

几种保鲜处理对红阳猕猴桃活性氧代谢的影响

何靖柳^{1,2}, 段钰¹, 杜小琴¹, 刘继³, 李玉¹, 李杰¹, 张清¹, 李素清¹, 董赞², 秦文^{1*}

1(四川农业大学 食品学院, 四川 雅安, 625014) 2(雅安职业技术学院, 四川 雅安, 625000)

3(成都市农林科学院 农产品研究所, 四川 成都, 611130)

摘要 利用主成分分析方法探讨几种保鲜处理对红阳猕猴桃果实活性氧代谢的影响。结果表明:2种复合保鲜处理能更有效地抑制果实 V_c 、花色苷含量的降低, 推迟总酚、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)、超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)、羟基自由基($\cdot OH$)、DPPH·清除率峰值的出现, 抑制相关酶活性的降低, 保持果实良好的抗氧化活性。经主成分分析结果表明, 成分1和成分2可共同对贮藏至20 d和120 d果实进行有效区分, 同时, 2种复合处理对保持果实贮藏期间良好的抗氧化活性具有较好的作用, 2种处理间差异不显著, 基于成本及操作性综合考虑, 首选精油与1-甲基环丙烯(1-MCP)复合作为最佳处理方式。

关键词 红阳猕猴桃; 复合保鲜; 活性氧代谢; 主成分分析法

红阳猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch. var. *rufopulpa* Liang et Ferguson)属中华(*Actinidia chinensis*)系品种, 是四川省苍溪县选育出的世界首个红肉型新品种, 于1997年被列为“国家级品种保护资源”^[1]。研究发现, 猕猴桃具有重要的营养成分和功能性物质, 含丰富的抗氧化物质及抗氧化酶, 以上物质可通过清除植物体内产生的自由基发挥其抗氧化能力^[2]; 同时, 该物质极不稳定、易分解, 在贮藏期间会不断下降, 而贮藏条件对其抗氧化活性影响很大; 因此, 保持较高活性氧代谢的贮藏条件均有助于维持鲜果的抗氧化能力, 延长其贮藏寿命^[3]。

1-MCP、臭氧处理及植物精油处理是近年来果蔬贮藏保鲜的研究热点^[4]。1-MCP处理可较好地抑制贮藏期间果实的抗氧化物质及抗氧化酶的降低, 使其保持较高的还原状态和抗氧化能力, 延缓果实衰老并提高其抗性, 其中, 最佳处理浓度为0.9 mg/L^[5-8]。一定浓度的臭氧处理能明显延缓红阳果实抗氧化物质的下降, 维持其较高的抗氧化酶活性, 最适处理条件为200 mg/h处理0.5 h^[9]。肉桂精油是从干燥的树皮中提取而得的挥发油, 该物质对清除 $O_2^{\cdot-}$ 和 $\cdot OH$ 有显著效果; 研究发现, 红阳猕猴桃经400 $\mu L/L$ 肉桂精油处理后, 其保鲜效果较好, 同时, 能有效维持果实优良的抗氧化作用^[10-12]。复合保鲜结合各种单一保鲜方式的优点, 通过抑制果实内相关抗氧化酶

的活力和其他生命活动, 以维持其较高的活性氧代谢能力, 其效果优于单一处理^[13]。

目前, 从事猕猴桃贮藏保鲜技术的研究主要集中于单一保鲜处理, 对复合式保鲜技术及具体实施方法的研究鲜有报道; 同时, 对红阳猕猴桃活性氧代谢过程的研究报道很少。本试验以红阳猕猴桃为材料, 研究单一保鲜处理(1-MCP、臭氧和肉桂精油)和复合处理(1-MCP分别与臭氧和肉桂精油结合)对红阳果实活性氧代谢的影响, 通过主成分分析法, 比较不同处理间的差异, 从而进一步了解复合保鲜技术的优势。

1 材料和方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料

红阳猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch. var. *rufopulpa* Liang et Ferguson), 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(质量浓度大于99.0%)。

1.1.2 试验仪器

BS210S型电子天平, 塞多利斯北京天平有限公司; OZ-3G型臭氧发生器, BNP OZONE TECHNOLOGY CO. LTD; 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; DHG-9245A型电热恒温鼓风干燥箱, 上海一恒科技有限公司; 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。

第一作者: 博士研究生(秦文教授为通讯作者, E-mail: qinwen1967@aliyun.com)。

收稿日期: 2015-06-25, 改回日期: 2015-08-31

1.2 实验方法

1.2.1 试验设计

选择大小均匀(60~70 g/个)、成熟度(7~8成)基本一致、外表光滑、无机械伤、无病虫害的红阳猕猴桃果实,采后迅速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。

采用以下5种方式(A、B、C、D、E)对鲜果进行处理,每个处理组果实10 kg,均置于20 L贮藏箱内。A:将0.5片AnsiP-S(商品名:安喜布,有效成分为1-MCP,纸片型,规格25 cm×20 cm,1片安喜布在40 L空间释放1-MCP浓度为0.90 μL/L)置于贮藏箱中密闭,使箱内1-MCP浓度为0.90 μL/L。B:用200 mg/h的臭氧处理箱内果实0.5 h,使箱体臭氧浓度为5.0 mg/L,处理后密闭1 h打开箱口排除臭氧,每隔7 d通1次臭氧。C:贮藏箱内贴滤纸,在滤纸上滴加一定体积的肉桂精油,使精油在箱内慢慢挥发,以达到400 μL/L体积浓度。D:用200 mg/h的臭氧处理果实0.5 h,处理后放置1 h打开箱口排除臭氧,每隔7 d通1次臭氧;将0.5片安喜布置于箱内。E:在滤纸上滴加肉桂精油,精油在箱内慢慢挥发浓度达400 μL/L;再将0.5片安喜布置于箱内。CK:不作任何处理。将上述各处理组和对照组猕猴桃均置于(4±1)℃、相对湿度90%~95%的冷藏库内贮藏120 d。以上各处理重复3次,每20 d定期随机取10个果实测定相关指标。指标有: V_c 、总酚、花色苷、SOD、POD、CAT、总抗氧化能力、 O_2^- 清除率、·OH清除率、DPPH·清除率。

1.2.2 测定项目

(1) V_c :参照郑京平^[14]紫外分光光度快速测定法。

(2) 总酚:参照Dewanto等^[15]方法,略加修改。

(3) 花色苷:参照熊庆娥^[16]的方法。

(4) SOD:参照氮蓝四唑(NBT)法^[17],略加修改。

(5) POD:参照愈创木酚比色法^[18],并略加修改。

(6) CAT:参照紫外吸收法^[17]。

(7) 总抗氧化能力:参照Pan等^[19]方法,略加修改。

(8) O_2^- 清除率:参照Duan等^[20]方法,略加修改。

(9) ·OH清除率:参照Yang和顾海峰等^[21-22]方法,略加修改。

(10) DPPH·清除率:参照Brand-Williams等^[23]

方法,略加修改。

1.2.3 数据处理

所有试验数据计算标准误差,均用Origin 8.0制图;采用SPSS19.0统计软件对数据进行方差分析(One-way ANOVA),利用邓肯氏多重比较对差异显著性进行比较分析, $P < 0.05$ 表示差异显著;采用SPSS19.0进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 保鲜处理对果实抗氧化物质的影响

2.1.1 对 V_c 含量的影响

V_c 是一种重要的营养物质,其含量决定了果实贮藏品质的好坏。 V_c 极不稳定,易分解;而在酸性条件下,稳定性较好,因此,贮藏期间, V_c 含量的变化趋势与可滴定酸一致,均随贮藏时间的推移,含量不断下降^[10];如图1所示,复合处理组D和E组下降最缓慢,其次是单一处理组和CK组;贮藏至末期,复合处理组与相应的单一组对比,其差异性均显著($P < 0.05$)。由此可知,复合处理能有效地抑制红阳鲜果 V_c 含量的降低。

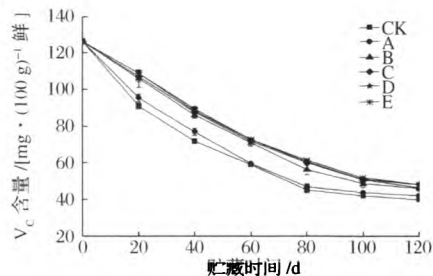


图1 不同处理对果实中 V_c 含量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on V_c content during storage

2.1.2 对果实花色苷含量的影响

如图2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,复合处理组的下降趋势最缓慢,接着依次是单一处理组,CK处理下降最急促;贮藏至120 d, E组的花色苷含量为15.4 nmol/g鲜重,是A处理的1.32倍($P < 0.01$),是C处理的1.07倍($P < 0.05$),D组的花色苷含量为14.7 nmol/g鲜重,分别是对应单一处理组A、B的1.27倍($P < 0.05$)和1.08倍($P < 0.05$),其两两之间的差异性均显著,由此说明果实经复合处理后对保持其花色苷含量效果很好。

2.1.3 对果肉总酚含量的影响

猕猴桃果肉中的总酚含量在贮藏期间整体呈先升

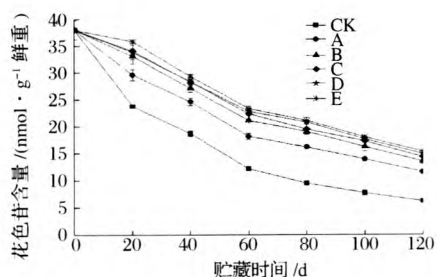


图2 不同处理对果实花色苷含量的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on anthocyanins content of kiwifruit during storage

后降的趋势;鲜果经不同处理后,其酚类含量变化趋势均存在一定差异,其中,复合处理组变化最缓慢,接着依次是单一处理组,CK组变化最急促;同时,CK组果实总酚含量贮藏至第60天即达到331.2 mg/100 g的峰值,而经单一和复合处理后的果实,总酚峰值均被推迟20 d出现,且E组值最高,C组次之,接着是D组、B组、A组;贮至末期,复合处理组总酚含量均高于相应的单一处理组(见图3)。结果表明,与单一处理相比,鲜果经复合处理后能不同程度影响果实中总酚含量的变化,增强其抗氧化性。

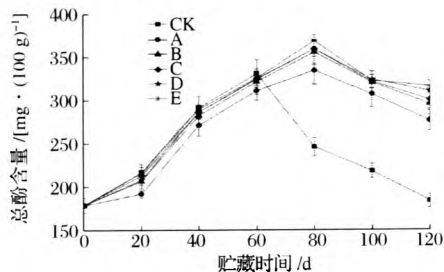


图3 不同处理对果肉总酚含量的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on phenols content of kiwifruit during storage

2.2 保鲜处理对果实抗氧化酶的影响

2.2.1 对果实SOD活性的影响

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;果实经复合处理后能有效提高SOD活性,延缓活性峰值的出现。CK组在第40天便达到SOD活性峰值,而其他处理组活性高峰被推迟20 d才出现;不同复合处理,其SOD活性出现的峰值高低存在差异,但差异不显著($P > 0.05$)。果实贮藏至末期,复合处理组D和E的SOD活性均为151.0 U/g,其活性显著高于对应的单一处理组($P < 0.05$)。产生以上结果可能与猕猴桃果肉含有的SOD酶及各处理的抗氧化能力有关,他们均可通过消除细胞中的 O_2^- ,控制膜的过氧化水平,从而减

轻膜被活性氧及自由基伤害,发挥抗氧化能力;同时,随着复合作用叠加,清除 O_2^- 的效果增强^[24-26]。

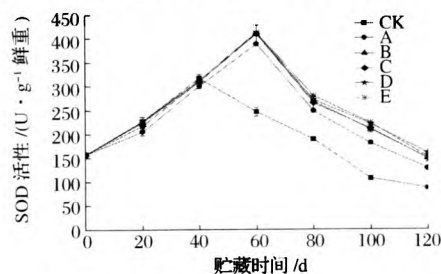


图4 不同处理对果实SOD活性的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on SOD activity of kiwifruit during storage

2.2.2 对果实POD活性的影响

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,D组最高,为241.38 U/(mg鲜重 · min),是A组的1.09倍($P < 0.05$),是B组的1.01倍($P < 0.05$);各处理组与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,其中复合组D和E含量均很高,分别为100.6 U/(mg鲜重 · min)和101.2 U/(mg FW · min),比相应的单一处理组高,且差异显著($P < 0.05$)。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迟20 d^[27]。

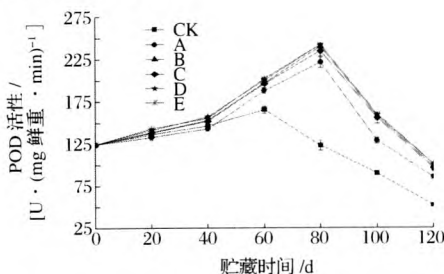


图5 不同处理对果实POD活性的影响

Fig. 5 Effects of different treatments on POD activity of kiwifruit during storage

2.2.3 对果实CAT活性的影响

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。由图6可知,CAT的活性变化趋势与SOD完全一致,这与冯武^[27]研究结论一致。图6还可以看出,所有组果实在贮藏过程中,CAT活性整体呈先升后降的趋势;CK组CAT活性在贮藏至第40天便达到峰值,而其他处理组活性峰值

均被延迟 20d 才出现,且峰值高低顺序依次为: $E > D > B > C > A$; E 组的 CAT 活性峰值高达 $22.7 \text{ U}/(\text{g} \text{ 鲜重} \cdot \text{min})$,比 A 处理高 22.1% ($P < 0.01$),比 C 高 11.1% ($P < 0.05$); D 组的 CAT 活性峰值为 $22.5 \text{ U}/(\text{g} \text{ 鲜重} \cdot \text{min})$,比 A 高 21.0% ($P < 0.01$),比 B 处理高 7.67% ($P < 0.05$)。

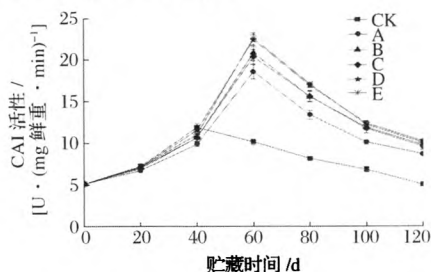


图 6 不同处理对果实 CAT 活性的影响

Fig. 6 Effects of different treatments on CAT activity of kiwifruit during storage

2.3 保鲜处理对总抗氧化能力的影响

2.3.1 果肉总抗氧化活性的变化

在酸性条件下, Mo^{6+} 被提取液还原成 Mo^{5+} , 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 Mo^{6+} 越多,待测样液总抗氧化能力越强^[28]。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;与单一处理相比,果实经复合处理后,能有效增强其总抗氧化能力,且复合处理与对应单一处理之间,差异性显著 ($P < 0.05$)。

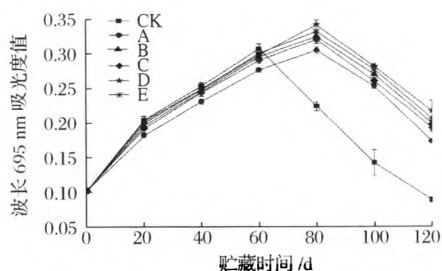


图 7 猕猴桃贮藏过程中总抗氧化能力的变化

Fig. 7 Total antioxidant activities from 'Red Sun' kiwifruit during storage

2.3.2 果肉 O_2^- 清除能力的变化

图 8 可知,红阳猕猴桃果肉对 O_2^- 具有很强的清除能力,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;果实经不同保鲜处理后, O_2^- 清除能力均被不同程度的提高,其中,复合处理效果最佳,同时,处理果中 O_2^- 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 20d,且 D、E 处理的峰值分别高达 76.9% 、 77.0% ,比对应的单一处理 A、B 分别高 8.26% ($P < 0.05$)、 2.08% ($P > 0.05$),比 A、C 分别高 8.45% ($P < 0.05$)、 2.25% ($P > 0.05$)。

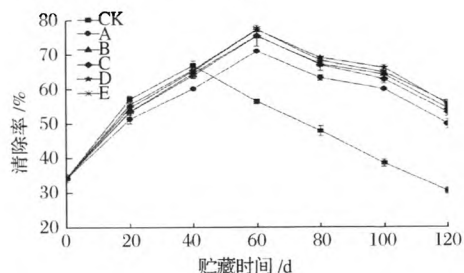


图 8 保鲜处理对果实中超氧阴离子自由基清除能力的影响

Fig. 8 Effects of treatment with different preservations on superoxide anion radical scavenging activity during storage

2.3.3 果肉 $\cdot\text{OH}$ 清除能力的变化

图 9 可知,猕猴桃果肉对 $\cdot\text{OH}$ 具有较强的清除能力,贮藏初期,其清除率高达 60.0% ;随着时间的推移,该清除率整体呈先升后降的变化趋势;果实经不同处理后,该清除率峰值出现时间较空白组被推迟 20 d,且两种复合处理均优于单一处理,两两间差异显著 ($P < 0.05$);贮至末期,D、E 组清除能力分别高达 71.2% 、 72.7% ,均比单一处理高,且差异性显著 ($P < 0.05$)。

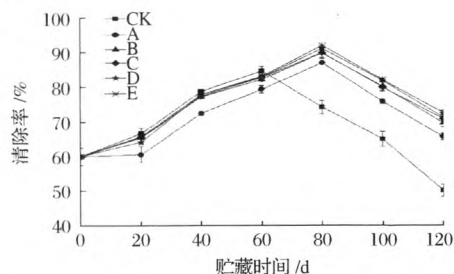


图 9 保鲜处理对果实中羟基自由基清除能力的影响

Fig. 9 Effects of treatment with different preservations on hydroxyl radical scavenging activity during storage

2.3.4 果肉 DPPH·清除能力的变化

由图 10 可知,猕猴桃果肉对 DPPH·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·清除率稳居首位;贮至 60~80 d,CK 组抗氧化能力急速下降,其活性均低于所有处理组;贮至 80d 以后,CK 组果实中含抗氧化活性物质的 DPPH·清除能力最弱,复合处理均较高;贮至 120 d,D 和 E 组清除率仍高达 71.0% ,比 A 组高 7.90% ($P < 0.01$),比 B 组高

2.16% ($P < 0.05$), 比 C 组高 2.45% ($P < 0.05$)。以上结果表明, 果实经复合保鲜处理后, 较单一保鲜处理均能有效提高其贮藏期间抗氧化能力, 延缓 DPPH·清除率峰值的出现, 从而提高果实的营养及商品价值。

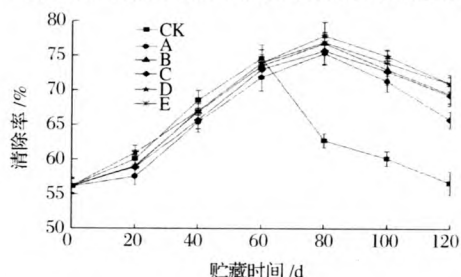


图 10 不同处理对果实中 DPPH·清除能力的影响

Fig. 10 Effects of different treatments on DPPH· scavenging activity during storage

2.4 不同保鲜处理后对果实抗氧化代谢进行主成分分析

通过主成分分析得到前 2 个主成分的累计贡献率为 90%, 因此设定这 2 个主成分即能够代表整体数据的信息特征。图 11 是各个抗氧化指标的主成分在不同贮藏时间、不同处理下得分散点和载荷的双标图。

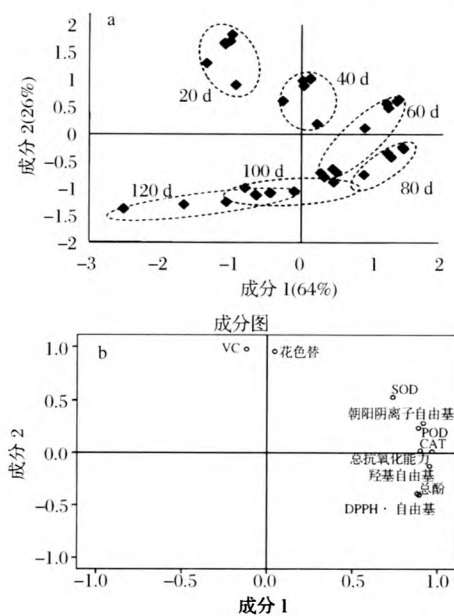


图 11 红阳猕猴桃果实抗氧化代谢主成分因子得分 (A) 与载荷 (B) 的双标图

Fig. 11 Scores (A) and loadings (B) of antioxidant metabolism from PCA of 'Red Sun' kiwifruit

图 11 中的成分 1、2 分别解释了变量的 64%、26%。由图 11、表 1 可知, 成分 1 很好地区分了 120 d 时处理组与对照组的样本差异, 表明在贮藏后期处理组对总酚、SOD、POD、CAT、总抗氧化能力、 $O_2^{\cdot-}$ 、 $\cdot OH$ 、

DPPH·清除率变化影响较明显 (见图 11-a、表 1), 其中两复合处理与单一处理相比, 差异性显著 (表 1); 成分 1 的正坐标处总酚、SOD、POD、CAT、总抗氧化能力、 $O_2^{\cdot-}$ 、 $\cdot OH$ 、DPPH·清除率载荷均较高, 花色苷和 V_c 在成分 1 的正负坐标处的载荷低 (见图 11-b)。 V_c 、花色苷、SOD 在成分 2 正坐标处有较高的载荷, 总酚、DPPH·清除率在负坐标处的载荷较高 (见图 11-b); 成分 2 很好的区分了贮藏至 20 d、120 d 样本间的差异 (见表 1), 说明在贮藏阶段, V_c 、花色苷、SOD、总酚、DPPH·清除率发生较大幅度的变化 (见图 11、表 1); 同时, 20 d 时各处理组与对照组的样本差异在成分 2 上得到较好区分, 其中, 精油和 1-MCP 复合组差异最显著 (见表 1), 表明贮藏前期, V_c 、花色苷、SOD、总酚、DPPH·清除率受精油和 1-MCP 复合组影响最大; 120 d 时, 两复合组对各指标影响均较大 (见图 11-a)。成分 1 和成分 2 共同对贮藏至 20 d 和 120 d 果实进行有效区分, 通过对以上 2 种成分的判定, 能减少试验过程中测定指标的数量, 提高试验效率。

3 讨论与结论

3.1 讨论

(1) 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 含量; 加之, V_c 自身不稳定, 易分解, 因此造成果实中 V_c 含量逐渐下降。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^[29-31]。

(2) 抗氧化酶 (SOD、POD、CAT) 组成了一个有效的自由基清除系统, 该物质活性及含量的提高是果实耐受逆境胁迫的物质基础。研究发现, 臭氧和肉桂精油可有效提高果实在各种逆境胁迫下体内抗氧化物质的活性和含量, 从而缓解逆境对其造成的伤害^[32-33]。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, 说明两者具有一致的耐抗性; 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_2 、 H_2O_2 刺激相关酶系提高 SOD、CAT 的活性, 贮藏期间产生的 $O_2^{\cdot-}$ 激活 POD 的活性, 使其活力倍增, 出现峰值; 随着贮藏时间的推移, 猕猴桃细胞内活性氧不断积累, 增强对膜系统的破坏; 贮藏至终期, 各抗氧化酶活性不断降低。

表1 红阳猕猴桃果实抗氧化代谢主成分得分表

Table 1 Scores of antioxidant metabolism from PCA of 'Red Sun' kiwifruit

贮藏 时间/d	成分 编号	CK	1-MCP	O ₃	精油	O ₃ +1-MCP	精油+1-MCP
20	1	-0.925 6	-1.338 1	-1.073 3	-1.081 0	-1.007 6	-0.980 9
	2	0.900 6	1.300 3	1.633 1	1.669 0	1.696 8	1.823 4
40	1	0.218 9	-0.253 5	0.037 8	0.026 0	0.125 2	0.122 5
	2	0.185 8	0.605 0	0.878 4	0.983 0	1.010 7	1.025 3
60	1	0.459 8	0.898 6	1.239 6	1.214 8	1.361 0	1.387 3
	2	-0.884 7	0.112 2	0.490 2	0.564 1	0.609 2	0.642 3
80	1	-0.788 4	0.890 9	1.272 3	1.224 4	1.447 3	1.442 8
	2	-0.984 1	-0.743 1	-0.422 6	-0.342 9	-0.272 9	-0.241 4
100	1	-1.656 9	-0.092 3	0.332 7	0.270 9	0.501 9	0.447 6
	2	-1.300 0	-1.056 8	-0.786 8	-0.717 0	-0.692 1	-0.641 5
120	1	-2.510 8	-1.054 9	-0.630 2	-0.649 0	-0.445 1	-0.434 7
	2	-1.369 7	-1.253 9	-1.128 8	-1.117 0	-1.086 6	-1.087 1

(3) SOD、POD 通过清除果肉中 O_2^- 发挥抗氧化能力,果实中 SOD 活性强于 POD,因此, O_2^- 的变化趋势与 SOD 一致。总酚、CAT 对果实中 $\cdot OH$ 具有较强的清除能力,且总酚起主要作用,因此, $\cdot OH$ 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 \cdot 等的清除作用,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 \cdot 有着十分显著的效果。

(4) 1-MCP 可通过提高果实活性氧清除酶 (SOD、POD 和 CAT) 活性和内源抗氧化物质 (V_c 和花色苷、总酚) 含量,从而更好地清除活性氧,减少因活性氧在体内的积累对膜造成的损伤,有效降低膜脂过氧化作用,最终延缓果实后熟衰老,延长其保鲜期。臭氧和精油处理的抗氧化作用与 1-MCP 有类似的反应机制,因此当它们复合使用时,具有协同效应,经试验发现,试验结果与以上分析一致。

3.2 结论

臭氧、肉桂精油、1-MCP 均对果实细胞抗氧化还原水平有重要的影响。果实分别经臭氧+1-MCP、精油+1-MCP 处理后置于低温下贮藏,果肉的抗氧化活性明显得到保持,且优于单一保鲜,以上两种复合处理方式在应用于猕猴桃采后保鲜方面具有一定的先进性,但两者之间差异不显著,基于成本及操作性综合考虑,首选精油与 1-MCP 复合作为最佳处理方式。

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.
- [2] DU G R, LI M J, MA F W, et al. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in Actinidia fruits [J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 557 - 562.
- [3] 郭润姿, 白阳, 郭文岚, 等. 减压贮藏对番茄果实抗氧化物质和抗氧化酶的影响[J]. 食品工业科技, 2013(8): 338 - 341.
- [4] ZHU Z, ZHANG Z Q, QIN G Z, et al. Effects of brassinosteroids on postharvest disease and senescence of jujube fruit in storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 56(1): 50 - 55.
- [5] ABLE A J, WONG L S, PRASAD A. 1-MCP is more effective on a floral brassica (*Brassica oleracea* var. *italica* L.) than a leafy brassica (*Brassica rapa* var. *Chinensis*) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 26(2): 147 - 155.
- [6] FOYER C H, NOCTOR G. Oxidant and antioxidant signaling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context [J]. Plant, Cell and Environment, 2005, 28(8): 1 056 - 1 071.
- [7] 千春录, 陶蓓佩, 陈方霞, 等. 1-MCP 对猕猴桃果实品质和细胞氧化还原水平的影响 [J]. 保鲜与加工, 2012(2): 9 - 13.
- [8] 唐燕, 杜光源, 马书尚, 等. 1-MCP 对室温贮藏下不同成熟度猕猴桃的生理效应 [J]. 西北植物学报, 2010, 30(3): 564 - 568.
- [9] 曹彬彬, 董明, 赵晓佳, 等. 不同浓度臭氧对皖翠猕猴桃冷藏过程中品质和生理的影响 [J]. 保鲜与加工, 2012, 12(2): 5 - 8, 13.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] SREEJITH R, VIVEKANANDAN P, Neha C. In vitro evaluation of antioxidant defense mechanism and hemocompatibility of mauran [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 98(1): 108 - 115.
- [13] 阎瑞香, 王仁才, 李丽秀. 亚精胺处理对猕猴桃呼吸强度及 PG 活性的影响 [J]. 食品科技, 2004(1): 83 - 85.

- [14] 郑京平. 水果、蔬菜中维生素 C 含量的测定-紫外分光光度快速测定方法探讨[J]. 光谱实验室, 2006, 23(4): 731-735.
- [15] DEWANTO V, WU X, ADOM K K, et al. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity [J]. Journal of Agriculture Food Chemistry, 2002, 50(10): 3 010-3 014.
- [16] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003: 146.
- [17] 王晶英, 等. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2003: 200.
- [18] 萧浪涛, 王三根. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 262.
- [19] 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.
- [20] 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): 1 365-1 371.
- [21] 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.
- [22] 顾海峰, 李春美, 徐玉娟, 等. 柿子单宁的制备及其抗氧化活性研究[J]. 农业工程学报, 2007(5): 241-245.
- [23] BRAND-WILLIAMS W, CUVELIER M E, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity [J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(1): 25-30.
- [24] 王毅, 陈蓁坤, 朱勋路, 等. 不同热激处理对菊花抗氧化相关酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2010(9): 98-101.
- [25] 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.
- [26] LIN De-rong, HU Li-jiang, YOU Hong, et al. 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.
- [27] 冯武. 植物精油对果蔬采后病害的防治及其防治机理的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [28] JIANG S H, WANG C L, CHEN Z Q, et al. Antioxidant properties of the extract and subfractions from old leaves of *Toona sinensis*, Roem (Meliaceae) [J]. Journal of Food Biochemistry, 2009, 33(3): 425-441.
- [29] KURITA N, MIYAJI M, KURANE R, et al. Antifungal activity and molecular orbital energies of aldehyde compounds from oils of higher plants [J]. Journal of Agriculture Food Chemistry, 1979, 43(11): 2 365-2 371.
- [30] 赵丹, 孙畅, 陈光. 肉桂精油的抑菌作用[J]. 吉林农业大学学报, 2013, 35(4): 402-405.
- [31] 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(3): 493-497.
- [32] 金春燕, 孙锦, 郭世荣. 外源亚精胺对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下黄瓜幼苗生长和活性氧代谢的影响[J]. 西北植物学报, 2010(8): 1 627-1 633.
- [33] 耶兴元, 张燕. 精胺对高温胁迫下猕猴桃叶中抗氧化物质的影响[J]. 湖北农业科学, 2013(9): 2 090-2 093.

Influence of different preservations on antioxidation in 'Red Sun' kiwifruit

HE Jing-liu^{1, 2}, DUAN Yu¹, DU Xiao-qin¹, LIU Ji³, LI Yu¹, LI Jie¹,
ZHANG Qing¹, LI Su-qing¹, DONG Yun², QIN Wen^{1*}

1(College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

2(Yaan Polytechnic College, Ya'an 625000, China)

3(Agriculture Products Research Institute, Chengdu Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Chengdu 611130, China)

ABSTRACT The influence of different preservations on reactive oxygen substances in 'Red Sun' kiwifruit analyzed by principal component. The results showed that the reduction of vitamin C (V_C) and anthocyanins were obviously inhibited by the two different kinds of compound preservations. Meanwhile, the peak value of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) and the total antioxidant capacities, superoxide anion radical ($\text{O}_2^{\cdot-}$), hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$) and DPPH \cdot scavenging activity were delayed. The reduction of related activities was suppressed. Principal component analysis (PCA) showed that the fruit stored on 20 d and 120 d could be effectively distinguished by component 1 and component 2. At the same time, the good antioxidant activity would be maintained by those two compound preservations during storage. There is no significant difference between the two. Based on the comprehensive consideration on the cost and feasibility, essential oil and 1-MCP combination is the best way.

Key words 'Red Sun' kiwifruit; compound preservation; reactive oxygen species; principal component analysis