

肉桂提取物对赣南脐橙的保鲜效果

万春鹏, 陈楚英, 陈明, 曲雪艳, 陈金印*

(江西农业大学, 江西省果蔬保鲜与无损检测重点实验室, 江西南昌 330045)

摘要:以“纽荷尔”赣南脐橙(*Citrus reticulata* Osbeck.cv.Newhall)为实验对象,研究肉桂乙醇提取物对赣南脐橙果实冷藏(6 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 条件下的保鲜效果。结果表明:与对照相比,贮藏中后期(贮藏50~100 d)肉桂提取物处理显著降低了果实的腐烂率和失重率($p < 0.05$),延缓果实可溶性固形物(TSS)、可滴定酸(TA)和维生素C(Vitamin C, V_c)、总糖含量的降解,保持果实良好的营养品质和风味。另外,肉桂提取物处理可以抑制果实的呼吸强度和丙二醛(MDA)含量的积累,肉桂提取物处理能保持果实较高的超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(Peroxidase, POD)和多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)活性,贮藏中后期较显著延缓抗氧化酶活性的降低。肉桂乙醇提取物对赣南脐橙具有较好的保鲜效果,是一种有潜在开发利用价值的天然保鲜剂。

关键词:脐橙,肉桂,采后生理,保鲜

Effect of *Cinnamomum cassia* extractions on fresh-keeping of 'Newhall' Navel orange

WAN Chun-peng, CHEN Chu-ying, CHEN Ming, QU Xue-yan, CHEN Jin-yin*

(Jiangxi Key Laboratory for Postharvest Technology and Nondestructive Testing of Fruits & Vegetables, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract:Effect of ethanol extractions of *Cinnamomum cassia* on fresh-keeping of 'Newhall' navel orange fruits were investigated during storage at (6 ± 1) $^{\circ}\text{C}$.The results showed that *Cinnamomum cassia* extractions significantly reduced decay rate and weight loss rate in comparison with the controlled group ($p < 0.05$).At the same time, the extractions treatment could effectively maintain the quality and flavor of fruit, for it could significantly slow the decreasing of total soluble solids(TSS), titratable acid(TA) and Vitamin C(V_c), decrease respiration intensity and MDA contents during the middle-later storage (50~100 d). *Cinnamomum cassia* extractions treatment was remarkable in maintaining the activities of superoxide dismutase(SOD), peroxidase(POD) and polyphenol oxidase(PPO) and it could delay the activities degradation of above-mentioned antioxidant enzyme at the middle-later period. *Cinnamomum cassia* extractions can play a good role in the fresh-keeping of navel orange fruits and may be a potential natural preservative.

Key words:navel orange; *Cinnamomum cassia*; postharvest physiology; fresh-keeping

中图分类号:TS255.1 文献标识码:A 文章编号:1002-0306(2015)17-0317-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.17.056

纽荷尔脐橙(Newhall navel orange)于1978年引自美国,由于外观优美,成熟期早,饱满多汁,品质优良,在国内外成为竞相栽培的柑橘良种,在江西赣南、湖北秭归、重庆奉节等地广泛种植。脐橙采后在贮藏、运输和销售等环节容易发生机械损伤,果皮损伤后易受多种病原菌的侵染而产生采后病害。由意大利青霉(*Penicillium italicum*)和指状青霉(*Penicillium digitatum*)引起的青霉病和绿霉病是柑橘采后最常见的两种病害^[1]。长期以来,人们多用化

学合成保鲜剂对脐橙果实做保鲜处理,虽有较好的保鲜防腐效果,但很多化学合成物质容易在果实表面残留,危害环境和人体健康。在绿色消费盛行的今天,从植物中提取天然防腐保鲜剂被认为是开发新型高效安全果蔬防腐保鲜剂的重要途径之一^[2]。安全有效的采后处理及贮运保鲜是绿色果品生产的一个重要环节,因此,开发高效、安全、经济的,并对柑橘果实采后贮藏品质的保持有良好效果的新型保鲜剂十分重要。

收稿日期:2014-12-30

作者简介:万春鹏(1983-),男,博士,助理研究员,研究方向:天然产物化学, E-mail:lemonwan@126.com。

*通讯作者:陈金印(1962-),男,博士,教授,主要从事果蔬采后生理及贮藏技术的研究, E-mail:jinyinchen@126.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(31460533);江西省教育厅科技落地计划项目(111);“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD38B03);江西省教育厅科技项目(GJJ-14287);江西省博士后科研择优资助项目(2013KY31);留学人员科技活动项目(人社厅函[2013]277号);中国博士后科学基金第54批面上项目(2013M541870)资助。

中草药植物因其具有资源丰富、价格便宜、安全无毒和杀菌抑菌等优点,而日益受到国内外科科研工作者的青睐和重视,成为开发天然果品保鲜剂的物质基础^[3]。石榴皮提取物对意大利青霉菌的抑制效果和抑霉唑阳性药无显著性差异,进一步研究表明石榴皮提取物(0.1、0.5、1 g/L)浸果3 min对“Eureka”柠檬有很好的保鲜效果^[4]。Mekbib等研究了两种埃塞俄比亚植物 *Withania somnifera* 和 *Acacia seyal* 甲醇提取物对“巴伦西亚”柑橘的防腐保鲜效果,两种植物甲醇提取物可以完全阻止损伤果实的腐烂,降低损伤接种意大利青霉菌果实的腐烂率,与化学杀菌剂噻苯达唑无显著差异^[5],它们和果蜡(wax)配合使用还能保持果品的品质,降低失重率^[6]。课题组以意大利青霉和指状青霉为靶标菌株,筛选了一批具有很好抑菌活性的中草药提取物,并且研究了丁香和凤仙透骨草对柑橘的防腐保鲜效果^[7-10]。在肉桂(*Cinnamomum cassia*)提取物对柑橘采后青霉和绿霉病菌抑菌初步实验中,发现其具有较强的抑菌活性,但目前鲜见有肉桂提取物对柑橘类果实采后贮藏病害控制及保鲜效果的研究报道。本文以纽荷尔脐橙为材料,研究了肉桂提取物在冷藏条件下对其采后保鲜效果的影响,以期对肉桂提取物应用于脐橙保鲜提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

纽荷尔脐橙(*Citrus reticulata* Osbeck.cv.Newhall),采自江西省赣州市信丰县,采后当天立即装箱运回江西农业大学果蔬保鲜与无损检测重点实验室,预贮2 d。挑选大小均匀、色泽均匀、成熟度一致、无病虫害、无机械损伤的果实作为实验用果。肉桂购于江西省樟树市华丰药业有限公司。葱酮、硫代巴比妥酸、愈创木酚、四氮唑蓝(NBT)、邻苯二酚 国药集团化学试剂有限公司,2,6-二氯酚靛酚 北京中生瑞泰科技有限公司。

A-250WE 手持数字糖度计 日本 Kyoto Electronics 公司,3051H 果蔬呼吸测定仪 北京均方理化科技研究所,AUY220 电子天平和 UV-2450 紫外可见分光光度计 日本岛津公司,5804R 高速冷冻离心机 德国 Eppendorf 公司,电热恒温水浴锅 宁波江南仪器厂,Forma-86C ULT Freezer 超低温冰箱 Thermo 公司。

1.2 提取物的制备

称取100 g肉桂,50℃烘干,粉碎(过40目筛)后保存备用;肉桂加入10倍量体积分数为95%乙醇,超声频率40 kHz,温度50℃,循环提取1 h,过滤;滤渣再加入5倍量的95%乙醇,超声循环提取1 h过滤。合并2次滤液,滤液在旋转蒸发器上于45℃下浓缩制成原液(1 g/mL),4℃下保存备用。

1.3 处理方法

先用清水将脐橙清洗干净,用稀释20倍的肉桂提取液(即50 mg/mL)浸果3 min,以未用提取物处理的果实作为对照。待果实晾干后,用PE保鲜袋(d=0.04 mm)包装,所有果实置于保鲜冷柜贮藏,温

度为(6±1)℃,相对湿度80%~95%,每隔10 d取果检测各项生理指标。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 贮藏效果的测定

腐烂率(%) = 100 × 腐烂病果/总果数

失重率(%) = 100 × [贮前重量(g) - 贮后重量(g)] / 贮前重量(g)

1.4.2 生化指标的测定 可溶性固形物含量(Total soluble solids content, TSS)用手持折光仪进行测定;可滴定酸度(Titratable acidity, TA)采用酸碱滴定法测定,结果以柠檬酸的量换算;2,6-二氯酚靛酚测定维生素C(Vitamin C, V_C)含量;葱酮比色法测定果实总糖含量(Total sugar content, TSC);硫代巴比妥酸(TBA)法测定脐橙果皮丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量^[11];NBT还原法测定果皮超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)活性,酶活性采用每分钟抑制NBT光化学反应50%为1个酶活性单位(U g⁻¹FW)^[12]。采用愈创木酚比色法测定果皮过氧化物酶(Peroxidase, POD)活性,以每克果实样品(鲜重)每分钟吸光度变化值增加1时为1个过氧化物酶活性单位(U·g⁻¹·min⁻¹)^[13]。采用邻苯二酚比色法测定果皮多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)活性,以每克果实样品(鲜重)每分钟吸光度变化值增加1为1个活性单位(U g⁻¹FW)^[14]。

1.5 数据统计与分析

所有实验数据为3次重复的平均值和标准差,采用DPS v8.01软件进行方差分析,采用Excel 2007软件进行作图。

2 结果与讨论

2.1 肉桂提取物处理对赣南脐橙腐烂率和失重率的影响

脐橙果实在贮藏期间的腐烂率和失重率变化情况如图1所示。由图1A可知,冷藏期间脐橙果实的腐烂率呈逐渐上升趋势,对照组和肉桂提取物处理组果实分别从贮藏30 d和60 d出现烂果。贮藏至100 d时,肉桂处理果实腐烂率为6.4%,而对照组则为10.0%,肉桂提取物处理与对照组的差异达到极显著水平($p < 0.01$)。柑橘采后腐烂主要由多种病原菌引起,肉桂提取物处理能够降低脐橙腐烂率的原因与其具有抑制这些柑橘采后病原菌活性有关^[9]。

柑橘失重主要是由于蒸腾失水所致,从图1B可以看出,脐橙果实在贮藏期间的失重率呈逐渐上升的变化趋势,与对照组相比,肉桂提取物处理能有效降低果实的失重率。贮藏至100 d时,肉桂处理果实失重率为6.63%,而对照组则为8.90%,提取物处理与对照组的差异达到显著水平($p < 0.05$)。肉桂提取物处理能显著降低贮藏期间脐橙的腐烂率和失重率,极显著地提高脐橙果实的保鲜效果,这与曾晓房等^[15]研究肉桂精油对紫金春甜桔果实保鲜效果的实验结果相一致。

2.2 肉桂提取物处理对赣南脐橙采后品质的影响

脐橙果实在后熟衰老过程中,常伴随着有机酸、糖类物质和V_C等营养物质的降解,它们含量的高低

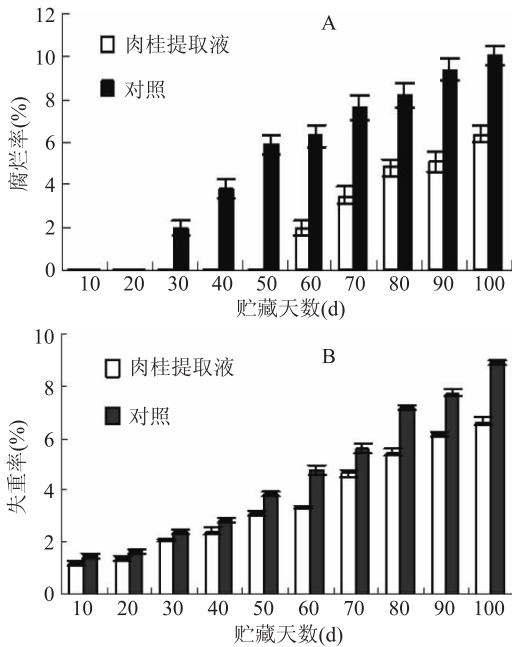


图1 不同处理对脐橙腐烂率和失重率的影响
Fig.1 Effect of different treatments on decay rate and weight loss of navel orange

直接影响到果实的风味及营养价值^[16]。

在整个实验期间,两处理组的果实可溶性固形物(TSS)含量均呈先上升后下降的趋势(见图2A),对照组果实在贮藏30 d时TSS含量达到最高值,然后逐步下降,肉桂处理组的TSS含量在贮藏50 d时达到最高值,且峰值与对照组之间差异显著,表明肉桂提取物处理可以延缓TSS含量的降低。

由图2B可看出,脐橙果实内可滴定酸含量呈下降趋势,肉桂提取物处理都能减缓脐橙果实TA含量的下降。到贮藏末期,肉桂处理的TA含量与对照的差异极显著($p < 0.01$)。可见肉桂处理可有效延缓脐橙果实TA含量的下降,保持果实良好的风味品质。

脐橙果实中 V_c 含量十分丰富, V_c 含量的高低直接反映果实品质的优劣。如图2C所示,各处理的脐橙果实 V_c 含量在整个贮藏过程中大致呈下降趋势。贮藏20 d后,肉桂处理的 V_c 含量与对照组差异显著($p < 0.05$),说明肉桂处理可有效延缓脐橙果实 V_c 含量的氧化降解,保持果实较高的营养品质。

如图2D所示,脐橙冷藏期间总糖含量与TSS含量变化趋势基本一致,均呈现先缓慢上升后缓慢下降的趋势。对照组在贮藏30 d时总糖含量达到最高值(15.85%),肉桂处理在贮藏50 d达到总糖含量高峰,表明肉桂提取物处理可有效延缓脐橙果实的后熟过程。

2.3 肉桂提取物处理对赣南脐橙果实呼吸强度和MDA含量的影响

在整个实验期间,两处理组的果实呼吸强度和MDA含量的变化趋势基本相同,如图3。由图3A可知,果实呼吸强度在贮藏前期有一个下降过程,这是因为果实刚进冷柜贮藏,低温抑制了果实的呼吸作用,然后呼吸强度逐渐上升,达到高峰后又有所下降,再持续上升。对照处理的果实呼吸强度高峰在

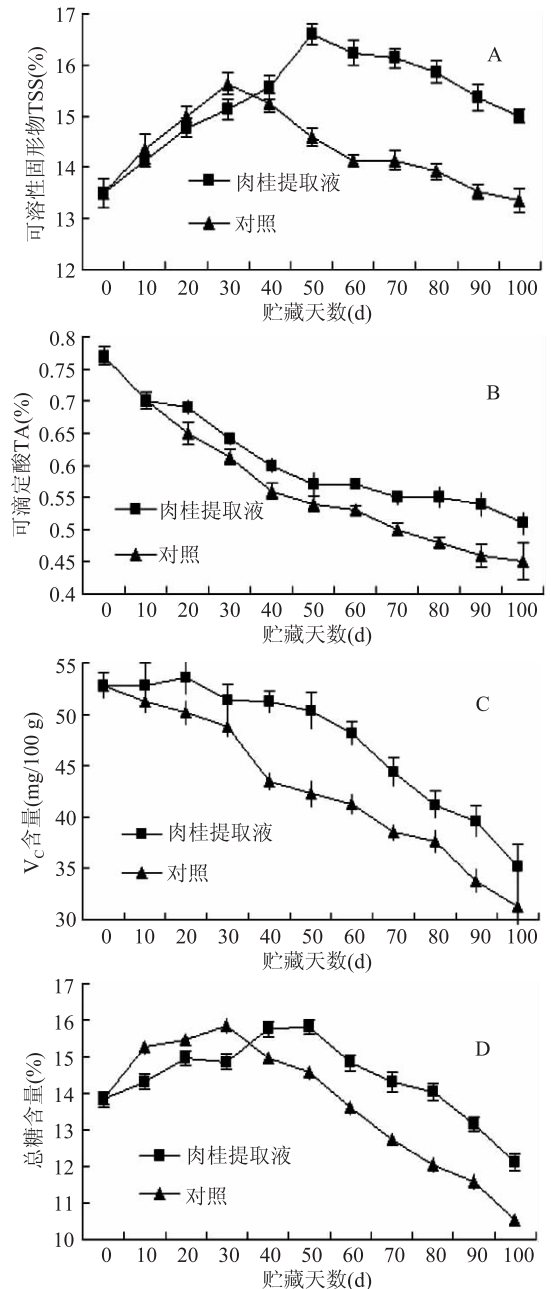


图2 不同处理对脐橙采后果实品质的影响
Fig.2 Effect of different treatments on postharvest fruit quality of navel orange

贮藏40 d时出现,肉桂处理的果实在贮藏50 d时出现呼吸高峰。在呼吸高峰以后,肉桂处理的果实呼吸强度开始低于对照,到贮藏后期差异达到极显著水平($p < 0.01$),说明肉桂处理能推迟果实呼吸强度高峰的到来,并降低果实的呼吸强度,减少果实营养物质的消耗。

MDA是植物衰老过程中膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量可反映细胞膜脂过氧化程度^[17]。由图3B可知,随着贮藏时间的延长,各处理果实的MDA含量在贮藏过程中呈上升趋势。在整个冷藏过程中,贮藏10 d,肉桂处理的果实MDA含量就与对照组差异显著,这种差异直至贮藏末期,说明肉桂提取物处理对脐橙果实中MDA的积累可起到明显的抑制作用,有效缓解了果实的膜脂过氧化。

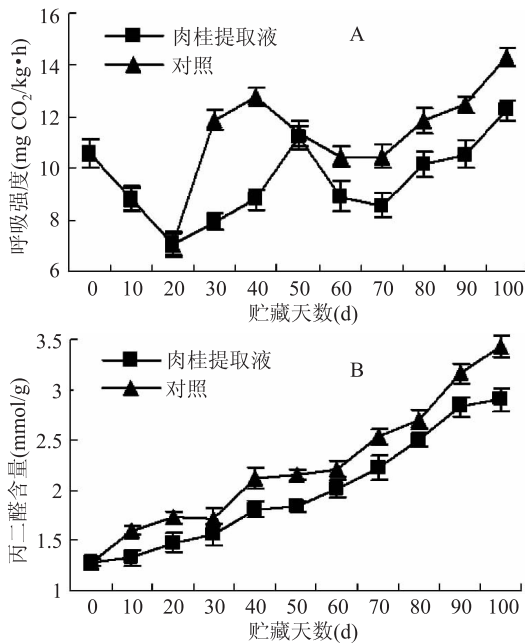


图3 不同处理对脐橙果实呼吸强度和MDA的影响

Fig.3 Effect of different treatments on

respiration intensity and MDA content of navel orange

2.4 肉桂提取物处理对赣南脐橙果实抗氧化酶系的影响

果实抗氧化酶系包括一系列的抗氧化酶如超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)和过氧化氢酶(CAT)等组成。通过各抗氧化酶的协同作用,清除细胞内产生的过多的活性氧自由基,阻止和延缓细胞膜系统的脂质过氧化及生物大分子的氧化损伤,提高果实的抗病性^[17]。

SOD是植物体内抗氧化防御体系的关键酶之一,能专一地清除超氧阴离子自由基,其活性高低在一定程度上能反映果实衰老的程度,由图4A可知,各处理的脐橙果实SOD活性在贮藏前期逐渐升高,至贮藏中期时达到最大值,随后活性迅速降低。对照组在贮藏30d时达到活性高峰(25.91 U/g),肉桂处理在贮藏50d时SOD活性达到高峰,峰值为26.66 U/g;由此可知,肉桂提取物处理可推迟了SOD活性高峰的到来,但基本不改变峰值的大小。从贮藏40d至贮藏末期,肉桂处理组果实的SOD活性与对照差异达到显著水平($p < 0.05$)。

POD是植物体内抵御活性氧损伤的重要酶类,对减少活性氧积累、抵御膜脂过氧化作用有着重要作用,如图4B所示,各处理的果实POD活性在整个贮藏过程中呈单峰的变化趋势。对照处理的果实在贮藏70d时出现POD活性高峰,肉桂处理的POD活性高峰的出现较前两者晚10d左右,即在贮藏80d时达到活性高峰。

各处理的脐橙果实PPO活性变化如图4C所示,PPO活性在贮藏前期呈上升趋势,达到一定值后开始下降。在冷藏过程中,对照组的果实PPO活性在贮藏10d后就开始下降,肉桂处理组在贮藏20d达到PPO活性高峰后开始下降,说明肉桂提取物处理能有效延缓PPO活性高峰的出现,肉桂处理能延缓

脐橙果实贮藏中后期三种抗氧化酶系活性的降低,有利于提高脐橙果实的抗病性。

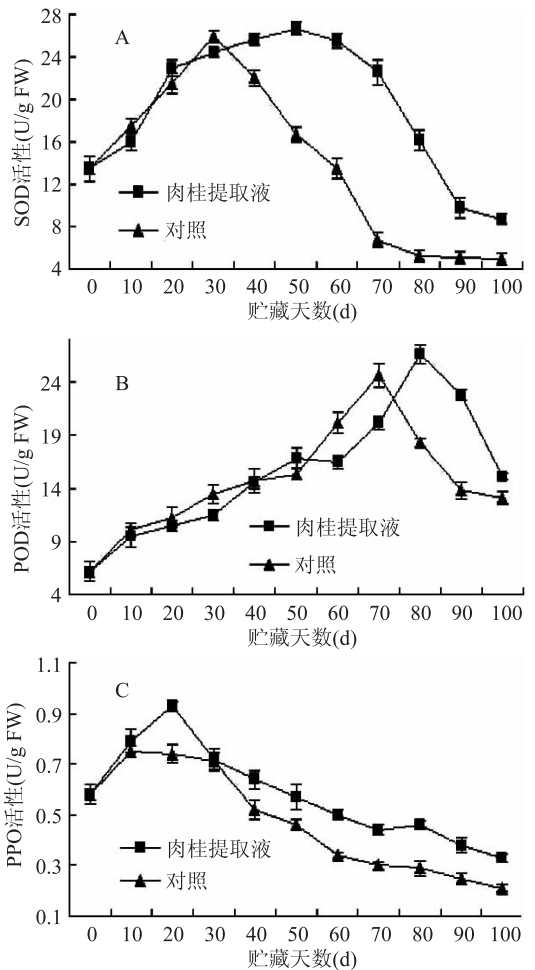


图4 不同处理对脐橙果实抗氧化相关酶活性的影响

Fig.4 Effect of different treatments on antioxidant enzymes of navel orange

肉桂作为一种传统的药食两用中草药,具有良好的抑菌活性,对在多种植物病原菌具有抑菌作用,其抑菌活性成分主要为肉桂精油和肉桂酸。肉桂提取物在果蔬保鲜中的应用研究较多,肉桂精油在香蕉^[18]、梨^[19]、甜椒^[20]等果蔬上均有较好的防腐保鲜效果,能保持较高的好果率和营养品质,表明肉桂提取物在果蔬贮藏保鲜中具有良好的开发前景。

3 结论

本实验首次研究了肉桂乙醇提取物对赣南脐橙果实的保鲜效果,结果表明,肉桂提取物处理可以显著降低果实的腐烂率和失重率,延缓果实可溶性固形物、可滴定酸、维生素C和总糖含量的降低,能够保持果实良好的营养品质和风味,延长脐橙的货架期和减少腐烂损失;肉桂提取物对脐橙的保鲜效果可能是通过抑制果实呼吸强度,减少果实丙二醛含量的积累,提高果皮超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)等抗氧化酶系活性有关。但本实验只研究了肉桂粗提取物对脐橙的保鲜效果,并没有研究其发挥保鲜效果的主要活性成分,因此鉴定肉桂中发挥抑菌和保鲜作用成分及其植物

源保鲜剂配方还有待于今后进一步的研究。

参考文献

- [1] Zafar Iqbal, Zora Singh, Ravjit Khangura, et al. Management of citrus blue and green moulds through application of organic elicitors[J]. *Australasian Plant Pathology*, 2012, 41(1): 69-77.
- [2] 曾荣, 张阿珊, 陈金印. 植物源防腐剂在果蔬保鲜中应用研究进展[J]. *中国食品学报*, 2011, 11(4): 161-167.
- [3] Sivakumar D, Bautista - Banos S. A review on the use of essential oils for postharvest decay control and maintenance of fruit quality during storage[J]. *Crop Protection*, 2014, 64: 27-37.
- [4] Tayel A, A El-Baz, M Salem, et al. Potential applications of pomegranate peel extract for the control of citrus green mould[J]. *Journal of Plant Diseases and Plant Protection*, 2011, 6(116): 252-256.
- [5] Mekbib SB, TJC Regnier, L Korsten. Control of *Penicillium digitatum* on citrus fruit using two plant extracts and study of their mode of action[J]. *Phytopathology*, 2007, 35(3): 264-276.
- [6] Mekbib SB, TJC Regnier, D Sivakumar, et al. Evaluation of Ethiopian plant extracts, *Acacia seyal* and *Withania somnifera*, to control green mould and ensure quality maintenance of citrus (*Citrus sinensis* L.) [J]. *Fruits*, 2009, 64(5): 285-294.
- [7] Zeng R, Zhang A, Chen J, et al. Impact of carboxymethyl cellulose coating enriched with extract of *Impatiens balsamina* stems on preservation of 'Newhall' navel orange [J]. *Scientia Horticulturae*, 2013, 160: 44-48.
- [8] Zeng R, Zhang A, Chen J, et al. Postharvest quality and physiological responses of clove bud extract dip on 'Newhall' navel orange [J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 138: 253-258.
- [9] 周梦娇, 万春鹏, 陈金印. 11种中草药提取物对柑橘意大利青霉抑菌活性及机理研究[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(4): 37-41.
- [10] 陈楚英, 陈明, 付永琦, 等. 丁香提取液可食性复合涂膜对新余蜜橘常温保鲜效果的影响[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(2): 117-123.
- [11] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [12] Prochazkova D, Sairam RK, Srivastava GC, et al. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves[J]. *Plant Science*, 2001, 161(4): 765-771.
- [13] Huang RH, Liu JH, Lu YM, et al. Effect of salicylic acid on the antioxidant system in the pulp of "cara cara" navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) at different storage temperatures [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 47: 168-175.
- [14] 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.
- [15] 曾晓房, 高苏娟, 林衍宗, 等. 肉桂精油对紫金春甜桔贮藏保鲜的影响[J]. *现代食品科技*, 2012, 28(10): 1281-1284.
- [16] 曾荣, 张阿珊, 陈金印. CMC与抑菌草剂复合涂膜对冷藏南丰蜜桔的保鲜效果[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(12): 281-287.
- [17] 张阿珊, 曾荣, 陈金印, 等. 丁香提取液对脐橙采后生理相关酶活性的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2011, 33(6): 1067-1071.
- [18] Win N, Jitareerat P, Kanlayanarat S, et al. Effects of cinnamon extract, chitosan coating, hot water treatment and their combinations on crown rot disease and quality of banana fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2007, 45(3): 333-340.
- [19] 苟亚峰, 冯俊涛, 张兴, 等. 肉桂精油及其复配物对砀山酥梨保鲜效果[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(8): 298-301.
- [20] Xing Ya-ge, Li Xi-hong, Xu Qing-lian, et al. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) [J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(4): 1443-1450.
- [21] 童钰, 陆海霞, 励建荣. 超高压处理对副溶血性弧菌细胞膜组成成分的影响[J]. *微生物学报*, 2012, 52(10): 1244-1250.
- [22] 章银良, 夏文水. 超高压对腌鱼保藏的影响[J]. *安徽农业科学*, 2007(9): 2636-2638.
- [23] Goulas A E, Kontominas M G. Effect of modified atmosphere packing and vacuum packaging on the shelf-life of refrigerated chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes [J]. *Europe Food Research and Technology*, 2007, 224(5): 545-553.
- [24] J Bindu, J Ginson, CK Kamalakanth, et al. Physico-chemical changes in high pressure treated Indian white prawn (*Fenneropenaeus indicus*) during chill storage [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2013(17): 37-42.
- [25] Sequeira - Munoz A, Chevalier D, LeBail A, et al. Physicochemical changes induced in carp (*Cyprinus carpio*) fillets by high pressure processing at low temperature [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2006, 7(1): 13-18.
- [26] Yagiz Y, Kristinsson H G, Balaban M O, et al. Effect of high pressure processing and cooking treatment on the quality of Atlantic salmon [J]. *Food Chemistry*, 2009, 116(4): 828-835.

(上接第316页)

(1): 6-12.

[17] 童钰, 陆海霞, 励建荣. 超高压处理对副溶血性弧菌细胞膜组成成分的影响[J]. *微生物学报*, 2012, 52(10): 1244-1250.

[18] 鲍志英. 食品加工中超高压灭菌的机理[J]. *农产品加工*, 2004(11): 14-15.

[19] Kaur B P, Kaushik N, Rao P S, et al. Effect of high-pressure processing on physical, biochemical, and microbiological characteristics of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, 6(6): 1390-1400.

[20] Briones-Labarca V, Perez-Won M, Zamarca M, et al. Effects of high hydrostatic pressure on microstructure, texture, colour and biochemical changes of red abalone (*Haliotis rufecens*) during cold storage time [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2012(13): 42-50.

[21] Ma H J, Ledward D A. High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle [J]. *Meat Science*, 2004(68): 347-355.