

枫香叶正丁醇提取物抗氧化活性及其对金橘的保鲜效果

尚艳双, 刘亚敏, 刘玉民*, 李 力

(西南大学资源环境学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘 要: 为追踪枫香叶正丁醇提取物的体外抗氧化活性及其对果品的采后贮藏保鲜效果, 以枫香叶正丁醇提取物(枫香叶依次经醇提、正丁醇萃取、大孔树脂层析、50%乙醇溶液洗脱后所得产物)为材料, 分别研究其对1,1-二苯基-2-苦基肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基、羟自由基($\cdot\text{OH}$)、超氧阴离子自由基($\text{O}_2^{\cdot-}$)的体外清除能力和还原力; 并用不同质量浓度(10、30、50 mg/100 mL)的枫香叶正丁醇提取物对金橘果实进行浸泡处理, 室温(14~16 °C)贮藏, 每3 d测定金橘果实的质量损失率、腐烂率、硬度、可溶性固形物(total soluble solids, TSS)含量、可滴定酸(titratable acid, TA)含量、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性、VC含量等果实的品质和生理指标。结果表明, 枫香叶正丁醇提取物的体外清除DPPH自由基、 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 能力和还原力较强; 可以减少金橘果实腐烂、质量损失和MDA含量, 减缓果实硬度下降和TSS、TA、VC含量的降低, 增强SOD的活性, 在金橘果实的贮藏应用上有较好的前景。

关键词: 枫香叶; 正丁醇提取物; 体外抗氧化; 金橘; 贮藏保鲜; 生理特性

Antioxidant Activities of *n*-Butanol Extract from *Liquidambar formosana* Leaves *in vitro* and Their Effects on the Quality of Kumquats (*Fortunella margarita*) during Storage

SHANG Yanshuang, LIU Yamin, LIU Yumin*, LI Li

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-environments, Ministry of Education, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: The antioxidant activities *in vitro* of *n*-butanol extract from *Liquidambar formosana* leaves prepared by sequential extraction with ethanol and *n*-butanol, and macroporous resin chromatography as the 50% ethanol eluate were examined by 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH), hydroxyl ($\cdot\text{OH}$), superoxide anion ($\text{O}_2^{\cdot-}$) and reducing power assays. The effects of different concentrations of the extract (0, 10, 30, and 50 mg/100 mL) on storage characteristics of post-harvest kumquats were investigated. After pre-impregnation with the extract at 10, 30, or 50 mg/100 mL, kumquats were stored at room temperature (14–16 °C). During storage, mass loss rate, decay rate, hardness, total soluble solids (TSS), titratable acid (TA), malondialdehyde (MDA), superoxide dismutase (SOD), and vitamin C (VC) were measured at 3-day intervals. The results showed that the extract from *L. formosana* leaves possessed strong reducing power and scavenging activities against DPPH, hydroxyl, and superoxide anion free radicals, and could reduce decay rate, mass loss and MDA content, retard the decrease in hardness and TSS, TA, VC content and enhance the activity of SOD. These results indicated that the *n*-butanol extract from *L. formosana* leaves has promising applications in postharvest preservation of kumquat fruits.

Key words: *Liquidambar formosana* leaves; *n*-butanol extract; antioxidant activity; *Fortunella margarita*; storage; physiological properties

中图分类号: TS201.1; R284.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 14-0212-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201514041

枫香 (*Liquidambar formosana* Hance) 属金缕梅科枫香属植物, 全株均可入药, 具有通经活络、祛风湿、

止血生肌的功效。其叶片中含有逆没食子酸、 α -莽草酸、芦丁、驱蛔脑、异槲皮苷、黄芪苷、金丝桃苷、

收稿日期: 2014-11-12

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31170546)

作者简介: 尚艳双 (1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为林产资源开发利用。E-mail: shangyanshuang08@163.com

*通信作者: 刘玉民 (1974—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为林产资源开发利用。E-mail: yuminliu@163.com

三叶豆苷、水晶兰苷、紫云英苷、 β -谷甾醇、木麻黄鞣宁等^[1-2]物质。研究^[3-5]发现枫香叶醇提取物和挥发油具有抗氧化作用,清除1,1-二苯基-2-苦基肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基活性较强^[6];且对辣椒黑斑病原菌^[7-8]、金黄色葡萄球菌、白色葡萄球菌、福氏志贺氏菌、伤寒沙门氏菌、铜绿假单胞菌皆有较好的抑制作用^[9-10]。

众所周知,果蔬的贮藏品质与其抗氧化能力及抑菌活性关系密切,多数植物的提取物中含具有抑菌、抗氧化作用的多糖类、苷类、黄酮类、多酚类、萜类等,通过抑制或杀死致病真菌保持果实鲜度;清除活性氧防止细胞膜质过氧化;诱导果蔬抗氧化酶系统中与活性氧清除相关酶活性的上升,从而延长果蔬贮藏期^[11-12]。金橘(*Fortunella margarita* (Lour.) Swingle)属芸香科金柑属,果实富含维生素、胡萝卜素、果胶以及钙、磷、铁等成分^[13],具有理气、解郁、化痰、醒酒的功效。金橘果皮肉质化,不耐贮藏,采后由于组织生理失调和衰老、病原微生物侵染、机械损伤,伤口易受青霉病和绿霉病的侵染,室温条件下货架期短^[14]。但由于金橘果实连皮食用,不宜使用2,4-二氯苯氧乙酸、施保克等柑橘常用保鲜剂,因此寻找具有抗氧化物质的植物源保鲜剂用于金橘贮藏尤其重要^[15-16]。

本课题组前期研究表明枫香叶乙醇提取物和正丁醇萃取物均具有较强的抗氧化能力,枫香叶乙酸乙酯的大孔树脂层析物对枇杷果实具有较好的保鲜功效,为进一步追踪枫香叶正丁醇提取物中具果品保鲜作用的活性物质,本实验选择枫香叶依次通过醇提、正丁醇萃取、大孔树脂层析所得枫香叶正丁醇提取物为研究材料,通过测定枫香叶正丁醇提取物的体外抗氧化能力和贮藏期间金橘果实各品质和生理指标的变化,研究其抗氧化活性和对金橘果实的防腐保鲜作用及机理,为枫香资源的深层次综合利用探索新的途径,为寻找金橘的天然植物源保鲜剂提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

DPPH、三氯乙酸、硫代巴比妥酸 国药集团化学试剂有限公司;钼酸铵 金堆城钼业股份有限公司;偏磷酸 天津科密欧化学试剂有限公司;硫酸亚铁、水杨酸、邻苯三酚、三羟甲基氨基甲烷、三氯化铁、铁氰化钾、酚酞指示剂、乙二胺四乙酸二钠、氮蓝四唑、核黄素、L-蛋氨酸、草酸、乙二胺四乙酸、抗坏血酸、D-101大孔树脂 成都科龙化工试剂厂。所有试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

GY-2果实硬度计 乐清市宝特思仪器有限公司;

VBR90A手持折光仪 杭州汇尔仪器设备有限公司;T6新世纪紫外分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;TGL-16G恰菲尔高速离心机 上海恰菲尔分析仪器有限公司;RE-52旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;JYSD-100-11粉碎机 上海嘉定粮油仪器有限公司;SCQ-7201B数控超声提取仪 上海声彦超声波仪器有限公司;玻璃层析柱(50 mm×600 mm) 南宁市精密仪器仪表有限公司。

1.3 方法

1.3.1 枫香叶正丁醇提取物的制备

2011年9月在北碚茅庵林场采集3~4 a生幼树的成熟枫香叶,经西南大学林学教研室鉴定为金缕梅科枫香树属的枫香叶。采后将新鲜叶子烘干粉碎,以体积分数50%的乙醇溶液超声波提取50 min,提取3次合并滤液,提取液采用正丁醇萃取,减压浓缩蒸干溶剂制备正丁醇相浸膏,浸膏采用大孔吸附树脂层析法进行分离,依次用水、10%、30%、50%乙醇溶液洗脱^[17],取50%乙醇溶液洗脱液,减压浓缩蒸干溶剂得到提取物,用蒸馏水分别配制质量浓度为10、30 mg/100 mL和50 mg/100 mL的枫香叶正丁醇提取物各1.5 L备用。

1.3.2 材料处理

供试材料为九分熟的金橘果实,大小均匀,无病虫害和机械损伤,用体积分数1%的洗洁剂溶液(食用杀毒型)浸果5~10 min,用清水清洗干净后,分别浸泡在质量浓度为0、10、30、50 mg/100 mL(分别为对照(CK)、T1、T2、T3)的枫香叶正丁醇提取物中5 min。在室温条件下吹干,装入聚乙烯保鲜袋(厚0.06 mm)内,每袋15个果实,扎口贮藏。置于室温(14~16℃)条件下贮藏,各指标每3 d测一次。

1.3.3 枫香叶正丁醇提取物体外抗氧化活性测定

DPPH自由基清除能力的测定:参照向进乐等^[18]的方法;·OH清除能力的测定:采用水杨酸法^[19];O₂⁻清除能力的测定:采用邻苯三酚自氧化法^[20];还原能力的测定:参照向进乐等^[18]的方法,以吸光度表示还原力大小。

1.3.4 金橘果实品质、生理测定方法

质量损失率测定采用称质量法,每个处理取15个果实,重复3次,计算公式为:质量损失率/%=(贮藏初始的质量-测定时的质量)/贮藏初始的质量×100;腐烂率:单果腐烂面积超过20%均按烂果计算,每个处理取15个果实,重复3次,计算公式为:腐烂率/%=腐烂果实数/总果实数×100;金橘果实硬度测定:采用硬度计法,选取金橘中段进行检测,每个处理取3个果实,每个果实测定3个值,取平均值;可溶性固形物total soluble solid, TSS含量:用手持折光仪测定,3组重复3次,取平均值;可滴定酸(titratable acid, TA)含量测定:采用酸碱中和法^[21],每个处理取6个果实,3次重复;丙二醛

(malonic dialdehyde, MDA) 含量的测定: 采用硫代巴比妥酸比色法^[22], 根据材料鲜质量计算MDA含量, 单位为 $\mu\text{mol/g}$, 每个处理取5个果实, 重复3次; 超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性测定: 采用氮蓝四唑(nitroblue tetrazolium, NBT)光化还原法, 以抑制NBT光化学还原50%为一个酶活力单位, 单位为U/g, 每个处理取5个果实, 3次重复测定; VC含量测定: 采用钼蓝比色法^[23], 每个处理取5个果实, 重复3次。

1.4 数据处理

数据采用SPSS 17.0软件进行统计分析, 枫香叶正丁醇提取物体外抗氧化作用采用单因素方差分析, 枫香叶正丁醇提取物对金橘果实贮藏效果采用双因素方差分析, 多重比较采用新复极差法。

2 结果与分析

2.1 枫香叶正丁醇提取物体外抗氧化作用

表1 枫香叶正丁醇提取物的还原力和清除DPPH自由基、 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 能力

Table 1 Reducing power and scavenging activities against DPPH, hydroxyl, and superoxide anion free radicals of *n*-butanol extract from *L. formosana* leaves

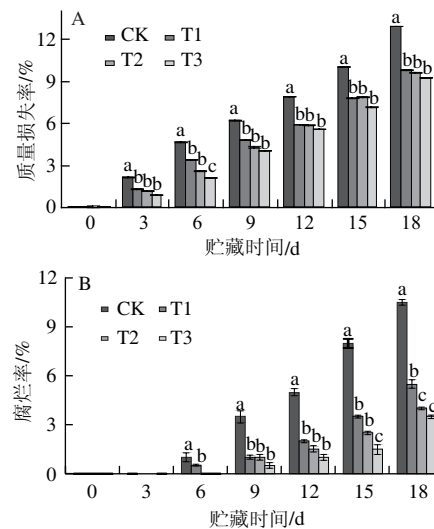
质量浓度/ (mg/mL)	DPPH自由基 清除率/%	$\cdot\text{OH}$ 清除率/%	$\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率/%	还原力
0.2	23.08 \pm 0.17 ^f	19.56 \pm 0.11 ^g	19.87 \pm 0.20 ^g	1.005 \pm 0.002 ^f
0.4	27.56 \pm 0.23 ^e	23.20 \pm 0.24 ^f	25.09 \pm 0.25 ^f	1.634 \pm 0.013 ^e
0.6	35.90 \pm 0.20 ^d	41.61 \pm 0.15 ^c	36.25 \pm 0.3 ^c	2.215 \pm 0.003 ^d
0.8	43.78 \pm 0.15 ^c	50.64 \pm 0.19 ^d	46.89 \pm 0.31 ^d	2.560 \pm 0.005 ^c
1.0	50.83 \pm 0.22 ^b	55.66 \pm 0.26 ^c	52.76 \pm 0.34 ^c	3.257 \pm 0.003 ^b
2.0	92.76 \pm 0.35 ^a	59.52 \pm 0.33 ^b	67.67 \pm 0.41 ^b	3.584 \pm 0.004 ^a
4.0	95.10 \pm 0.27 ^a	63.51 \pm 0.25 ^a	72.10 \pm 0.37 ^a	3.607 \pm 0.005 ^a

注: 同列肩标字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。

枫香叶正丁醇提取物质量浓度在0.2~2.0 mg/mL时, 其还原力和对DPPH自由基、 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除能力呈现较好的量效关系(表1), 随着枫香叶正丁醇提取物质量浓度的增加, 还原力和各清除率也逐渐升高; 当枫香叶正丁醇提取物质量浓度达到2.0 mg/mL, 还原力及DPPH自由基、 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率分别为3.584、92.76%、59.52%、67.67%。当枫香叶正丁醇提取物质量浓度大于2.0 mg/mL时, 其中DPPH清除率和还原力在质量浓度为2.0 mg/mL和4.0 mg/mL时差异不显著 ($P>0.05$)。枫香叶正丁醇提取物对DPPH自由基、 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的 IC_{50} 值分别为0.99、0.36、0.88 mg/mL, 表明枫香叶正丁醇提取物具有较强的体外抗氧化能力。

2.2 枫香叶正丁醇提取物对金橘果实的保鲜作用

2.2.1 枫香叶正丁醇提取物对金橘贮藏期间质量损失率、腐烂率的影响



同一贮藏时间小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

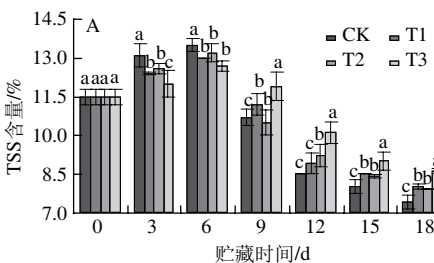
图1 不同处理对金橘果实质量损失率(A)和腐烂率(B)的影响

Fig.1 Effects of different treatments on weight loss and decay rate of kumquat fruits

枫香叶正丁醇提取物能减少果实贮藏期间的质量损失(图1A)。经不同质量浓度枫香叶正丁醇提取物处理的金橘果实的质量损失率均低于未处理的对照组, 果实贮藏18 d时, T1、T2、T3处理的金橘果实质量损失率分别比CK组低24.26%、25.66%、28.38%, T1、T2、T3 3个处理的质量损失率分别为9.78%、9.60%、9.25%。经方差分析, 在整个贮藏期间3个处理组与CK间质量损失率差异显著 ($P<0.05$), 第3、9、12、15、18天时, 3个处理组间差异不显著, T3处理组的质量损失率略低于其他各处理组。

金橘果实贮藏期间, 金橘果实腐烂率均呈上升趋势, 经不同质量浓度枫香叶正丁醇提取物处理的金橘果实, 腐烂率低于对照组(图1B)。贮藏18 d时, CK、T1、T2、T3处理的腐烂率分别为10.00%、5.50%、4.00%、3.50%。经方差分析, 第9、12、15、18天时, 3个处理组与CK间腐烂率差异显著 ($P<0.05$), 50 mg/100 mL枫香叶正丁醇提取物处理对金橘防腐效果相对较好。说明枫香叶正丁醇提取物对防止金橘果实腐烂有一定效果; 可能与其中具抗氧化作用的物质可以抑制或杀死致腐真菌有关。

2.2.2 枫香叶正丁醇提取物对金橘贮藏期间TSS和TA含量的影响



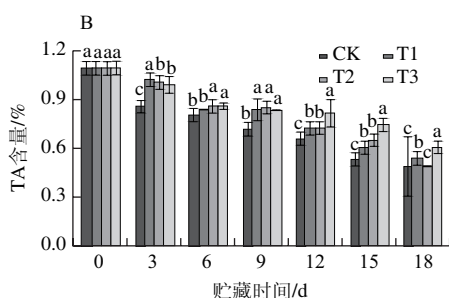


图2 不同处理对金橘果实TSS含量(A)和TA含量(B)的影响

Fig.2 Effects of different treatments on TSS and TA of kumquat fruits

在整个贮藏过程中,金橘果实的TSS含量先升后降(图2A)。贮藏前6 d, TSS含量有所上升,可能与金橘果实的后熟有关;呼吸非跃变型贮藏过程中, TSS又作为呼吸底物参与呼吸作用被消耗^[24-25]。第18天时, TSS含量分别为7.40%、8.00%、7.90%、8.90%。可能是枫香叶正丁醇提取物中的抗氧化物质,如多酚降低了细胞膜对氧气的通透性,从而减少了果实的呼吸消耗。经方差分析,在整个贮藏期间3个处理组与CK间TSS含量差异显著($P < 0.05$),且第9、12、15、18天时, T3处理的TSS含量高于其他各处理。

枫香叶正丁醇提取物可以减少金橘果实贮藏期间TA含量的下降(图2B)。贮藏初期,金橘的TA含量在1%以上。随着贮藏时间的延长,金橘果实中的酸含量逐渐下降,可能与金橘中的柠檬酸作为呼吸作用底物被消耗有关^[26]。第18天时,金橘果实TA含量分别为0.49%、0.54%、0.49%、0.61%。第3、9、12、15天时,3个处理组与CK之间差异显著($P < 0.05$)。经枫香叶正丁醇提取物处理过的金橘果实TA含量高于未处理的对照组。

2.2.3 枫香叶正丁醇提取物对金橘贮藏期间VC含量、硬度的影响

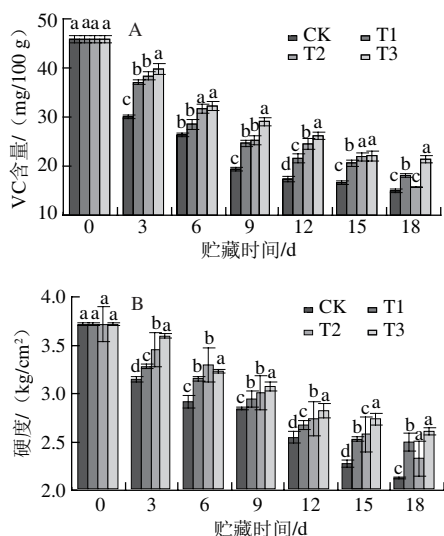


图3 不同处理对金橘果实VC含量(A)和硬度(B)的影响

Fig.3 Effects of different treatments on vitamin C and hardness of kumquat fruits

VC不但是果蔬营养成分之一,同时也是一种清除果蔬内活性氧的抗氧化剂,对延缓衰老有一定效果^[27],果蔬VC含量会随着贮藏期的延长或组织衰老而降低。整个贮藏过程中,金橘果实VC含量呈下降趋势(图3A)。贮藏初期,金橘果实VC含量在45 mg/100 g,第9天下降趋于缓慢。到第18天,各处理果实VC含量分别为15.00、18.19、15.82、21.48 mg/100 g,3个处理组的VC含量分别比对照组高21.26%、5.45%、30.16%。经方差分析,第3、9、12、15天时,处理组与CK间差异显著($P < 0.05$)。说明枫香叶正丁醇提取物可以抑制金橘果实VC含量的下降。

果实贮藏期间硬度总体呈降低的趋势(图3B),贮藏过程中,3个处理的金橘果实硬度均高于对照。第6天时, T2处理的金橘果实硬度最高;第18天时, CK和T1、T2、T3 3个处理的金橘果实硬度分别为2.11、2.49、2.31、2.60 kg/cm²。经方差分析,贮藏过程中3个处理与CK之间差异显著($P < 0.05$)。说明枫香叶正丁醇提取物对金橘果实硬度的降低有抑制作用,其中50 mg/100 mL (T3)效果最好。这可能与果实组织内较高的水分可以维持果实细胞形态及膨压有关。

2.2.4 枫香叶正丁醇提取物对金橘贮藏期间SOD活性和MDA含量的影响

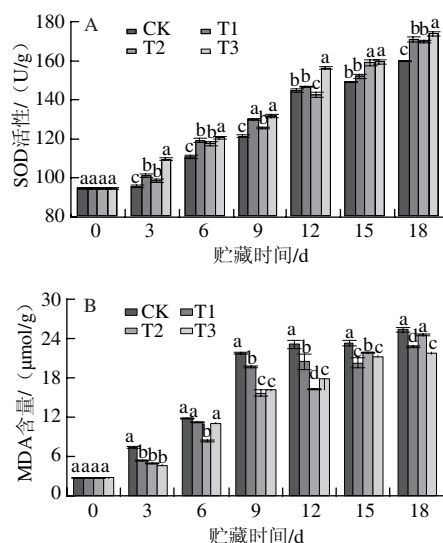


图4 不同处理对金橘果实SOD活性(A)和MDA含量(B)的影响

Fig.4 Effects of different treatments on SOD activity and MDA content of kumquat fruits

正常情况下, SOD可以维持活性氧的产生与清除的平衡。由图4A可看出,在金橘的贮藏过程中, SOD活性呈上升的趋势,且3个处理组的SOD活性高于CK。第18天时, T3处理比CK、T1、T2的SOD活性分别高8.03%、1.55%、2.27%。第3、6、9、12、18天时,3个处理组与CK之间差异显著($P < 0.05$)。说明枫香叶正丁醇提取物

可以使贮藏期金橘维持较高的SOD活性,维持活性氧的产生与清除的平衡,减缓果实衰老,延长贮藏期。

在金橘贮藏的过程中MDA含量呈上升趋势(图4B),可能是由于金橘贮藏期间膜质过氧化造成的,第9天后,上升趋势变缓。在整个贮藏的过程中对照组金橘中MDA含量始终高于3个处理组,说明用枫香叶正丁醇提取物处理可以减少MDA的积累,通过抑制细胞膜质过氧化的程度从而延缓了金橘果实的衰老。贮藏第18天时,各处理金橘果实中MDA含量分别为25.34、22.69、24.49、21.72 $\mu\text{mol/g}$ 。经方差分析,第3、9、12、15天时,3个处理组与CK之间差异显著($P<0.05$);3个处理组金橘MDA含量低于对照,且前12 d, T3处理的MDA含量低于其他处理。

3 讨论与结论

自由基衰老学说认为,生物体的衰老与自由基代谢平衡密切相关^[28-29],衰老期间,活性氧大量生成。其中 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 是需氧细胞线粒体内电子转移产生的一种自由基,由氧分子接收一个电子形成,在生物体内可长时间攻击靶向目标,对细胞有较强的氧化毒性^[30]。 $\cdot\text{OH}$ 是生物细胞内反应活性最强的氧族自由基,可由超氧阴离子和过氧化氢在金属离子的作用下产生,能与生物体内脂类、多肽、蛋白质、核酸等所有的物质发生反应,对生物大分子有很强的氧化破坏效应,引起细胞与组织的氧化损伤,导致器官的病变与机体的衰老^[31-32]。本实验中,枫香叶正丁醇提取物能清除自由基,具有很好的抗氧化能力,可能与其含有的黄酮类、萜类、多糖类、苷类等物质有关^[17]。而类黄酮类和不溶性多酚类物质主要在细胞壁上并与蛋白质、多糖以氢键、疏水键相结合;可溶性酚类物质主要在液泡中分布,水及低体积分数乙醇、甲醇可以自由进出细胞,高体积分数乙醇、甲醇可能会引起植物组织中蛋白质变性,从而影响提取率,鉴于甲醇的毒性,因此,本研究选取50%乙醇溶液提取。

果实贮藏期间,其品质和生理特性均产生了较大的变化。由于自身的呼吸作用和蒸腾代谢,果蔬组织中水分和水溶性营养成分会随着贮藏期的延长而流失加剧,用适宜的外源保鲜材料处理,可显著提高果蔬的耐贮性^[33]。邓丽莉等^[34]研究认为,用壳聚糖处理可明显延缓柑橘营养物质损失,降低腐烂率及改善果蔬风味方面效果明显,同时果实组织中相对较高的水分也有利于维持果实细胞膨压和硬度。本实验中,与对照相比,由于枫香叶提取物中具有抑菌、抗氧化作用的多糖类、苷类、黄酮类、多酚类、萜类等,这些物质可以通过抑制或杀死致病真菌保持果实鲜度;减少呼吸作用消耗的营养物质;清除活性氧防止细胞膜质过氧化;诱导果蔬抗氧化

酶系统中与活性氧清除相关酶活性的上升,枫香叶正丁醇提取物有效地减少了金橘果实的质量损失和腐烂,抑制了果实硬度、TSS和TA含量的下降,从而较好地保持了金橘果实风味。

果实贮藏期间生理特性均产生了较大的变化,果实贮藏过程也是其逐渐衰老的过程。果实的成熟和衰老往往伴随着活性氧($\text{O}_2^{\cdot-}$ 、 H_2O_2 、 $\cdot\text{OH}$ 等)的大量积累。如果这些活性氧没有及时清除,就会导致植物器官和组织处于氧化胁迫中,诱发膜不饱和脂肪酸的过氧化,致使新陈代谢紊乱、细胞膜松弛^[35]。本实验也证明,金橘果实贮藏过程中,膜脂过氧化产物MDA含量不断增高,MDA含量的增加是膜脂过氧化加剧、膜受伤而加剧衰老的表现,其含量的高低可以反应细胞膜脂氧化的程度^[36]。同时作为保护酶系统的SOD等可有效地清除活性氧自由基,保持体内活性氧平衡,其活性的高低可以作为判断果实耐贮性指标和衰老的标志^[37-38]。SOD是主要的活性氧清除酶,主要催化 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的歧化反应,使其转变成成为无毒的 O_2 和毒性较低的 H_2O_2 。本实验中,金橘果实贮藏期间SOD活性呈缓慢上升趋势,且经枫香叶正丁醇提取物处理的果实SOD活性均高于对照,说明枫香叶正丁醇提取物处理能有效的提高金橘果实SOD等抗氧化酶的活性,有利于 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 等超氧自由基的清除;抗氧化实验也证明,枫香叶正丁醇提取物具有较强的体外抗氧化能力。它不仅能清除自由基,还可以通过提高内源性抗氧化物质的水平起到抗氧化的效果^[39-40]。因此,枫香叶正丁醇提取物处理可提高金橘果实内活性氧清除酶的含量,从而有效地抑制活性氧和MDA的积累,延缓果实衰老。

本实验中,枫香叶正丁醇提取物具有较强的还原力和清除DPPH自由基、 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 能力,可以减少果实腐烂、质量损失和MDA含量,减缓果实硬度下降和TSS、TA、VC含量的降低,增强SOD的活性。在金橘果实的贮藏应用上有较好的前景。

参考文献:

- [1] TSUTOMU H, REIKO K, MASAO Y, et al. Seasonal changes in the tannins of *Liquidambar formosana* reflecting their biogenesis[J]. *Phytochemistry*, 1986, 25(12): 2787-2789.
- [2] TAKUO O, TSUTOMU H, TAMAMI K, et al. Liquidambin, an ellagitannin from *Liquidambar formosana*[J]. *Phytochemistry*, 1987, 26(7): 2053-2055.
- [3] 刘云国, 马涛, 张薇. 植物挥发性物质的抑菌作用[J]. 吉首大学学报: 自然科学版, 2004, 25(2): 39-42.
- [4] 刘玉民, 刘亚敏, 李鹏霞, 等. 枫香叶精油抑菌活性及抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(11): 134-137.
- [5] 李美霞. 植物提取物对水果采后致病真菌的抑制作用研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [6] 何云核, 胡丰林, 陆瑞利, 等. 中国亚热带常见园林植物清除DPPH自由基活性研究[J]. 园艺学报, 2003, 30(5): 563-567.

- [7] 郑毅, 刘宁芳, 肖伟洪, 等. 枫香叶提取物对辣椒黑斑病菌防效作用的研究[J]. 江西农业大学学报, 2005, 21(1): 96-98.
- [8] WANG Kai, PAN Yingming, WANG Hengshan, et al. Antioxidant activities of *Liquidambar formosana* Hance leaf extracts[J]. Medicinal Chemistry Research, 2010, 19(2): 166-176.
- [9] 钟有添, 王小丽, 马廉兰. 枫香树叶抗菌活性研究[J]. 时珍国医国药, 2007, 18(7): 1693-1694.
- [10] 钟有添, 黄真, 张瑞其, 等. 枫香树叶对金黄色葡萄球菌和绿脓杆菌抑菌作用的观察[J]. 赣南医学院学报, 2007, 27(2): 169-171.
- [11] 周晓薇, 郑永华, 王静, 等. 植物精油对果蔬防腐保鲜作用研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 427-430.
- [12] 付振喜. 丁香等天然物质的抑菌成分在果蔬保鲜中的应用研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010.
- [13] 唐巧玉, 周毅峰, 朱玉昌, 等. 金橘皮中黄酮类物质的提取及其体外抗氧化活性研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 258-261.
- [14] 邓光宙, 刘萍, 蒋运宁. 不同浓度水杨酸处理对金柑果实贮藏保鲜效果的影响[J]. 北方园艺, 2011(13): 161-164.
- [15] 吴方堂, 郭金鹏, 王江波, 等. 金柑的采后贮藏生理变化[J]. 亚热带农业研究, 2012, 8(4): 270-273.
- [16] IQBAL S, HALEEM S, AKHTAR M, et al. Efficiency of pomegranate peel extracts in stabilization of sunflower oil under accelerated conditions[J]. Food Research International, 2008, 41: 194-200.
- [17] 阎聪, 刘玉民, 刘亚敏, 等. 枫香叶次生代谢物对李采后品质及生理特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(24): 268-272. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201324056.
- [18] 向进乐, 李志西, 李欢, 等. 枳椇果梗不同极性多酚及抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(15): 25-29.
- [19] 田成. 桂花果实多酚的超声波提取及抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(24): 106-110.
- [20] 仇燕, 宋建军, 王少杰. 菜芙蓉花乙醇提取物抗氧化性及抑制Hela细胞生长的研究[J]. 食品科学, 2011, 32(19): 209-213.
- [21] WANG S Y, CHEN C T, WANG C Y. The influence of light and maturity on fruit quality and flavonoid content of red raspberries[J]. Food Chemistry, 2009, 112(3): 676-684.
- [22] 张蜀秋. 植物生理学实验技术教程[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 201-202.
- [23] 张立华, 张元湖, 曹慧, 等. 石榴皮提取液对草莓的保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 361-365.
- [24] 林河通, 席珣芳, 陈绍军. 黄花梨果实采后软化生理基础[J]. 中国农业科学, 2003, 36(3): 349-352.
- [25] KOJIMA K, SAKURAI N, KURAISHI S. Fruit softening in banana: correlation among stress-relaxation parameters, cell wall components and starch during ripening[J]. Physiology Plantarum, 1994, 90(4): 772-778.
- [26] KOCH R, ALLEWELDT G. Ger gaswechsel reifender weinbeeren[J]. Vitis, 1978, 17: 30-44.
- [27] 任艳芳, 刘畅, 何俊瑜, 等. 黄连壳聚糖复合涂膜保鲜剂对夏橙保鲜效果的研究[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 291-296.
- [28] 黄仁华, 夏仁学, 陆云梅, 等. 红肉脐橙果实发育过程中抗氧化系统与活性氧产生速率的变化[J]. 园艺学报, 2006, 33(6): 1287-1290.
- [29] 吴彩娥, 王文生, 寇晓虹. 果实成熟衰老与保护酶系统的关系[J]. 保鲜与加工, 2000(11): 5-8.
- [30] SUN Tao, XIE Wenming, XU Peixin. Superoxide anion scavenging activity of graft chitosan derivatives[J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 58(4): 379-382.
- [31] RAHA S, ROBINSON B H. Mitochondria, oxygen free radicals, disease and ageing[J]. Trends in Biochemical Sciences, 2000, 25(10): 502-508.
- [32] GIL D V L. Oxidative stress in aging: Theoretical outcomes and clinical evidences in humans[J]. Biomedicine and Aging Pathology, 2011, 1(1): 1-7.
- [33] 张阳, 张润光, 张有林, 等. 气调贮藏对新疆伽师瓜采后生理及贮藏品质的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 383-388.
- [34] 邓丽莉, 黄艳, 周玉翔, 等. 采前壳寡糖处理对柑橘果实贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 428-432.
- [35] ANA G P, CARIOS S, RAQUAL O. Lipoxxygenase and hydroperoxidelyase activities in ripening strawberry fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(1): 249-253.
- [36] 刘美迎, 周会玲, 吴主莲, 等. 纳他霉素复合涂膜剂对葡萄保鲜效果的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 259-266.
- [37] BRIGHT J, DESIKAN R, HANCOCK J T, et al. ABA-induced NO generation and stomatal closure in Arabidopsis are dependent on H₂O₂ synthesis[J]. The Plant Journal, 2006, 45(1): 113-122.
- [38] SHIGEOKA S, ISHIKAWA T, TAMOI M, et al. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes[J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53(372): 1305-1319.
- [39] HUANG Dejian, OU Boxin, PRIOR R L. The chemistry behind antioxidant capacity assays[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(6): 1841-1856.
- [40] PRIOR R L, WU X L, SCHAICH K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(10): 4290-4302.