0 mmol/L 水杨酸处理的可溶性固形物均显著高于其它处理组 ($P < 0.05$)。贮藏 80 d 时, 1.0, 2.0, 3.0 mmol/L 的水杨酸处理蓝莓的可溶性固形物含量分别为 11.79%, 12.31%, 11.62%, 而 CK 组蓝莓的可溶性固形物含量仅 11.37%。图 3b 表明, 在贮藏期前 40 d, 不同处理组蓝莓的可滴定酸含量无显著差异 ($P > 0.05$), 这与可溶性固形物含量相似(图 3a)。从贮藏 60 d 至贮藏 80 d, 不同处理组蓝莓可

滴定酸含量的排序均为 CK 组 $<$ 3.0 mmol/L 水杨酸组 $<$ 1.0 mmol/L 水杨酸组 $<$ 2.0 mmol/L 水杨酸组。贮藏期 80 d 时, 2.0 mmol/L 水杨酸组显著高于 CK 组 ($P < 0.05$), 而其它两处理组与 CK 组无显著差异 ($P > 0.05$)。综上, 水杨酸能够抑制蓝莓贮藏期可溶性固形物含量和可滴定酸含量的下降, 其中 2.0 mmol/L 的水杨酸处理效果最好。

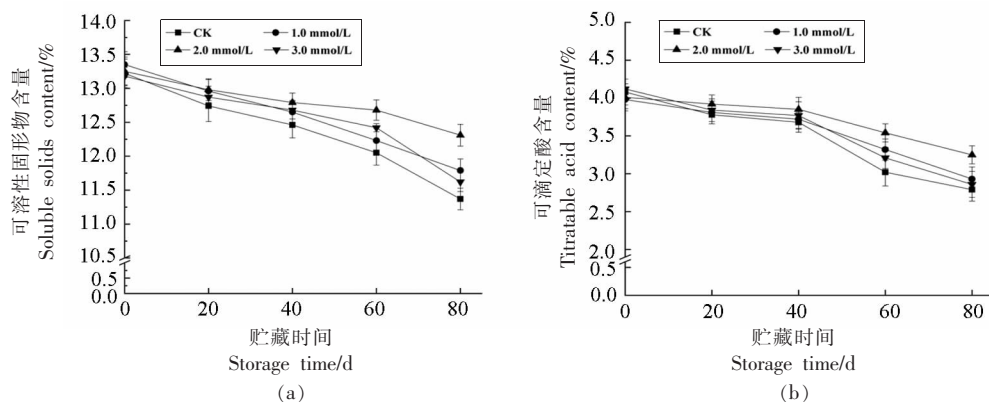


图 3 蓝莓贮藏期可溶性固形物含量(a)和可滴定酸含量(b)的变化

Fig.3 The changes of soluble solids content (a) and titratable acid content (b) of blueberry during storage time

2.2.2 蓝莓总酚含量和 VC 含量 总酚含量和 VC 含量也是蓝莓的重要营养指标。图 4a 表明, 整个贮藏期间不同处理的总酚含量均呈下降趋势。贮藏 20 d 至贮藏 80 d, 2.0 mmol/L 水杨酸组显著高于 CK 组 ($P < 0.05$)。贮藏期 80 d 时, 1.0, 2.0, 3.0 mmol/L 的水杨酸处理蓝莓总酚含量分别为 1.61, 1.78, 1.70 mg/g, 而 CK 组蓝莓的总酚含量仅 1.52 mg/g。图 4b 表明, 整个贮藏期间不同处理的 VC 含

量均呈下降趋势, 这与不同处理的蓝莓总酚含量变化一致(图 4a)。从贮藏开始至贮藏 80 d 内, CK 组总酚含量降低 39.54%, 而 1.0, 2.0, 3.0 mmol/L 的水杨酸处理分别降低 35.45%, 29.21% 和 35.70%。贮藏 80 d 时, 2.0 mmol/L 水杨酸组均显著高于其它处理组 ($P < 0.05$)。综上, 2.0 mmol/L 水杨酸对维持蓝莓贮藏期的总酚含量和 VC 含量效果最好。

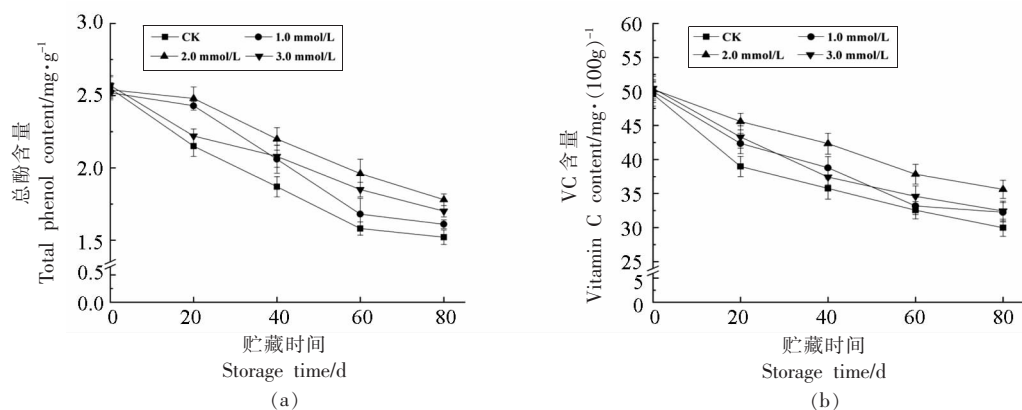


图 4 蓝莓贮藏期总酚含量(a)和 VC 含量(b)的变化

Fig.4 The changes of total phenol content (a) and vitamin C content (b) of blueberry during storage time

2.2.3 蓝莓花色苷含量 花色苷是蓝莓重要的功能因子,也是蓝莓一项重要的营养指标。图5表明,蓝莓贮藏期花色苷呈下降趋势。从贮藏20 d开始至贮藏80 d,水杨酸处理组蓝莓的花色苷含量均高于CK组。贮藏期80 d时,1.0,2.0,3.0 mmol/L水杨酸处理蓝莓的花色苷含量分别为209.17,224.98,203.82 mg/100 g,CK组花色苷含量为201.43 mg/100 g,并且2.0 mmol/L水杨酸组显著高于CK组($P<0.05$),其它两处理组与CK组无显著差异($P>0.05$)。综上,水杨酸能够延缓贮藏期蓝莓花色苷含量的下降,其中2.0 mmol/L水杨酸处理效果最好。

2.3 水杨酸处理对蓝莓软化的影响

2.3.1 蓝莓果胶甲酯酶活性(PME)和多聚半乳糖醛酸酶活性(PG) 果胶甲酯酶活性和多聚半乳糖醛酸酶活性是引起果胶降解的主要酶。PME通过催化果胶甲酯酸转化为果胶酸,加快PG催化果胶和果胶酸的降解,导致细胞壁解体,引起果实快速软化^[20-21]。图6a表明,PME活性在整个贮藏期间呈上升的趋势。从贮藏40 d开始至贮藏80 d,不同组PME活性的排序均为CK组>1.0 mmol/L水杨酸组>3.0 mmol/L水杨酸组>2.0 mmol/L水杨酸组。贮藏期80 d时,1.0,2.0,3.0 mmol/L水杨酸处理PME活性分别为8.96,7.69,8.74 U/g,CK组PME

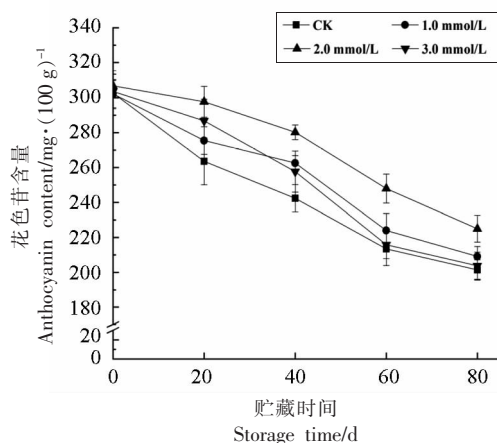


图5 蓝莓贮藏期花色苷含量的变化

Fig.5 The changes of anthocyanin content of blueberry during storage time

活性为9.72 U/100 g,并且水杨酸处理组的PME活性均显著低于CK组($P<0.05$)。图6b表明,PG活性在整个贮藏期间呈现上升的趋势,这与PME活性变化趋势一致。贮藏期80 d时,1.0,2.0,3.0 mmol/L的水杨酸处理PG活性比CK组分别低3.27%,13.16%和4.77%,并且2.0 mmol/L水杨酸组显著高于CK组($P<0.05$),而其它两处理组与CK组无显著差异($P>0.05$)。综上,2.0 mmol/L水杨酸组能够有效抑制PME活性和PG活性的上升。

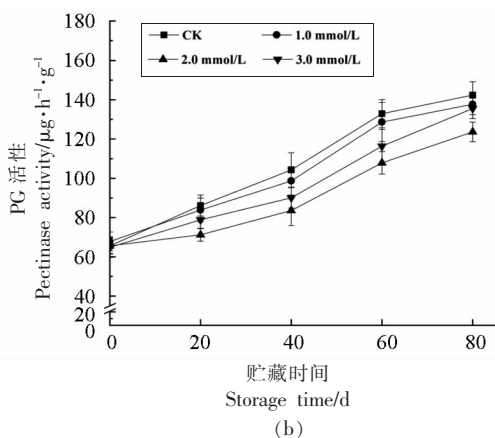
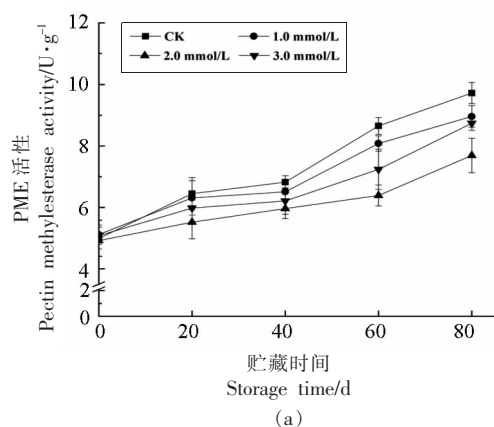


图6 蓝莓贮藏期果胶甲酯酶活性(a)和多聚半乳糖醛酸酶活性(b)的变化

Fig.6 The changes of pectin methyl esterase activity (a) and pectinase activity (b) of blueberry during storage time

2.3.2 蓝莓 β -半乳糖苷酶活性(β -Gal)和纤维素酶活性(Cx) β -半乳糖苷酶活性和纤维素酶活性是降解细胞壁关键的酶。前者使果胶降解或溶解;

而后者使纤维素降解,二者均加快果实软化^[22]。图7a表明, β -Gal活性在整个贮藏期间呈现上升的趋势。贮藏期80 d时,1.0,2.0,3.0 mmol/L水杨酸

处理 β -Gal 活性分别比 CK 组低 10.48%, 19.76% 和 6.93%, 并且水杨酸处理组的 β -Gal 活性均显著低于 CK 组 ($P < 0.05$)。图 7b 表明, 在贮藏期前 20 d, 不同处理组的 Cx 活性变化缓慢, 从贮藏期 20 d 开始, CK 组的 Cx 活性快速上升, 贮藏期 80

d 时, 1.0, 2.0, 3.0 mmol/L 水杨酸处理 Cx 活性比 CK 组分别低 9.12%, 19.19% 和 8.73%, 并且水杨酸处理组的 β -Gal 活性均显著低于 CK 组 ($P < 0.05$)。综上, 水杨酸组能够有效降低 β -Gal 活性和 Cx 活性。

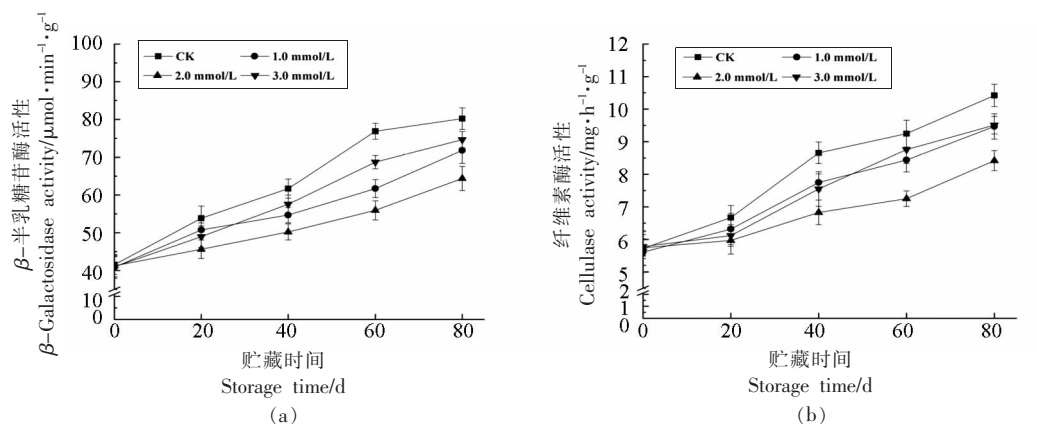


图 7 蓝莓贮藏期半乳糖苷酶活性(a)和纤维素酶活性(b)的变化

Fig.7 The changes of β -galactosidase activity (a) and cellulase activity (b) of blueberry during storage time

2.3.3 蓝莓原果胶含量和水溶性果胶含量 果胶是构成细胞壁的主要成分, 果实成熟及衰老阶段, 原果胶不断发生水解, 同时伴随着水溶性果胶含量增加, 从而引起果实变软, 硬度下降^[23]。图 8a 表明, 原果胶含量在整个贮藏期间呈现下降的趋势, 从贮藏 40 d 至贮藏 80 d, 不同组原果胶含量的排序均为 CK 组 < 3.0 mmol/L 水杨酸组 < 1.0 mmol/L 水杨酸组 < 2.0 mmol/L 水杨酸组。贮藏期 80 d 时, CK 组、1.0 mmol/L 水杨酸处理组、2.0 mmol/L 水杨酸处理组、3.0 mmol/L 水杨酸处理组的原果胶含量分别为 0.45%, 0.57%, 0.75% 和

0.64%, 并且水杨酸处理组的原果胶含量均显著低于 CK 组 ($P < 0.05$)。图 8b 表明, 水溶性果胶含量呈上升趋势。在贮藏期前 40 d, CK 组的水溶性果胶含量比水杨酸处理的上升快。从贮藏 40 d 至贮藏 80 d, 水杨酸处理组杨梅的水溶性果胶含量均显著低于 CK 组 ($P < 0.05$)。贮藏期 80 d 时, 1.0, 2.0, 3.0 mmol/L 水杨酸处理蓝莓的水溶性果胶含量比 CK 组分别低 17.24%, 27.59% 和 20.69%。综上, 水杨酸组能够有效抑制原果胶的水解, 延缓了水溶性果胶含量的升高。

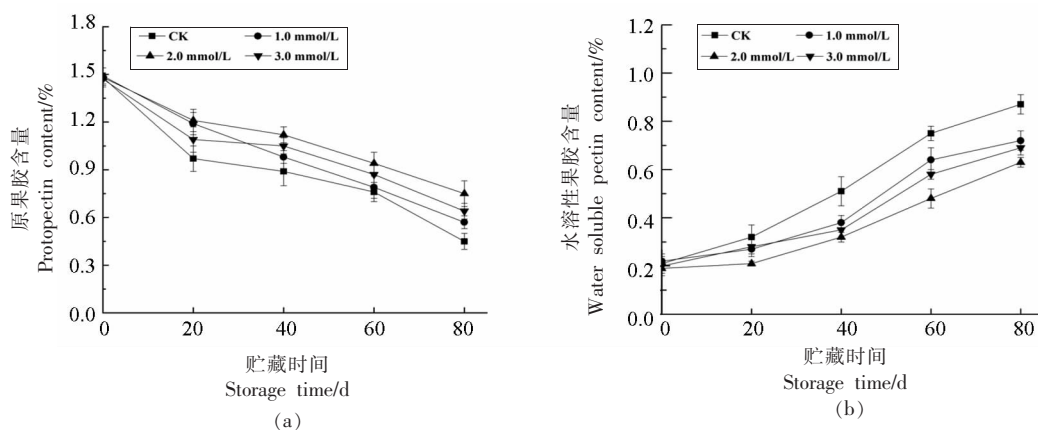


图 8 蓝莓贮藏期原果胶含量(a)和水溶性果胶含量(b)的变化

Fig.8 Changes of protopectin content (a) and water soluble pectin content (b) of blueberry during storage time

3 讨论

近年来,关于植物外源激素在果蔬贮藏品质上的调控研究报道较多,主要是抑制或促进果蔬的成熟衰老^[24]。水杨酸作为抑制果蔬成熟衰老的植物激素之一,在果蔬贮藏保鲜方面已有报道^[8-10]。魏征等^[25]用水杨酸雾化熏蒸处理小白杏,结果水杨酸处理组可以推迟小白杏贮藏品质的衰老进程,保持果实营养,抑制果实硬度下降;王淑娟等^[26]研究水杨酸对“遂川金柑”采后生理及贮藏效果的影响,结果水杨酸处理可有效降低失重率和腐烂率,抑制果实品质的下降;有效推迟果实的衰老速度;王云香等^[27]用水杨酸处理西葫芦的研究表明,水杨酸可以更好地保持西葫芦的营养,提高抗西葫芦的氧化酶活性,推迟其膜脂过氧化进程。本研究表明,水杨酸处理可以降低果实的腐烂率,维持果实的硬度,可溶性固形物、可滴定酸、总酚、维生素 C 含量和花色苷含量,说明采前喷施水杨酸可以抑制杨梅果实营养品质的下降,保持较好的贮藏品质。

蓝莓皮薄,不耐贮藏,采后易软化^[28]。果实软化主要是由细胞壁降解酶(PME、PG、 β -Gal 和 Cx)催化细胞壁物质降解而实现的^[29-30]。本研究表明,整个贮藏期蓝莓 PME、PG、Cx 和 β -Gal 的活性均呈上升趋势,果实的原果胶的水解,最终导致果实的软化衰老。通过水杨酸处理,能够降低果实的 PME、PG、Cx 和 β -Gal 活性,从而推迟原果胶的水解,抑制水溶性果胶的上升,达到延缓贮藏期间蓝莓软化的目的。然而,关于水杨酸降低果实采后生理代谢,以及抑制果实软化仍需从分子层面上研究,以充分阐明水杨酸作用效果的机制。

4 结论

采前用水杨酸处理蓝莓,探究贮藏期间蓝莓品质和软化指标的变化,结果表明,水杨酸能够保持较低的腐烂率,维持蓝莓硬度,可溶性固形物、可滴定酸、总酚、维生素 C 含量和花色苷含量处于较高水平。降低果胶甲酯酶活性、多聚半乳糖醛酸酶活性、半乳糖苷酶活性和纤维素酶活性,抑制原果胶水解,推迟水溶性果胶含量的上升。综合比较后,采前用 2.0 mmol/L 水杨酸处理蓝莓效果最好,能够更好地保持果实的贮藏品质,降低果实的软

化速度。

参 考 文 献

- [1] SATERA H, FERRÃO L F V, OLMSTEAD J, et al. Exploring environmental and storage factors affecting sensory, physical and chemical attributes of six southern highbush blueberry cultivars[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 289(17): 110468.
- [2] 曹森, 马超, 吉宁, 等. ^{60}Co - γ 辐照结合 1-MCP 处理对蓝莓贮藏品质的影响[J]. *核农学报*, 2019, 33(8): 1519-1526.
CAO S, MA C, JI N, et al. Effects of ^{60}Co - γ irradiation combined with 1-MCP on storage quality of blueberry [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(8): 1519-1526.
- [3] MANNOZZI C, TYLEWICZ U, CHINNICI F, et al. Effects of chitosan based coatings enriched with procyanidin by-product on quality of fresh blueberries during storage[J]. *Food Chemistry*, 2018, 251(6): 18-24.
- [4] HU X, SUN H, YANG X, et al. Potential use of atmospheric cold plasma for postharvest preservation of blueberries[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 179(4): 111564.
- [5] YJA C, WHB C, JIA L, et al. Ethanol vapor delays softening of postharvest blueberry by retarding cell wall degradation during cold storage and shelf life-ScienceDirect[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 177(1): 111538.
- [6] 赵云峰, 林河通, 王静, 等. 热处理抑制采后龙眼果肉自溶及细胞壁物质降解[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(11): 268-275.
ZHAO Y F, LIN H T, WANG J, et al. Inhibiting aril breakdown and degradation of cell wall material in pulp of harvested longan fruits by heat treatment [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(11): 268-275.
- [7] OK A, MA A, FR B. Effects of salicylic acid and ultrasound treatments on chilling injury control and quality preservation in banana fruit during cold storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 249(4): 334-339.
- [8] ZHANG H, MA Z, WANG J, et al. Treatment with exogenous salicylic acid maintains quality, increases

- bioactive compounds, and enhances the antioxidant capacity of fresh goji (*Lycium barbarum* L.) fruit during storage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 140(12): 110837.
- [9] YANG C, DUAN W Y, XIE K L, et al. Effect of salicylic acid treatment on sensory quality, flavor-related chemicals and gene expression in peach fruit after cold storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020, 161(3): 111089.
- [10] SE A, MR A, MJG A, et al. Enhancing antioxidant systems by preharvest treatments with methyl jasmonate and salicylic acid leads to maintain lemon quality during cold storage [J]. *Food Chemistry*, 2020, 338(15): 128044.
- [11] 曹森, 吉宁, 巴良杰, 等. 采前喷施保鲜剂对蓝莓贮藏品质的影响[J]. *食品与机械*, 2020, 36(5): 146-150.
- CAO S, JI N, BA L J, et al. Effect of spraying preservatives before harvest on storage quality of blueberry[J]. *Food and Machinery*, 2020, 36(5): 146-150.
- [12] 曹森, 吉宁, 马超, 等. 1-MCP 结合哈茨木霉菌对樱桃番茄贮藏的保鲜效果[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(1): 262-268.
- CAO S, JI N, MA C, et al. Effects of 1-MCP combined with *Trichoderma harzianum* on preservation of cherry tomato[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(1): 262-268.
- [13] WANG R B, DING S H, ZHAO D D, et al. Effect of dehydration methods on antioxidant activities, phenolic contents, cyclic nucleotides, and volatiles of jujube fruits[J]. *Food science and biotechnology*, 2016, 25(1): 137-143.
- [14] GAO H, ZHANG Z K, CHAI H K, et al. Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2016, 118(3): 103-110.
- [15] MOYER R A, HUMMER K E, FINN C E, et al. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *rubus*, and *ribes*[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2002, 50(3): 519-525.
- [16] SANTOS M B D L, JACOBI S S, MARIA D L C A M, et al. Kinetic characterization, thermal and pH inactivation study of peroxidase and pectin methylesterase from tomato (*Solanum betaceum*)[J]. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2020, 40(3): 273-279.
- [17] CHEN Y, HUNG Y C, CHEN M, et al. Effects of acidic electrolyzed oxidizing water on retarding cell wall degradation and delaying softening of blueberries during postharvest storage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 84(6): 650-657.
- [18] 毛惠娟, 王月, 吕云皓, 等. 乙烯利和 1-MCP 处理对库尔勒香梨表皮蜡质的影响[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(6): 216-230.
- MAO H J, WANG Y, LÜ Y H, et al. Effects of ethephon and 1-MCP treatments on the cuticular wax of Korla pear[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(6): 216-230.
- [19] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 38-103.
- CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 38-103.
- [20] WEI J M, MA F W, SHI S G, et al. Changes and postharvest regulation of activity and gene expression of enzymes related to cell wall degradation in ripening apple fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 56(2): 147-154.
- [21] SUN X K, YANG Q, GUO W D, et al. Modification of cell wall polysaccharide during ripening of Chinese bayberry fruit [J]. *Scientia Horticulturae*, 2013, 160(3): 155-162.
- [22] 罗自生. 热激处理对柿果实软化和细胞壁物质代谢的影响[J]. *中国食品学报*, 2006, 6(3): 84-87.
- LUO Z S. Effects of heat shocks on softening and cell wall material metabolism in persimmon fruits[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2006, 6(3): 84-87.
- [23] 孔祥佳, 任思琪, 林河通, 等. 不同成熟度橄榄果实冷藏期间细胞壁代谢对采后冷害的响应特性[J]. *食品科学*, 2018, 39(3): 229-235.
- KONG X J, REN S Q, LIN H T, et al. Characteristics of cell wall metabolism of harvested Chinese olive fruits with different maturities in response to chilling injury during cold storage[J]. *Food Science*, 2018, 39(3): 229-235.
- [24] 黄铭慧, 冯舒涵, 罗姗姗, 等. 外源植物激素对园艺产品品质形成的调控作用[J]. *北方园艺*, 2015(12):

- 178–182.
- HUANG M H, FENG S H, LUO S S, et al. Regulation effect of exogenous plant hormone on the quality formation of horticultural products[J]. Northern Horticulture, 2015(12): 178–182.
- [25] 魏征, 张政, 魏佳, 等. 水杨酸雾化熏蒸对新疆小白杏采后贮藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2020, 36(1): 113–119, 168.
- WEI Z, ZHANG Z, WEI J, et al. Effects of salicylic acid spray fumigation on postharvest quality of Xinjiang xiaobai apricot[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(1): 113–119, 168.
- [26] 王淑娟, 陈明, 陈金印. 水杨酸对‘遂川金柑’采后生理及贮藏效果的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(6): 1110–1114.
- WANG S J, CHEN M, CHEN J Y. Effects of salicylic acid treatments on postharvest physiology and storage of ‘Suichuan Kumquat’ fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(6): 1110–1114.
- [27] 王云香, 顾思彤, 左进华, 等. 水杨酸处理对西葫芦采后品质和抗氧化能力的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(19): 286–290, 308.
- WANG Y X, GU S T, ZUO J H, et al. Effect of salicylic acid treatment on postharvest quality and antioxidant capacity of summer squash[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(19): 286–290, 308.
- [28] 周倩. 冷藏蓝莓果蒂凹陷的发生机理及控制技术研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2014.
- ZHOU Q. Research on the mechanism and control technology of pedicel pitting development of blueberry fruit under cold storage [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2014.
- [29] KCA B, LY B, CHANG S A, et al. Near freezing temperature storage alleviates cell wall polysaccharide degradation and softening of apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit after simulated transport vibration [J]. Scientia Horticulturae, 2021, 288(6): 110296.
- [30] YH A, FANG W A, YZ B, et al. Cloning and expression analysis of polygalacturonase and pectin methylesterase genes during softening in apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 256(10): 108607.

Effects of Salicylic Acid on the Storage Quality and Fruit Softening of Blueberry

Cao Sen¹, Ba Liangjie¹, Zhang Peng², Li Jiangkuo^{2*}

¹School of Food and Pharmaceutical Engineering, Guiyang College, Guizhou Engineering Research Center for Fruit Processing, Guiyang 550005

²Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin 300384

Abstract To study the effects of salicylic acid on the storage quality and fruit softening of blueberry. ‘powderblue’ was as the experimental materials, the blueberry was treated with different concentrations of salicylic acid (1.0, 2.0, 3.0 mmol/L) before harvest. The storage quality and fruit softening changes of blueberry were studied under the condition of (0.5±0.5) °C cold storage. The results showed that pre-harvest salicylic acid treatment could reduce the decay rate of fruits, especially the decay rate of fruits treated with 2.0 mmol/L salicylic acid was 21.88% lower than that of the control group after 80 days of storage. Compared with other treatment groups, 2.0 mmol/L salicylic acid treatment group effectively maintained fruit firmness, soluble solids, titratable acid, total phenol, vitamin C and anthocyanin content at a high level, and could effectively delay the increase of pectin methylesterase activity (PME), polygalacturonase activity (PG), galactosidase activity (β -Gal) and cellulase activity (Cx), thereby effectively inhibiting the hydrolysis of fruit protopectin and reducing the accumulation of water-soluble pectin. Conclusion: Preharvest treatment with 2.0 mmol/L salicylic acid can effectively reduce the occurrence of fruit softening by regulating the cell wall metabolism of blueberry fruit, and can better maintain the storage quality of fruit.

Keywords blueberry; salicylic acid; storage quality; fruit softening