

# 肉桂精油处理对低温贮藏期间‘红阳’猕猴桃抗氧化活性的影响

何靖柳<sup>1</sup>, 李玉<sup>1</sup>, 杜小琴<sup>1</sup>, 李杰<sup>1</sup>, 刘继<sup>2</sup>, 秦文<sup>1</sup>, 张清<sup>1</sup>, 林德荣<sup>1</sup>

(1. 四川农业大学食品学院, 四川雅安 625014) (2. 成都市农林科学院农产品研究所, 四川成都 611130)

**摘要:** 为保持果实贮藏期间较高的抗氧化活性, 以‘红阳’猕猴桃为试材, 分别用不同体积分数(100、200、400和800  $\mu\text{L/L}$ )肉桂精油处理后置于 $(4\pm 1)^\circ\text{C}$ , 相对湿度90%~95%条件下贮藏120 d, 每20 d测定维生素C(Vc)、总酚、花色苷的含量, 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)的活性及果肉总抗氧化能力、超氧阴离子自由基( $\text{O}_2^-$ )、羟自由基( $\text{OH}\cdot$ )、DPPH清除能力, 探讨肉桂精油处理对猕猴桃果实抗氧化活性的影响。结果表明: 肉桂精油处理能有效抑制果实Vc、花色苷含量的降低, 延缓总酚、SOD、POD、CAT、总抗氧化能力、 $\text{O}_2^-$ 、 $\text{OH}\cdot$ 、DPPH清除率峰值的出现, 抑制其相关酶活性的下降; 其中, 400  $\mu\text{L/L}$ 肉桂精油处理‘红阳’猕猴桃果实效果最佳, 能更有效地保持果实中具抗氧化活性能力物质, 从而提高其贮藏期间抗氧化能力。

**关键词:** ‘红阳’猕猴桃; 肉桂精油; 抗氧化物质; 抗氧化酶; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2016)3-211-217

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.034

## Effects of Cinnamon Essential Oil on the Antioxidant Activity of ‘Red Sun’ Kiwifruits during Cold Storage

HE Jing-liu<sup>1</sup>, LI Yu<sup>1</sup>, DU Xiao-qin<sup>1</sup>, LI Jie<sup>1</sup>, LIU Ji<sup>2</sup>, QIN Wen<sup>1</sup>, ZHANG Qing<sup>1</sup>, LIN De-rong<sup>1</sup>

(1. College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China) (2. Agriculture Products Research Institute, Chengdu Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Chengdu 611130, China)

**Abstract:** In order to maintain the high antioxidant activity of fruits during the storage period, ‘Red Sun’ kiwifruits, used as the test material, were treated with different volume fractions (100, 200, 400, and 800  $\mu\text{L/L}$ ) of cinnamon essential oil and stored at  $4 \pm 1^\circ\text{C}$  with a relative humidity of 90–95% for 120 d. During the storage, the vitamin C (Vc), phenol, and anthocyanin contents, the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), and catalase (CAT), the total antioxidant capacities, and superoxide anion radical ( $\text{O}_2^-$ ), and hydroxyl and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activities were measured every 20 d. The effect of cinnamon essential oil treatment on the antioxidant activity of kiwifruits was explored. The results indicated that the cinnamon essential oil effectively inhibited the reduction in Vc and anthocyanin contents, delayed the occurrence of the peak value of SOD activity, POD activity, CAT activity, the total antioxidant capacities, and superoxide anion radical, hydroxyl and DPPH radical scavenging activities, and suppressed the decline of related enzyme activities. The 400  $\mu\text{L/L}$  cinnamon essential oil showed the best effect in treating ‘Red Sun’ kiwifruits and was more effective to maintain the antioxidant substances in the fruits, thereby improving the antioxidant ability of the fruits during the storage period.

**Key words:** antioxidant activity; antioxidant enzyme; antioxidant substance; cinnamon essential oil; ‘Red Sun’ kiwifruit

‘红阳’猕猴桃是四川省苍溪县野生红肉猕猴桃中选育出的世界首个红肉型新品种<sup>[1]</sup>。果实大小均匀、椭圆形, 果皮无毛、呈绿褐色, 果实子房鲜红色, 果心横截面形似太阳, 呈红、黄、绿相间的放射状条纹, 光芒四射; 果肉酸甜适中、清香爽口, 为鲜食或加工上乘佳品; 果实营养丰富, 含大量的抗氧化物质及相

收稿日期: 2015-05-14

基金项目: 四类果蔬产品采后处理通用技术要求

作者简介: 何靖柳 (1989-), 女, 博士研究生, 研究方向: 果蔬采后生理

通讯作者: 秦文 (1967-), 女, 教授, 研究方向: 果蔬采后生理

应的酶类, 其中, Vc含量高达135 mg/100 g, 总酚、花色苷含量均高于绿心、黄心猕猴桃, SOD、POD、CAT等具有较高的抗氧化活性。研究发现, 以上物质对体内产生的 $\text{O}_2^-$ 、 $\text{OH}\cdot$ 等自由基具有较强的清除能力, 在预防癌症、心血管等疾病及抗衰老等方面有很重要的生理作用<sup>[2]</sup>。鲜果在贮藏过程中随着时间推移, 抗氧化活性逐渐降低, 而贮藏条件及时间对其抗氧化性的影响很大<sup>[3]</sup>。

目前, 我国猕猴桃采后贮藏多使用化学合成保鲜剂进行处理, 该类部分试剂有一定的毒副作用, 不仅

影响人们的身体健康,而且严重制约了产品的经济效益。因此,我们迫切需要寻找一种绿色、健康的天然保鲜剂,将其应用于‘红阳’猕猴桃,以保持鲜果采后良好的抗氧化生理活性。植物精油是在常温下易挥发的油状液体物质;由萜烯类、芳香族、脂肪族和少量的含氮、硫化物组成;具有着色、抗菌、抗病毒、抗氧化等生物活性,对多种水果具有良好的保鲜效果<sup>[3,4]</sup>。肉桂精油是从干燥的树皮中提取而得的挥发油,拥有浓郁的芳香及辛辣气味,该精油对清除 $O_2\cdot$ 和 $OH$ 有着显著效果;大量学者研究肉桂精油处理蒜薹、番茄、紫金春甜桔等多种果蔬后发现该精油优良的保鲜、抗氧化能力,而将其应用于猕猴桃的研究至今鲜有报道,因此,研究肉桂精油对采后‘红阳’猕猴桃鲜果的保鲜效果及抗氧化作用具有开创性的意义<sup>[5-8]</sup>。本实验室将‘红阳’鲜果经肉桂精油处理后发现,果实的贮藏效果及品质均得到不同程度的提高,值得大力推广应用<sup>[9]</sup>。

本试验以‘红阳’猕猴桃为原料,研究不同浓度肉桂精油处理对采后果实抗氧化水平的影响,从而确定较佳的处理条件使果实贮藏期间维持良好的抗氧化活性。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与仪器设备

‘红阳’猕猴桃采自雅安市中里镇中里村种植专业合作社果园;肉桂精油购于吉安盛大香料油有限公司(蒸馏树皮而得,纯度大于99.0%)。草酸、乙酸、抗坏血酸、盐酸、甲醇、乙二胺四乙酸二钠、核黄素、磷酸一氢钠、磷酸二氢钠,成都市科龙化工试剂厂;偏磷酸、磷酸,天津市科密欧化学试剂有限公司;硫酸,中国万向科技;钼酸铵,广东省化学试剂工程技术研究开发中心;蛋氨酸,宁波科瑞生物工程有限公司;氮蓝四唑,青岛正业试剂仪器有限公司,所有试剂均为分析纯。

可见分光光度计、紫外分光光度计,上海尤尼柯仪器有限公司;冷冻高速离心机,美国Thermo公司;低温冷藏柜,天津市森罗科技发展有限公司;HWS24型电热恒温水浴锅,上海一恒科技有限公司;DHG-9245A型电热恒温鼓风干燥箱,上海一恒科技有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 材料处理

选择大小均匀(70~80 g/个)、成熟度(硬度、

可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸含量分别为10.16~10.78 kg/cm<sup>2</sup>、6.80%~7.20%、4.10%~4.30%、1.58%~1.67%)基本一致、外表光滑、无机械伤、无病虫害的‘红阳’猕猴桃果实作为试验材料,采后3 h内运至四川农业大学食品学院园艺产品采后生理实验室低温冷库,8℃预冷30 h后于(4±1)℃贮藏备用。

将挑选好的猕猴桃鲜果放入贴有9 cm滤纸的20 L贮藏箱内密闭,在滤纸上滴加一定体积的肉桂精油(滤纸片直到贮藏结束后才将其取出),使精油在箱内慢慢挥发,以达到不同处理水平的体积浓度,分别为100、200、400、800 μL/L,编号为A、B、C、D,以不含精油组为对照(CK),将上述各处理组及CK组置于(4±1)℃、相对湿度90%~95%的冷藏库内贮藏<sup>[10]</sup>。以上各处理重复三次,贮藏期间所有指标均每隔20 d测一次,相关指标有:Vc、总酚、花色苷、SOD、POD、CAT、总抗氧化能力、 $O_2\cdot$ 、 $\cdot OH$ 、DPPH清除率。

#### 1.2.2 测定方法

Vc含量的测定:参照可见分光光度计法,用红菲咯啉作为增色剂<sup>[11]</sup>。总酚含量的测定:参照紫外、可见分光光度计法,用甲醇作为提取液<sup>[11]</sup>。花色苷含量的测定:参照可见分光光度计法,用<sup>[11]</sup>。SOD活性的测定:参照氮蓝四唑(NBT)法,用可见分光光度计进行测定<sup>[11]</sup>。POD活性的测定:参照愈创木酚比色法,用可见分光光度计进行测定<sup>[11]</sup>。CAT活性的测定:参照双氧水法,用紫外分光光度计测定<sup>[11]</sup>。总抗氧化能力的测定:参照Pan等<sup>[12]</sup>方法,略作修改,用可见分光光度计进行测定。 $O_2\cdot$ 清除能力的测定:参照Duan等<sup>[13]</sup>方法,用紫外分光光度计进行测定。 $\cdot OH$ 清除能力的测定:参照Yang等<sup>[14]</sup>方法,略有修改,用可见分光光度计进行测定。清除DPPH·自由基的测定:参照DPPH法,用可见分光光度计测定<sup>[15]</sup>。

### 1.3 数据处理

所有测定均重复3次,取其平均值,运用Excel 2007和SPSS19.0软件对数据进行处理分析,并用邓肯氏多重比较法(Duncan's multiple range test)进行差异显著性检验, $p<0.05$ 为显著水平, $p<0.01$ 为极显著水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 肉桂精油处理对果实中抗氧化物质的影响

#### 2.1.1 果实中Vc含量的变化

Vc含量随贮藏时间的推移,含量不断下降;其中,

C组下降最缓慢,其次是B组,接着是D组、A组、CK组;贮藏至末期,处理组与CK组对比,其差异性均显著 ( $p < 0.05$ ),同时,C组与各处理组相比,其差异性也显著 ( $p < 0.05$ )。由此可知,肉桂精油处理能有效地抑制‘红阳’鲜果Vc含量的降低,其中,400  $\mu\text{L/L}$ 浓度处理效果最好。该结果与夏春燕等<sup>[16]</sup>研究一致,肉桂精油通过抑制Vc氧化酶的活性,从而抑制Vc因与空气中氧气作用后含量减少;精油在一定浓度范围内,随浓度升高,对Vc氧化酶的钝化作用逐渐增强,当浓度过高时,其钝化作用会降低,因此800  $\mu\text{L/L}$ 精油处理不如400  $\mu\text{L/L}$ 。

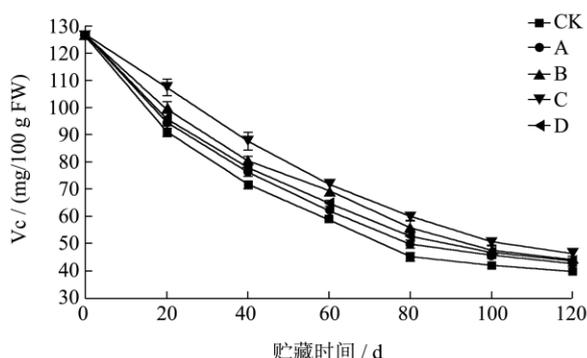


图1 肉桂精油处理对果实中Vc含量的影响

Fig.1 Effect of cinnamon essential oil treatment on the Vc content in fruits during storage

### 2.1.2 果肉中总酚含量的变化

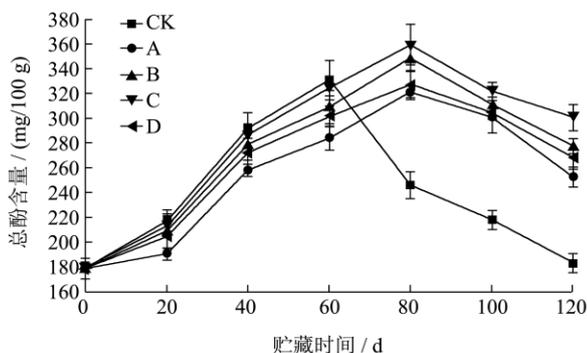


图2 肉桂精油处理对果肉总酚含量的影响

Fig.2 Effect of cinnamon essential oil treatment on the total phenolic content in the flesh during storage

猕猴桃果肉中的总酚含量在贮藏期间整体呈先升后降的趋势;鲜果经不同精油处理后,其酚类含量变化趋势均存在一定差异,其中,C处理变化最缓慢,接着依次是B、D、A处理,CK组变化最急促;同时,CK组果实总酚含量贮藏至第60 d即达到331.2 mg/100 g的峰值,而经肉桂精油处理后的果实,总酚峰值均被推迟20 d出现,贮藏至第80 d才达到高峰,且C组值最高,B组次之,接着是D组、A组,其值分别比80 d的CK组高46.2% ( $p < 0.01$ )、41.7% ( $p < 0.01$ )、33.1%

( $p < 0.01$ )、30.6% ( $p < 0.01$ );肉桂精油处理后的果实贮藏至末期,其总酚含量均高于CK组,C处理含量最高,达300.8 mg/100 g,是B处理的1.08倍 ( $p < 0.01$ ),是D处理的1.12倍 ( $p < 0.01$ ),是A处理的1.18倍 ( $p < 0.01$ ),是CK处理的1.64倍 ( $p < 0.01$ ) (见图2)。结果表明,与空白相比,鲜果经肉桂精油处理后能不同程度影响果实中总酚含量的变化,抑制其减少速率,使果实保持良好的抗氧化性,这与果实中多酚氧化酶活性及多酚的降解、合成有关,多酚通过对OH进行清除实现其抗氧化能力;肉桂精油中的有效因子也可直接作用于果实中产生的OH,当肉桂精油发挥清除作用时,多酚的分解量被降低,因此多酚含量保持较高水平,该结果与吴雪辉等<sup>[17]</sup>研究一致。

### 2.1.3 果肉中花色苷含量的变化

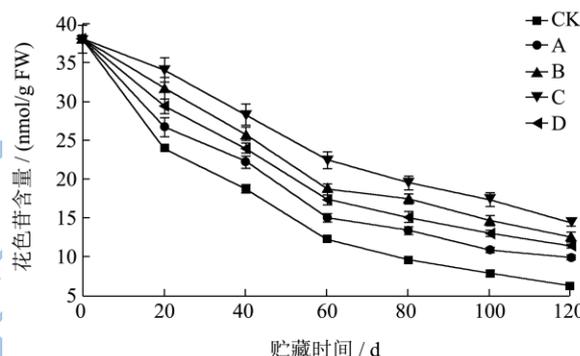


图3 肉桂精油处理对果实花色苷含量的影响

Fig.3 Effect of cinnamon essential oil treatment on the anthocyanin content in fruits during storage

如图3所示,所有猕猴桃果实在整个贮藏过程中,其花色苷含量均不断减少;其中,C处理的下降趋势最缓慢,接着依次是B、D、A处理,CK处理下降最急促;贮藏至120 d,C组的花色苷含量仍高达14.4 nmol/g FW,是B处理的1.15倍 ( $p < 0.01$ ),是D处理的1.28倍 ( $p < 0.01$ ),是A处理的1.46倍 ( $p < 0.01$ ),是CK处理的2.32倍 ( $p < 0.01$ ),其两两之间的差异性均极显著,由此说明果实经C处理后对保持其花色苷含量效果最好,接着分别是: B>D>A。所有果实贮藏前60 d花色苷含量的下降速率均高于60~120 d (见图3);出现此现象的原因可能与果实中酸含量有密切联系,研究发现:花色苷为水溶性色素,在酸性条件下较稳定,且其含量与果实的酸度呈正比;项目前期本课题组研究发现,果实经不同浓度肉桂精油处理后,其可滴定酸含量在贮藏前60 d下降急促,后60 d趋于缓慢,该结果与花色苷含量变化趋势一致<sup>[10]</sup>。

### 2.2 肉桂精油处理对果实中抗氧化酶活性的

影响

抗氧化酶 (SOD、POD、CAT) 组成了一个有效的自由基清除系统, 该类物质活性及含量的提高是果实耐受逆境胁迫的物质基础。

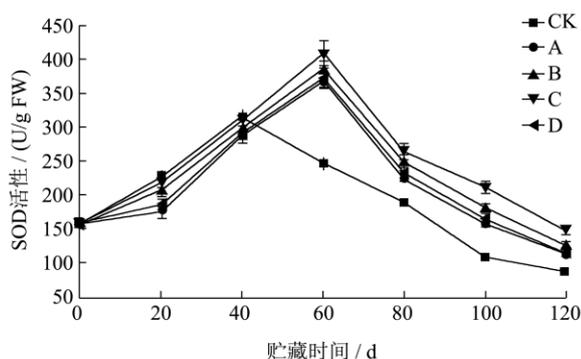


图4 肉桂精油处理对果实 SOD 活性的影响

Fig.4 Effect of cinnamon essential oil treatment on the SOD activity in fruits during storage

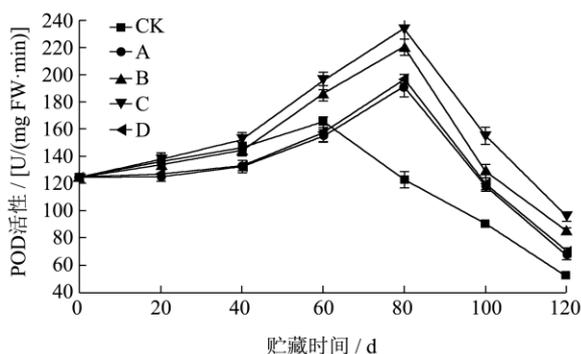


图5 肉桂精油处理对果实 POD 活性的影响

Fig.5 Effect of cinnamon essential oil treatment on the POD activity in fruits during storage

图4可知, 贮藏期间, 所有果实的SOD活性均呈先升后降的趋势; 果实经精油处理后能有效提高SOD活性, 延缓活性峰值的出现。CK组在第40 d便达到SOD活性峰值, 而其它处理组活性高峰被推迟20 d才出现; 不同浓度精油处理, 其SOD活性出现的峰值高低存在差异, C>B>D>A, 对照组CK的峰值最小, 仅为317.3 U/g FW, C组是CK组的1.29倍 ( $p<0.01$ ), B组是CK组的1.22倍 ( $p<0.01$ ), D组是CK组的1.18倍 ( $p<0.01$ ), A组是CK组的1.16倍 ( $p<0.01$ )。果实贮藏至末期, C处理组的SOD活性仍高达148.0 U/g, 其活性极显著高于所有组 ( $p<0.01$ )。产生以上结果与肉桂精油对‘红阳’猕猴桃中SOD酶系统有一定的增强作用有关, 该酶经消除细胞中产生的 $O_2^-$ , 控制膜的过氧化水平, 从而减轻膜被 $O_2^-$ 伤害, 发挥抗氧化能力; 随肉桂精油浓度的增加, 清除 $O_2^-$ 的效果增强, 当浓度为400  $\mu\text{L/L}$ 的时候, SOD活性最高; 但超过该浓度,

增强作用被抑制, SOD活性略降低<sup>[14,18]</sup>。

图5可知, 所有组的POD活性均呈先升后降的趋势; CK组峰值最低, C组最高, 为234.3 U/(mg FW min), 是B组的1.06倍 ( $p<0.05$ ), 是D组的1.19倍 ( $p<0.01$ ), 是A组的1.22倍 ( $p<0.01$ ); 果实经精油处理后与CK组相比延缓20 d出现POD活性峰值; 处理组果实贮藏至后期POD活性仍保持较高的水平, 其中C组仍最高96.0 U/(mg FW min), 比B组高12.5% ( $p<0.01$ ), 比D组高36.5% ( $p<0.01$ ), 比A组高42.6% ( $p<0.01$ )。POD是植物体内另一种重要的 $O_2^-$ 清除酶, 与SOD协同清除体内产生的 $O_2^-$ , 该物质于SOD之后对自由基发挥清除作用, 因此, 其活性峰值出现时间较SOD晚20d<sup>[17]</sup>。

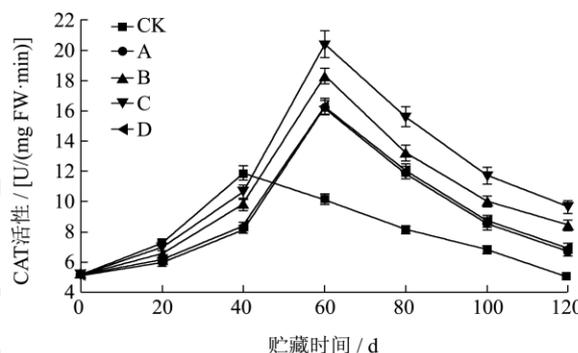


图6 肉桂精油处理对果实 CAT 活性的影响

Fig.6 Effect of cinnamon essential oil treatment on the CAT activity in fruits during storage

CAT的活性变化趋势与SOD完全一致。图6可知, 所有组果实贮藏过程中, CAT活性整体呈先升后降的趋势; CK组CAT活性在贮藏至第40 d便达到峰值, 而A、B、C、D处理组活性峰值均被延迟20 d才出现, 且峰值高低顺序依次为: C>B>D>A>CK; C组的CAT活性峰值高达11.9 U/(g FW min), 比B处理高43.1% ( $p<0.01$ ), 比D高36.0% ( $p<0.01$ ), 比A高27.9% ( $p<0.01$ ), 比CK处理高7.00% ( $p<0.01$ )。CAT是植物体内以 $H_2O_2$ 为底物的酶, 通过分解 $H_2O_2$ , 降低因该自由基的积累对细胞膜造成的损伤, 以此发挥其抗氧化作用。在一定范围内, CAT清除 $H_2O_2$ 的能力随精油浓度增加而逐渐加强; 当精油超过400  $\mu\text{L/L}$ 时, CAT活性反而降低。该结果可能与细胞的承受逆境能力有关, 在低浓度精油范围内, 分解 $H_2O_2$ 相关酶的活性被活化, 从而加速体内 $H_2O_2$ 的分解, 降低自由基的积累; 当精油浓度过高时, 体内相关酶活性受到钝化, 因此, CAT活性较最适处理浓度低, 该结果与董红平研究一致<sup>[19]</sup>。

以上酶系研究发现, 肉桂精油可有效提高果实体内抗氧化酶系的活性和含量, 从而抑制逆境对其造成

的伤害<sup>[5]</sup>。SOD是植物活性酶系统中一种清除自由基的酶，该物质与CAT呈平行性变化；POD的变化与SOD、CAT不同步，表现出随从性，其活性的峰值比SOD、CAT晚20d。贮藏初期，外界O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>刺激相关酶系从而提高SOD、CAT酶的活性，贮藏期间产生的O<sub>2</sub>激活POD的活性，使其出现峰值；随贮藏时间的推移，猕猴桃细胞内活性氧不断积累，增强对膜系统的破坏；贮至终期，各抗氧化酶活性不断降低。

### 2.3 肉桂精油处理后猕猴桃果肉中总抗氧化活性的变化

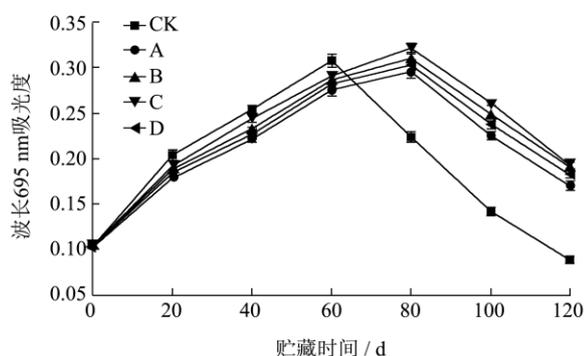


图7 猕猴桃贮藏过程中总抗氧化能力的变化

Fig.7 Changes in the total antioxidant capacities of 'Red Sun' kiwifruits during storage

在酸性条件下，M<sub>o</sub><sup>6+</sup>被提取液还原成M<sub>o</sub><sup>5+</sup>，形成的绿色磷酸钼在波长695 nm处有最大吸收，吸光度越大说明被还原的M<sub>o</sub><sup>6+</sup>越多，待测样液总抗氧化能力越强<sup>[20]</sup>。

由图7可知，猕猴桃果实在贮藏过程中，其总抗氧化能力呈先增后降的变化趋势；与对照相比，果实经肉桂精油处理后，能有效增强其总抗氧化能力，峰值出现的时间被延缓20 d，且浓度为400 μL/L时，处理效果最佳，显著优于200、800、100 μL/L (*p*<0.05)。

### 2.4 肉桂精油处理对猕猴桃果肉中自由基清除能力的影响

果实经肉桂精油处理后，其抗氧化能力均被不同程度的提高，这可能与肉桂精油的抗氧化性有关，肉桂精油作为一种有效的自由基清除剂，对O<sub>2</sub><sup>-</sup>、OH<sup>-</sup>、DPPH等自由基都表现出较好的清除作用。

图8可知，‘红阳’猕猴桃果肉具有很强的O<sub>2</sub><sup>-</sup>清除能力，贮藏初期，其清除能力达34.2%，随着贮藏时间的推移，该能力先升高后降低；果实经一定浓度肉桂精油处理后，O<sub>2</sub><sup>-</sup>清除能力均被不同程度的提高，其

中，400 μL/L为最佳处理浓度，同时，处理果中O<sub>2</sub><sup>-</sup>清除能力峰值出现的时间被有效地延缓，与对照相比，推迟了20 d，且C处理的峰值高达75.5%，比B、D、A、CK依次高2.54% (*p*<0.05)、5.99% (*p*<0.05)、9.69% (*p*<0.05)、12.8% (*p*<0.01)。

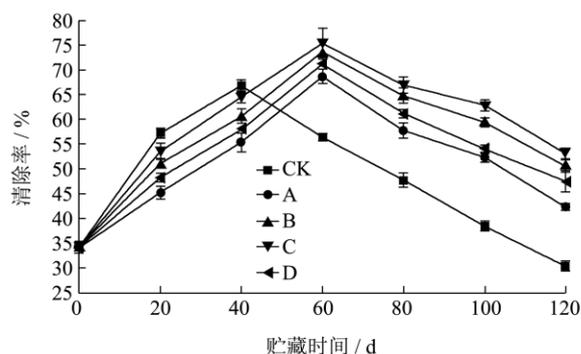


图8 肉桂精油处理对果实中 O<sub>2</sub><sup>-</sup>清除能力的影响

Fig.8 Effect of cinnamon essential oil treatment on the superoxide anion radical scavenging activity in fruits during storage

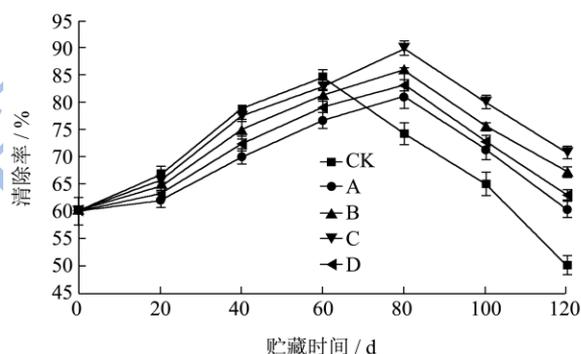


图9 肉桂精油处理对果实中 OH清除能力的影响

Fig.9 Effect of cinnamon essential oil treatment on the hydroxyl radical scavenging activity in fruits during storage

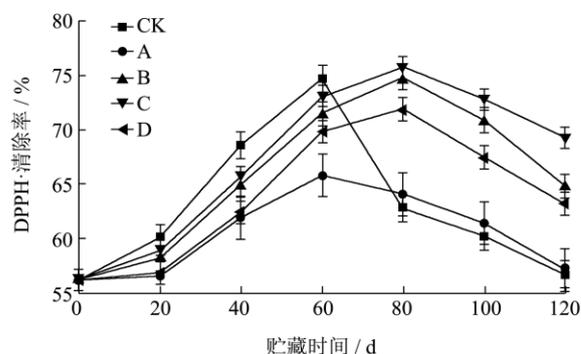


图10 肉桂精油处理对果实中 DPPH清除能力的影响

Fig.10 Effect of cinnamon essential oil treatment on the DPPH radical scavenging activity in fruits during storage

图9可知，猕猴桃果肉具有较强的OH清除能力，贮藏初始值，其清除率高达60.0%；随着贮藏时间的推移，该清除率整体呈先升后降的变化趋势；果实经

肉桂精油处理后, 该清除率被有效地增强, 且贮藏至第80 d, 400  $\mu\text{L/L}$ 处理果的清除率峰值最高, 其次分别为: 200  $\mu\text{L/L}$ 、800  $\mu\text{L/L}$ 、100  $\mu\text{L/L}$ 。

由图10可知, 猕猴桃果肉对DPPH·自由基有一定的清除能力, 且在贮藏期间, 其清除率均先升后降; 贮至60 d, CK组果实中含抗氧化能力物质的DPPH清除能力稳居首位, 接着依次为: C>B>D>A; 贮至第60~80 d, CK组抗氧化能力急速下降, 至第80 d, 其活性均低于所有处理组; 80 d以后, CK组果实中含抗氧化活性物质的DPPH清除能力最弱, C组最高; 贮至120 d, C组清除率仍高达69.3%, 比B组高6.90% ( $p<0.01$ ), 比D组高9.70% ( $p<0.01$ ), 比A组高21.4% ( $p<0.01$ ), 比CK组高22.3% ( $p<0.01$ )。以上结果表明, 果实经不同浓度肉桂精油处理后, 均能有效提高其贮藏期间抗氧化能力, 延缓DPPH·自由基清除率峰值的出现, 从而提高果实的营养及商品价值, 其中, C处理组效果最优, 其次为B、D、A组。

上述研究发现, 肉桂精油在一定浓度范围内, 清除3种自由基的能力均随浓度的增大而增强<sup>[17]</sup>。当精油浓度超过鲜果细胞所能承受的范围时, 可能会破坏果实细胞的细胞壁和相关酶活性, 抑制鲜果中自由基清除能力, 从而降低果实的抗氧化性, 但其作用机制还未得到验证, 仍需深入探究。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

采后果实在贮藏期间仍进行着新陈代谢活动, 不断地消耗着果实内合成 $V_C$ 的有机物, 从而影响 $V_C$ 的含量; 加之,  $V_C$ 自身不稳定, 易分解, 因此果实中 $V_C$ 含量逐渐下降; 但是,  $V_C$ 在弱酸性条件下稳定性较好。花色苷属多酚类物质, 自身稳定性差, 易分解, 在弱酸性、低温下稳定性较好。肉桂醛为肉桂精油的主要成分, 该物质在空气中, 易被氧化生成酸性物质, 因此‘红阳’猕猴桃经肉桂精油处理后置于低温下贮藏, 其 $V_C$ 及多酚类物质均被保持在较高水平<sup>[21,22]</sup>。

SOD、POD通过清除果肉中 $O_2^{\cdot-}$ 发挥抗氧化能力, 两两间存在一定的相关性; 果实中SOD活性强于POD, 因此,  $O_2^{\cdot-}$ 的变化趋势与SOD一致(见图4-a、图4-b、图6-a)。总酚、CAT对果实中OH具有较强的清除能力, 且总酚起主要作用, 因此, OH与总酚含量的变化趋势一致。果实的总抗氧化能力包括果肉中具抗氧化性的物质对 $O_2^{\cdot-}$ 、OH、DPPH等自由基的清除作用, 实验发现, ‘红阳’鲜果作为一种天然抗氧化剂, 对于清除植物细胞内 $O_2^{\cdot-}$ 、OH、DPPH有着十分

显著的效果。

肉桂精油作为一种有效的自由基清除剂, 通过清除果肉中的 $O_2^{\cdot-}$ 、OH、DPPH, 使果实中SOD、POD、CAT酶保持较高的活性, 实现其抗氧化能力, 该种处理方式应用于猕猴桃采后保鲜方面具有一定的先进性; 经研究并综合分析其抗氧化生理特性指标, 400  $\mu\text{L/L}$ 是处理猕猴桃果实的最佳肉桂精油浓度。

#### 3.2 结论

本研究发现, 果实经肉桂精油处理后于最适低温( $4\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ )下放置, 对抑制猕猴桃非酶类抗氧化物质的分解及抗氧化酶活性的下降均有明显的效果, 从而有助于维持果实良好的抗氧化能力; 在一定范围内, 果实随肉桂精油处理浓度增高, 其抗氧化能力增强, 其中, 400  $\mu\text{L/L}$ 为‘红阳’的最佳处理浓度, 当浓度超过400  $\mu\text{L/L}$ 时, 其抗氧化能力降低。

#### 参考文献

- [1] 王瑞玲. 红阳猕猴桃采后病害生理及臭氧保鲜技术研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010  
WANG Rui-ling. Study on physiology of post-harvest diseases of ‘Red Sun’ kiwifruit and preservation [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2010
- [2] MONTEFIORI M, DANIEL J C, MARK W, et al. Characterization and quantification of anthocyanins in red kiwifruit [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(15): 6856-6861
- [3] 周晓薇, 王静, 顾镍, 等. 植物精油对果蔬防腐保鲜作用研究进展[J]. 食品科学, 2010, 21: 427-430  
ZHOU Xiao-wei, WANG Jing, GU Nie, et al. Research progress in preservative effect of plant essential oil on fruits and vegetables [J]. Food Science, 2010, 21: 427-430
- [4] WANG S Y, CHEN C T, YIN J J. Effect of allyl isothiocyanate on antioxidants and fruit decay of blueberries [J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 199-204
- [5] 李荣, 路冠茹, 姜子涛. 肉桂精油抗氧化性能及清除自由基能力的研究[J]. 食品科技, 2010, 2: 166-171  
LI Rong, LU Guan-ru, JIANG Zi-tao. Investigation of antioxidant activities and free radical scavenging of cinnamon essential oil [J]. Food Science and Technology, 2010, 2: 166-171
- [6] 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, 10: 1281-1284, 1322  
ZENG Xiao-fang, GAO Su-juan, LIN Yan-zong, et al. Preservation effect of cinnamon essential oil on Zijin sweet

- orange [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2012, 10: 1281-1284, 1322
- [7] SREEJITH R, VIVEKANANDAN P, NEHA C, et al. In vitro evaluation of antioxidant defense mechanism and hemocompatibility of mauran [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 98(1): 108-115
- [8] 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, 2: 117-123
- CHEN Chu-ying, CHEN Ming, FU Yong-qi, et al. Preservation of postharvest Xinyu tangerine coated with edible compounds from clove extracts under ambient temperature storage [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 2: 117-123
- [9] 何靖柳,刘继,杜小琴,等.植物精油对‘红阳’猕猴桃低温贮藏保鲜效果的影响[J].*食品工业科技*,2015,36(9):320-326
- HE Jing-liu, LIU Ji, DU Xiao-qin, et al. Preservation of ‘Red Sun’ kiwifruit fumigated with plant essential oil during cold storage [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(9): 320-326
- [10] 何靖柳,刘继,黄彭,等.几种保鲜处理对贮藏期间‘红阳’猕猴桃抗氧化生理特性变化的影响[J].*食品工业科技*,2014, 21:341-345,350
- HE Ji-liu, LIU Ji, HUANG Peng, et al. Effect on antioxidant activity of ‘Red Sun’ kiwifruit by several preservation treatments during postharvest period [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 21: 341-345, 350
- [11] 武维华.植物生理学(第2版)[M].北京:科学出版社,2012
- WU Wei-hua. *Plant physiology (The second edition)* [M]. Beijing: Science Press, 2012
- [12] PAN Y M, HE C H, WANG H S, et al. Antioxidant activity of microwave-assisted extract of *Buddleia officinalis* and its major active component [J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(2): 497-502
- [13] DUAN X W, JIANG Y M, SU X G, et al. Antioxidant properties of anthocyanins extracted from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning [J]. *Food Chemistry*, 2007, 101(4): 1365-1371
- [14] YANG G M, WANG D, TANG W, et al. Anti-inflammatory and antioxidant activities of *Oxytropis falcata* fractions and its possible anti-inflammatory mechanism [J]. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 2010, 8(4): 285-292
- [15] QIN L, KANG W H, ZHANG Z W, et al. Ultrasonic-assisted extraction flavonoids and ability to scavenge 1,1-diphenyl 2-picrylhydrazyl (DPPH) radicals from medlar (a Miller) leaves and fruits [J]. *Journal of Medicinal Plants Research*, 2012, 6(17): 3295-3300
- [16] 夏春燕,郭晓晖,李富华,等.细胞抗氧化活性方法在食物抗氧化活性评价中的研究进展[J].*食品科学*, 2012, 33(15): 297-302
- XIA Chun-yan, GUO Xiao-hui, LI Fu-hua, et al. Research progress of cellular antioxidant activity assay for antioxidant evaluation of foods [J]. *Food Science*, 2012, 33(15): 297-302
- [17] 吴雪辉,黄永芳,高强,等.肉桂精油的抗氧化作用研究[J].*食品科技*,2007,4:85-88
- WU Xue-hui, HUANG Yong-fang, GAO Qiang, et al. Study on the antioxidant activities of cinnamon essence oil [J]. *Food Science and Technology*, 2007, 4: 85-88
- [18] DWORON L, LI JIANG H, HONG Y. Initial screening studies on potential of high phenolic-linked plant clonal systems for nitrate removal in cold latitudes [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2010, 10(5): 923-932
- [19] 董红平.肉桂精油对番茄灰霉病菌生物活性及对番茄品质和保护酶的影响[D].郑州:河南农业大学,2013
- DONG Hong-ping. Antifungal activity of cinnamon essential oil against *Botrytis cinerea* and the effect of cinnamon essential oil on quality of tomato and protective enzyme system of tomato seedlings [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2013
- [20] JIANG S H, WANG C L, CHEN Z Q, et al. Antioxidant properties of the extract and subfractions from old leaves of *toon sinensis*, roem (*Meliaceae*) [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2009, 33(3): 425-441
- [21] NOBUYUKI K, MAKOTO M, RYUICHIRO K, et al. Antifungal activity and molecular orbital energies of aldehyde compounds from oils of higher plants [J]. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1979, 43(11): 2365-2371
- [22] 刘颖,赵长竹,吴丰魁,等.红肉猕猴桃花色苷组成及浸提研究[J].*果树学报*,2012, 29(3): 493-497
- LIU Ying, ZHAO Chang-zhu, WU Feng-kui, et al. Identification and extraction of anthocyanins in red-fleshed kiwifruit [J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29(3): 493-497