

采前水杨酸处理对甜瓜果实后熟软化的影响

敬媛媛, 李娜, 王英, 朱璇
(新疆农业大学, 乌鲁木齐 830052)

摘要: **目的** 探究采前水杨酸处理延缓采后甜瓜果实后熟软化的机理。 **方法** 以“金甜蜜”甜瓜为试验材料, 采用1.0 mmol/L的水杨酸溶液分别在甜瓜幼果期(花后2周)、膨大期(花后3周)、网纹形成期(花后4周)及采收前48 h等4个生长期进行喷施处理。甜瓜采摘后在低温下(温度为 $(7 \pm 1)^\circ\text{C}$, 相对湿度为85%)贮藏, 定期测定果实硬度、纤维素含量、原果胶含量、纤维素酶、多聚半乳糖醛酸酶(PG)、 β -葡萄糖苷酶的活性。 **结果** 采前进行水杨酸(1.0 mmol/L)处理可以有效抑制甜瓜在贮藏过程中硬度和原果胶含量的下降, 减缓可溶性果胶含量的上升, 抑制PG、纤维素酶和 β -葡萄糖苷酶的活性, 有效延缓甜瓜果实的后熟软化。 **结论** 水杨酸处理可通过抑纤维素酶、 β -葡萄糖苷酶和PG等酶的活性有效延缓果实硬度的下降, 延缓甜瓜果实的后熟软化。

关键词: 甜瓜; 水杨酸; 后熟软化

中图分类号: TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)09-0007-05

Effects of Pre-harvest Salicylic Acid Treatment on Ripening and Softening of Muskmelon Fruits

JING Yuan-yuan, LI Na, WANG Ying, ZHU Xuan
(Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to study the mechanism for the delaying effect of pre-harvest salicylic acid treatment on the ripening and softening of muskmelon fruits. The "Jin tian mi" muskmelon fruit was sprayed with 1.0 mmol/L of salicylic acid for four times at different stages: young fruit stage (2 weeks after flowering), fruit enlarging stage (3 weeks after flowering), netting stage (4 weeks after flowering) and 48 h before harvesting. The post-harvest muskmelon was stored at low temperature ($(7 \pm 1)^\circ\text{C}$, relative humidity 85 %). The fruit firmness, cellulose content, protopectin content, cellulase (Cx), polygalacturonase (PG), β -glucosidase activities related to the ripening and softening of muskmelon were determined at regular intervals during storage. The results showed that the pre-harvest salicylic acid treatment (1.0 mmol/L) could effectively inhibit the decrease of firmness and protopectin content, delay the increase of soluble pectin content, inhibit the PG, Cx, β -glucosidase activities of muskmelon during storage. The ripening and softening of muskmelon were delayed effectively. In conclusion, salicylic acid treatment significantly inhibited the PG, cellulase and β -glucosidase activities to effectively delay the decrease of the fruit firmness, and therefore delayed the ripening and softening of muskmelon fruits.

KEY WORDS: muskmelon; salicylic acid; ripening and softening

甜瓜属葫芦科黄瓜属, 新疆甜瓜果实甘甜, 风味独特, 在国内外一直享有盛誉。新疆甜瓜虽然品质优良, 资源丰富, 但是由于甜瓜生产的地域性和季节性

很强, 且采收时正处于高温季节, 生理代谢旺盛, 后熟软化迅速, 所以易导致甜瓜果实腐烂变质。后熟软化是甜瓜果实采后品质劣变的主要原因之一, 甜瓜果实

收稿日期: 2015-01-29

基金项目: 国家自然科学基金(31260408); 公益性行业(农业)科研专项经费(201303075)

作者简介: 敬媛媛(1992—), 女, 陕西人, 新疆农业大学硕士生, 主攻果蔬贮藏与保鲜。

通讯作者: 朱璇(1971—), 女, 山东人, 博士, 新疆农业大学教授, 主要研究方向为果蔬贮藏与保鲜。

软化后,不仅口感变差,而且也易引起病原微生物侵染^[1]。目前,主要采用化学杀菌剂控制甜瓜采后侵染性病害,不仅易造成农药残留和病原菌抗药性的产生,还会造成环境污染,因此寻求高效安全的贮藏保鲜方法已成为甜瓜贮藏保鲜中亟待解决的重要问题。

水杨酸(SA)是一种植物内源小分子酚类化合物,它与植物体内多种重要的生理生化过程有密切联系,是重要的植物逆境传导信号之一,主要表现在对植物生长、发育、成熟和衰老等生理过程的调控以及在抗病、抗热、抗冷、抗盐、抗旱等抗逆反应的诱导过程中发挥作用^[2-3]。已经有研究表明,SA能够延缓桃^[4]、早酥梨^[5]、梅杏^[6]、苹果^[7]、香蕉^[8-9]、鸭梨^[10]等果实贮藏过程中的后熟软化。张帆等^[11]的实验表明,采前进行SA处理可提高树莓果实采后贮藏期间的过氧化氢、总黄酮含量和清除DPPH自由基的能力,降低花青素和总酚的含量,以及总抗氧化能力和清除羟自由基能力,从而有效提高树莓果实采后的贮藏效果。由于关于采前进行SA处理对甜瓜果实在后熟软化的研究还未见报道,因此在前期预实验的基础上,文中的试验为采前进行SA(1.0 mmol/L)处理,研究采前SA处理对甜瓜果实后熟软化的影响,为探讨采前SA处理延缓甜瓜果实软化的机理提供理论参考,也为甜瓜的贮藏保鲜提供一定的实践依据。

1 实验

1.1 材料

实验材料:甜瓜,品种为“金甜蜜”。

1.2 方法

实验地点:五家渠市103团7连,参照李梅^[12]的方法并稍作修改,选择地形、光照、通风相似的地块,区组试验设计按照每处理2垄进行试验。

将物质的量浓度为1.0 mmol/L的SA溶液分别在甜瓜幼果期(花后2周)、果实迅速膨大期(花后3周)、网纹形成期(花后4周)和采前48 h等4个时期采用手动式喷雾器均匀地喷洒整个植株,并以清水喷洒处理作为对照组。每升药液处理甜瓜35株,每处理70株,重复3次。

以对照组果实为参照,甜瓜果实采收后选择无机械损伤、无病虫害、果柄处带T形蔓的果实,外套发泡塑料网套以防止运输过程中碰撞造成机械损伤,将果实装箱运至新疆农业大学食品科学与药学学院冷库

经过预冷后,在低温(温度 $(7 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度85%)下进行贮藏,每7 d测定一次各项生理指标。

1.3 生理指标测定与方法

1) 甜瓜果实硬度的测定。用硬度计(CY-B型)测定甜瓜果实硬度,甜瓜果实去皮,赤道区域朝阳面与背阴面各取3个点测定。

2) 可溶性果胶含量和原果胶的测定。参照曹建康等^[13]的方法并修改。首先制作标准曲线。取6支编号试管,按表1依次加入各试剂,再依次加入0.2 mL呋唑-乙醇溶液(质量分数为0.15%),产生白色絮状沉淀,不断摇动试管。再加入6 mL浓硫酸,立即放入85℃水浴加热10 min。取出冷却后在波长530 nm处测定吸光度值,以吸光度值为纵坐标,半乳糖醛酸含量为横坐标,绘制标准曲线。然后提取可溶性果胶,称取1.0 g甜瓜果实,研碎后转入到50 mL刻度离心管中,加入25 mL乙醇(体积分数为95%),煮沸30 min,在煮沸时及时补加乙醇(体积分数为95%)。取出冷却后在8000 r/min条件下离心15 min,弃去其上清液,再加入乙醇(体积分数为95%)溶液加热,重复4次。加20 mL蒸馏水溶解沉淀,在50℃的水浴中保温30 min,溶解果胶,冷却后离心,取上清液并定容到100 mL,所得溶液就是可溶性果胶。提取原果胶,经蒸馏水洗涤后剩余的沉淀物中加入25 mL硫酸(0.5 mol/L)溶液,于沸水浴中加热1 h来水解原果胶,取出后冷却至室温,在8000 r/min条件下离心15 min,取其上清液并用蒸馏水定容至100 mL,即制得原果胶提取液。最后测定可溶性果胶和原果胶,吸取1.0 mL提取液,参照标准曲线的方法进行操作测定,并重复3次实验。

3) 纤维素含量的测定。参照李合生等^[14]的方法。

4) 多聚半乳糖醛酸酶活性的测定。参照曹建康等^[13]的方法。

5) β -葡萄糖苷酶活性的测定。参照曹建康等^[13]的方法。

6) 纤维素酶活性的测定。参照曹建康等^[13]的方法。

7) 试验数据处理。采用DPS6.5软件对试验数据进行方差分析和检验,利用Duncan多重比较来进行差异显著性分析,以 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 试验结果与分析

2.1 采前SA处理对甜瓜果实硬度的影响

由图1可知,采前经SA(1.0 mmol/L)处理的甜瓜

果实在采收时硬度明显高于对照果实,贮藏期间SA处理组和对照组果实的硬度呈下降趋势,贮藏结束时,经SA(1.0 mmol/L)处理组和对照组果实的硬度分别为8.26 kg/cm²和6.89 kg/cm²($P<0.05$)。由此说明,采前SA(1.0 mmol/L)处理能够提高甜瓜果实采收时的硬度,同时能有效地抑制甜瓜果实在贮藏过程中硬度的下降。

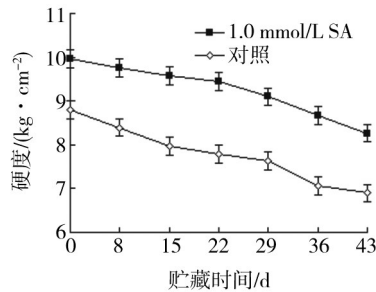


图1 采前SA处理对甜瓜果实硬度的影响

Fig.1 Effects of pre-harvest SA treatment on the firmness of muskmelon fruits

2.2 采前SA处理对甜瓜原果胶和可溶性果胶含量的影响

由图2可知,甜瓜果实原果胶含量随着贮藏时间的延长而逐渐降低。采前经SA(1.0 mmol/L)处理的甜瓜采摘时原果胶的含量高于对照果实。在整个贮藏过程中,经SA处理果实的原果胶含量都比对照组果实高。在贮藏第43天时,经SA(1.0 mmol/L)处理的原果胶质量分数为3.762%,比对照组果实高2.54倍。说明SA处理可以使甜瓜果实采摘时的原果胶含量维持在较高水平,同时也可以延缓贮藏过程中原果胶含量的下降。

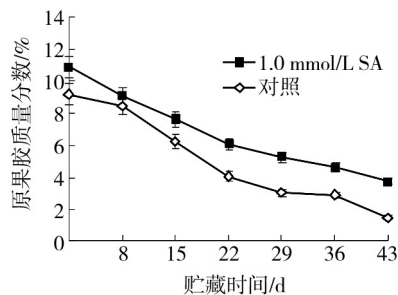


图2 采前SA处理对甜瓜果实中原果胶含量的影响

Fig.2 Effects of pre-harvest SA treatment on the protopectin content of muskmelon fruits

由图3可知,经SA(1.0 mmol/L)处理的甜瓜果实在采收时的可溶性果胶含量明显低于对照组果实,在整个贮藏过程中,可溶性果胶含量始终低于对照组果实,SA处理和对照组果实的可溶性果胶含量呈缓慢上

升趋势。在贮藏第43天时,对照组和SA处理组果实的可溶性果胶质量分数分别是0.068%和0.049%,SA处理组比对照组低27.9%($P<0.05$)。由此可知,采前SA(1.0 mmol/L)处理可以降低果实采收时可溶性果胶的含量和贮藏期间可溶性果胶的上升。

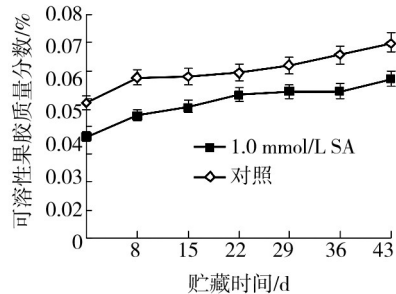


图3 采前SA处理对甜瓜果实可溶性果胶含量的影响

Fig.3 Effects of pre-harvest SA treatment on the water-soluble pectin content of muskmelon fruits

2.3 采前SA处理对甜瓜纤维素含量的影响

纤维素含量参照李合生等^[14]的方法测定,结果见图4。由图4可知,甜瓜果实在采收时的纤维素含量SA处理组明显高于对照组,在整个贮藏过程中,SA处理组的纤维素含量总体低于对照组。在贮藏第22天时,对照果实比处理果实高13.7%($P<0.05$),贮藏结束时对照组的纤维素含量高于处理组。由此可知,采前进行SA(1.0 mmol/L)处理可以降低果实贮藏期间纤维素的含量。

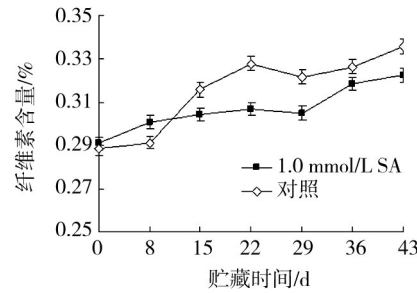


图4 采前SA处理对甜瓜果实中纤维素含量的影响

Fig.4 Effects of pre-harvest SA treatment on the cellulose content of muskmelon fruits

2.4 采前SA处理对甜瓜多聚半乳糖醛酸酶活性的影响

由图5可知,对照组甜瓜的多聚半乳糖醛酸酶(PG)活性始终都高于SA处理组。在0~15 d内,对照组果实的PG酶活性迅速升高,之后开始下降,而SA处理组甜瓜的PG活性从第8天开始升高,到第15天

时达到最大值。贮藏第15天时,对照组的PG活性比SA处理组高30% ($P<0.05$)。由此可以得出,采前进行1.0 mmol/L SA处理可以推迟PG活性升高的时间,降低贮藏过程中PG的活性。

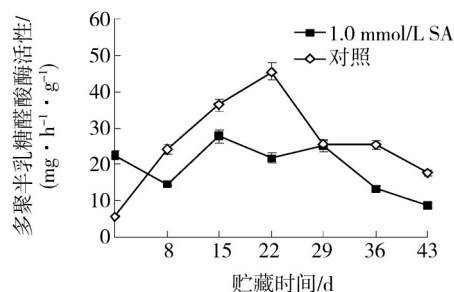


图5 采前SA处理对甜瓜多聚半乳糖醛酸酶活性的影响

Fig.5 Effects of pre-harvest SA treatment on the PG activity of muskmelon fruits

2.5 采前SA处理对甜瓜纤维素酶活性的影响

由图6可知,对照组果实的纤维素酶Cx活性在采收时明显高于SA处理组,对照组纤维素酶活性是SA处理组的4.157倍,差异显著。对照组与SA处理组果实的纤维素酶活性在甜瓜贮藏期间呈先上升后下降的趋势,并分别于贮藏第8天和第22天达到最大值,SA处理组果实纤维素酶活性的峰值比对照组推迟14 d出现,且活性低于对照组。可见,采前进行SA(1.0 mmol/L)处理可以降低甜瓜采收时纤维素的酶活性,推迟贮藏期间活性最大值的出现时间。

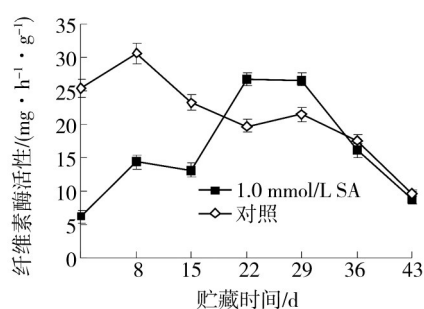


图6 采前SA处理对甜瓜纤维素酶活性的影响

Fig.6 Effects of pre-harvest SA treatment on the Cx activity of muskmelon fruits

2.6 采前SA处理对甜瓜β-葡萄糖苷酶活性的测定

由图7可以看出,采前经SA(1.0 mmol/L)处理甜瓜的β-葡萄糖苷酶活性变化平缓,从贮藏第8天时,就一直呈下降趋势。对照组甜瓜的β-葡萄糖苷酶活性在贮藏期间呈先上升后下降的趋势,并在贮藏29 d

时达到最大值。贮藏第29 d时,对照组甜瓜β-葡萄糖苷酶活性是SA处理组甜瓜的3.28倍 ($P<0.05$)。由此可知,在贮藏过程后期,采前SA(1.0 mmol/L)处理能够有效抑制甜瓜果实内β-葡萄糖苷酶活性。

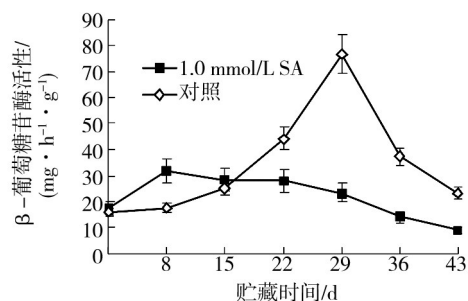


图7 采前SA处理对甜瓜β-葡萄糖苷酶活性的影响

Fig.7 Effects of pre-harvest SA treatment on the β-glucosidase activity of muskmelon fruits

3 讨论

硬度是衡量甜瓜果实后熟软化的重要标准,果实软化主要由细胞胞间层结构改变、细胞壁总体结构破坏及其物质降解等引起,在果实的后熟软化过程中,果胶酶引起的果胶成分的变化使得细胞间粘合力下降,构成细胞壁的果胶质、纤维素、半纤维素在细胞壁相关酶作用下降解是导致果实硬度下降的主要原因^[15]。PG参与果胶的降解,使细胞壁结构解体,导致果实软化^[16-17],β-葡萄糖苷酶是细胞壁多糖的主要水解酶之一,主要是通过降解果胶多聚醛侧链的半乳糖残基,改变果胶分子相互作用及其聚体作用,导致细胞壁的完整性下降。由此可知,β-葡萄糖苷酶对细胞壁稳定性的维持以及可能对果实早期阶段的软化启动影响很大,研究认为β-葡萄糖苷酶可能对许多反应起引发剂的作用^[18]。纤维素是细胞壁的骨架物质,其含量与果实的后熟软化^[19-20]和果实的口感都具有重要关系,而纤维素酶活性的高低直接决定纤维素含量的变化。以上研究结果表明,PG、β-葡萄糖苷酶、Cx是决定果实硬度变化的重要的3种酶,其活性的变化与果实硬度的改变密切相关^[21]。

文中研究结果显示,随着甜瓜果实后熟软化,PG、β-葡萄糖苷酶和Cx的活性均有不同程度的变化。在果实后熟软化进程中,PG、β-葡萄糖苷酶活性分别在采后22 d内和采后29 d内迅速上升,之后下降,Cx活性总体上呈下降趋势。由此认为PG、β-葡萄糖苷酶可能在甜瓜果实软化早期起着更为重要的作用。与姜爱丽^[22]和阎田^[23]等采后利用SA浸泡处理番茄、苹

果、鸭梨等可以通过抑制PG酶的活性减缓果实硬度下降的研究结果一致。魏建梅^[24]等在京白梨果实后熟软化过程中细胞壁代谢及其调控的研究中指出,通过抑制果实贮藏过程中PG活性及纤维素含量的下降能够推迟果实的软化。以上及本研究结果均表明,采前SA可通过抑制Cx、 β -葡萄糖苷酶和PG等酶的活性来有效延缓果实硬度的下降。

4 结语

采前SA(1.0 mmol/L)处理可以有效提高甜瓜采收时的果实硬度和原果胶含量,抑制甜瓜贮藏过程中PG、Cx和 β -葡萄糖苷酶活性,减缓原果胶和纤维素的降解及可溶性果胶含量的上升,从而抑制果实硬度的下降,延缓果实的后熟软化。

参考文献:

- [1] 李娜,朱璇,逢焕明. 采前水杨酸处理对甜瓜果实贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2013(1): 32—36.
LI Na, ZHU Xuan, PANG Huan-ming. Effects of Pre-harvest Salicylic Acid Treatment on Storage Quality of Muskmelon Fruits[J]. Food Science and Technology, 2013(1): 32—36.
- [2] ASGHARI M, AGHDAM M S. Impact of Salicylic Acid on Post-harvest Physiology of Horticultural Crops[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(10): 502—509.
- [3] SHAFIEE M, TAGHAVI T S, BABALAR M. Addition of Salicylic Acid to Nutrient Solution Combined with Postharvest Treatments(Hot Water, Salicylic Acid, and Calcium Dipping) Improved Postharvest Fruit Quality of Strawberry[J]. Scientia Horticulturae, 2010, 124(1): 40—45.
- [4] CAO S, HU Z, ZHENG Y, et al. Synergistic Effect of Heat Treatment and Salicylic Acid on Alleviating Internal Browning in Cold-stored Peach Fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(2): 93—97.
- [5] 王军节,毕阳,范存斐,等. 采后水杨酸处理对早酥梨果实色泽和质地的影响[J]. 现代食品科技, 2010, 26(10): 1047—1051.
WANG Jun-jie, BI Yang, FAN Cun-fei, et al. Effect of Post-harvest Salicylic Acid Treatment on Color and Texture of Pear Fruit[J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(10): 1047—1051.
- [6] 江英,刘琦,任雷厉,等. 水杨酸处理对梅杏采后贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(9): 284—286.
JIANG Ying, LIU Qi, REN Lei-li, et al. Effect of Salicylic Acid on Quality of Apricot Fruits during Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(9): 284—286.
- [7] 田志喜,张玉星. 水杨酸对红星苹果果实后熟的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(6): 557—559.
TIAN Zhi-xi, ZHANG Yu-xing. Effects of Salicylic Acid on the New Red Ripe Apple Fruit[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28(6): 557—559.
- [8] VLOT A C, DEMPSEY D M A, KLESSIG D F. Salicylic Acid, a Multifaceted Hormone to Combat Disease[J]. Annual Review of Phytopathology, 2009, 47: 177—206.
- [9] SRIVASTAVA M K, DWIVEDI U N. Delayed Ripening of Banana Fruit by Salicylic Acid[J]. Plant Science, 2000, 158: 87—96.
- [10] 田志喜,张玉星,于艳军,等. 水杨酸对鸭梨果实PG、PME和呼吸速率的影响[J]. 果树学报, 2002, 19(6): 381—384.
TIAN Zhi-xi, ZHANG Yu-xing, YU Yan-jun, et al. Effects of Salicylic Acid on PG, PME and Respiration Rate in Ya-li Pears[J]. Journal of Fruit Science, 2002, 19(6): 381—384.
- [11] 张帆,王友升,刘晓艳,等. 采前水杨酸处理对树莓果实贮藏效果及抗氧化能力的影响[J]. 食品科学, 2010(10): 308—312.
ZHANG Fan, WANG You-sheng, LIU Xiao-yan, et al. Effect of Pre-harvest Salicylic Acid Spray Treatment on Fruit Quality and Antioxidant Capacity of Raspberry during Post-harvest Storage[J]. Food Science, 2010(10): 308—312.
- [12] 李梅,毕阳,葛永红,等. 采前Harpin处理对“银帝”甜瓜潜伏侵染的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 4(2): 153—156.
LI Mei, BI Yang, GE Yong-hong, et al. Effect of Preharvest Harpin Treatment on Latent Infection of Muskmelon Cultivar Yindi[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2005, 4(2): 153—156.
- [13] 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.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Postharvest Physiology and Biochemistry Experiments Guidance[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
LI He-sheng. Plant Physiology and Biochemistry Experimental Principles and Techniques[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [15] KOVACS E, MERESZ P, KRISTOF Z, et al. Ripening and Microstructure of Apricot (*Prunus Armeniaca* L.) [J]. Acta Alimentaria, 2008, 37(1): 23—39.
- [16] 张进献,李冬杰,李宏杰. 果实软化过程中细胞壁结构和组分及细胞壁酶的变化[J]. 河北林果研究, 2007, 22(2): 180—186.
ZHANG Jin-xian, LI Dong-jie, LI Hong-jie. Changes of Cell Wall Structure, Composition and Hydrolytic enzymes in Fruit Softening Process[J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard

(下转第59页)

- of the Plastic Film[J]. *Packaging Engineering*, 2004, 25(2): 7—17.
- [13] 彭珍,赵国华.超高压对塑料包装薄膜性能的影响[J].食品与发酵工业,2011,37(3):151—156.
- PENG Zhen, ZHAO Guo-hua. The Influence of Performance of the Plastic Film under HPP[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2011, 37(3): 151—156.
- [14] 李慧,王利强,卢立新.微波处理对海藻酸钠可食性包装膜性能的影响[J].包装工程,2009,30(9):10—12.
- LI Hui, WANG Li-qiang, LU Li-xin. Inference of Microwave Treatment on Sodium Alginate Based Edible Packaging Film [J]. *Packaging Engineering*, 2009, 30(9): 10—12.
- [15] YOO S, LEE J, HOLLOMAN C, et al. The Effect of High Pressure Processing on the Morphology of Polyethylene Films Tested by Differential Scanning Calorimetry and x-ray Diffraction and its Influence on the Permeability of the Polymer [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2009, 112(1): 107—113.
- [16] EHERNSTEIN G W. 聚合物材料结构性能应用[M]. 张萍, 赵树高, 译. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- EHERNSTEIN G W. *Polymeric Materials: Structure-Properties-Applications*[M]. ZHANG Ping, ZHAO Shu-gao, translated. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.
- [17] 唐亚丽,赵伟,卢立新,等.超高压杀菌处理对包装材料稳定性的影响[J].包装工程,2010,31(23):10—12.
- TANG Ya-li, ZHAO Wei, LU Li-xin, et al. Effect of Sterilization Processing under Ultra High Pressure on the Stability of Packaging Materials[J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31(23): 10—12.
- [18] CANER C, HERNANDEZ R J, PASCALL M A, et al. The Use of Mechanical Analyses, Scanning Electron Microscopy and Ultrasonic Imaging to Study the Effects of High-pressure Processing on Multilayer films[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2003, 83(11): 1095—1103.
- [19] PEYCHS B A, MOUTOUNET M, PEYRON S, et al. Factors Determining the Transport Coefficients of Aroma Compounds Through Polyethylene Films[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 95(1): 45—53.
- [20] RIVAS C A, FERNANDEZ G E, NUNEZ M. Volatile Compounds in Dry-cured Serrano Ham Subjected to High Pressure Processing Effect of the Packaging Material[J]. *Meat Science*, 2009, 82(2): 162—169.
- [21] KUBEL J, LUDWIG H, MARX H, et al. Diffusion of Aroma Compounds into Packaging Films Under High Pressure[J]. *Packaging Technology and Science*, 1996, 9: 143—152.
- =====
- (上接第11页)
- Research, 2007, 22(2): 180—186.
- [17] UNGER A, SEXTRO W, ALTHOFF S, et al. Data-driven Modeling of the Ultrasonic Softening Effect for Robust Copper Wire Bonding[C]// *Integrated Power Systems (CIPS)*, 2014 8th International Conference on. VDE, 2014: 1—11.
- [18] 魏建梅,齐秀东,张海娥,等.京白梨果实采后PG,糖苷酶和LOX活性变化及其基因表达特性[J].园艺学报,2012, 39(1): 31—39.
- WEI Jian-mei, QI Xiu-dong, ZHANG Hai-e, et al. The Activity and Gene Expression of Polygalacturonase, Glycosidase and Lipoxxygenase in Postharvest 'Jingbaili' Pear Fruit[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2012, 39(1): 31—39.
- [19] HUANG R H, LIU J H, LU Y M, et al. Effect of Salicylic Acid on the Antioxidant System in the Pulp of 'Cara Cara' Navel Orange[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 47(2): 168—175.
- [20] 陆胜民,席珂芳,张耀洲.梅果采后软化与细胞壁组分及其降解酶活性的变化[J].中国农业科学,2003,36(5): 595—598.
- LU Sheng-min, XI Yu-fang, ZHANG Yao-zhou. Softening of Green Mume Flesh and Changes of Cell Wall Components and Activities of Their Degrading Enzymes during the Postharvest Period[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(5): 595—598.
- [21] DELAIRE O, MARTY K, STONE M B, et al. Phonon Softening and Metallization of a Narrow-gap Semiconductor by Thermal Disorder[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011, 108(12): 4725—4730.
- [22] 姜爱丽,胡文忠,田密霞,等.水杨酸处理对采后番茄果实后熟衰老的影响[J].食品与发酵工业,2009(5): 205—209.
- JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, TIAN Mi-xia, et al. Effect of Salicylic Acid Treatment on Postharvest Ripening Tomato Aging[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2009(5): 205—209.
- [23] 阎田,沈全光.水杨酸(SA)对果实成熟的影响[J].植物学通报,1998,15(3): 61—64.
- YAN Tian, SHEN Quan-guang. Effects of Salicylic Acid(SA) on Ripening Fruits[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1998, 15(3): 61—64.
- [24] 魏建梅,马锋旺,关军锋,等.京白梨果实后熟软化过程中细胞壁代谢及其调控[J].中国农业科学,2009,42(8): 2987—2996.
- WEI Jian-mei, MA Feng-wang, GUAN Jun-feng, et al. Cell Wall Metabolism and Its Regulation in Harvested *Pyrus ussuriensis* Maxim. cv. Jingbaili Fruit during Ripening[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(8): 2987—2996.