

无硫复合护色液对“红富士”苹果片干制过程中相关酶活性的影响

李 新 明, 张 俊, 张 永 茂

(甘肃省农业科学院 农产品贮藏加工研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘 要:以红富士苹果片为试材,研究了无硫复合护色液对果片干制过程中相关酶活力的影响。结果表明:经无硫复合护色液浸泡处理后的果片,在各干制时间点,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)酶活力远高于非处理或单一护色液处理组,而多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)酶活力及丙二醛(MDA)水平远低于非处理或单一护色液处理组。这表明无硫复合护色液的护色效果是通过抑制 PPO、POD 活力的增加和 SOD、CAT 活力的下降,进而降低 MDA 水平来实现的。

关键词:“红富士”苹果;褐变;自由基;干制;酶活力

中图分类号:TS 255.42 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)02-0108-05

褐变一般可分为两大类,一类是在氧化酶催化下的多酚类物质的氧化变色,称为酶促褐变;另一类是如美拉德反应、焦糖化作用等产生的褐变,没有酶的参与,称为非酶褐变。而果蔬中的褐变,常以多酚氧化酶引起的酶促褐变反应最为明显。活性氧是高等植物在有氧代谢过程中产生的一类化学性质活泼、氧化能力极强的含氧物质的总称,包括超氧负离子自由基(O_2^-)和过氧化氢(H_2O_2)等^[1-3]。在逆境条件下,活性氧在植物体内积累,若不能及时被清除,可通过影响酶活性、蛋白质的合成、RNA 的结构变化,启动膜脂过氧化,对细胞产生伤害,加速植物衰老。活性氧的酶促清除系统在植物体内起着至关重要的作用,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)是膜保护系统的 3 种重要酶,在果蔬干制过程中,这些酶的活性变化与果肉褐变有着紧密的联系^[4-7]。多酚氧化酶(POD)是一类比较复杂的酶,其作用具有双重性。一方面,人们把 POD 归在自由基清除酶一类,认为它具有延缓衰老的作用^[8]。但也有人认为它参与叶绿素的降解、活性氧的产生,并引发膜脂过氧化。在果蔬加工过程中,它与果肉中的多酚类反应,加速酚类物质的氧化,造成褐变。

“红富士”苹果在甘肃省大面积推广种植,是当地农民致富的一项重要来源。与其它果蔬一样,“红富士”苹果加工过程中,常发生褐变现象,严重影响了苹果加工

产品的质量,造成产品的市场价格大幅下降。现以“红富士”苹果片为试材,研究了无硫复合护色液处理对苹果片干制过程中各种酶活力的影响,以期探讨无硫复合护色液的护色机理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以甘肃产的“红富士”苹果为试材,所有的试剂均为分析纯(购自兰州科佰特化学试剂有限公司)。

1.2 试验方法

酶液提取:称取干制果片 4 g 置研钵中,加入 3 mL 4℃下预冷的 pH 7.0 磷酸缓冲液和少量石英砂研磨成匀浆后,转入 50 mL 容量瓶中,并用缓冲液冲洗研钵数次,合并冲洗液,并定容至刻度。混合均匀后将量瓶置 5℃冰箱中静置 10 min,取上清液在 4 000 r/min 下离心 15 min,上清液即为酶粗提液。5℃下保存备用。

1.3 项目测定

1.3.1 多酚氧化酶(PPO)活性的测定 取 0.2%的邻苯二酚溶液(用 0.2 mol/L、pH 7.4 磷酸缓冲液配制)5 mL 于具塞试管中,并在 25℃下保温 10 min,加入备测酶液 0.5 mL,混匀后倒入 1 cm 的比色皿中,在 415 nm 处测吸光值,酶液加入后开始计时,记录 1 min 时的 OD_{415} nm 值。空白用 5 mL 磷酸缓冲液代替邻苯二酚溶液。1 个相对酶活性单位(U)定义为:在上述测定条件下,1 min 内引起吸光度改变 0.001 单位所需酶量^[9]。

1.3.2 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定:用 50 mmol/L pH 7.8 磷酸缓冲液、13 mmol/L 蛋氨酸(Met)、175 mmol/L 氮蓝四唑(NBT)和 0.1 mmol/L EDTA 按

第一作者简介:李新明(1970-),男,博士,助理研究员,研究方向为农产品贮藏与加工。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(20962001/B020902)。

收稿日期:2012-09-10

4:1:2:1 配制反应体系溶液,在 4 mL 反应体系溶液中先加 200 μL 酶液,再加 50 μL 的核黄素(50 mmol/L),立即置于 4 000 lx 荧光灯下进行光还原反应,15 min 后用黑布遮光终止反应。与此同时,进行另外 1 组类似的平行处理(不加酶液),作为空白对照,并以 pH 7.8 磷酸缓冲液调零,在 560 nm 波长下比色,测定 OD 值^[10]。

1.3.3 丙二醛(MDA)含量的测定 MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法。取上清液 2.0 mL,加入 10%二氯乙酸(含 0.6%TBA),充分混匀,盖上橡皮塞煮沸 15 min,迅速冷却,4 000 r/min 下离心 20 min,以 10%二氯乙酸(含 0.6%TBA)为参比,反应液分别在 450、532 和 600 nm 波长下比色,测定 OD 值。单位 $\mu\text{mol/g(FW)}$ 。

1.3.4 过氧化氢酶(CAT)活性的测定 取 10 mL 试管 3 支,其中 2 支为样品测定管,1 支为空白管,分别加入 0.2 mL 粗酶液、1.5 mL pH 7.8 磷酸缓冲液、1.0 mL 蒸馏水,25℃预热后,逐管加入 0.3 mL 0.1 mol/L 的 H_2O_2 ,每加完 1 管立即记时,并迅速倒入石英比色杯中,240 nm 下测定吸光度,每隔 1 min 读数 1 次,共测 4 min,结果以 1 min 内 A_{240} 减少 0.1 的酶量为 1 个酶活单位($\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FW}$)^[11]。

1.3.5 过氧化物酶(POD)活性的测定 在 3 mL 反应体系中,加入 0.3% H_2O_2 溶液 1.0 mL、0.2% 愈创木酚溶液 0.95 mL、0.05 M 磷酸缓冲液 0.85 mL,最后加入 0.2 mL 酶液启动反应,记录 470 nm 处 OD 增加速度。将 1 min 内 OD 增加 0.01 定义为 1 个活力单位^[12]。

2 结果与分析

2.1 不同护色剂对苹果干制过程中 SOD 酶活力的影响

SOD 酶是抗氧化酶体系中另一类酶,它催化细胞内超氧化物发生歧化反应生成 H_2O_2 和 O_2 ,从而保护植物细胞内免受氧化伤害^[13-14]。大量的研究表明,SOD 活力的下降会加速果蔬贮藏加工过程中的褐变。由图 1 可知,不同组之间干制苹果片中 SOD 活性存在相同的变化趋势,且不同处理间差异显著,在干制 2 h 后,非处理组(CK)的 SOD 活性最低,各处理组的酶活性均高于非处理组,其中以复合配方护色液处理组酶活性最高,异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组次之,氯化钙和 EDTA-2Na 处理组较差。随着干制时间的延长,各组 SOD 活性均下降,干制时间在 0~10 h 间,SOD 活性下降最急剧,之后酶活性下降趋于稳定。从各组酶活性变化趋势来看,复合配方护色液处理组各组酶活性下降趋势最缓,在干制 10 h 后,酶活性基本趋于稳定,且在干制 16 h 后仍能保持较高的酶活性。异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组 SOD 活性干制时间 0~10 h 后,其 SOD 活性分别由 31.5、30.8、29.0 下降到 18.7、14.1、15.9。在干制 16 h

后,酶活性分别为 17.4、13.2、15.2。另外氯化钙和 EDTA-2Na 处理组的酶活性在干制 16 h 后,酶活性分别为 11.2、9.6。从各组干制苹果片成品的 SOD 酶活性的变化趋势和最终结果可以看出,复合配方护色液处理组的 SOD 酶活性最高,异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组次之,氯化钙和 EDTA-2Na 处理组较差。对比分析表明,各处理组干制苹果片成品的 SOD 酶活性均显著高于非处理对照组。从酶活性下降趋势来看,苹果片在干制 8 或 10 h 时,酶活性趋于稳定,这可能是果片中的水分已被大量蒸发,果肉中可溶性固形物浓度增加,蛋白酶在急剧脱水后,酶活力对外界因素影响钝化,再加上护色液的处理等综合效果,结果酶活力不再变化。

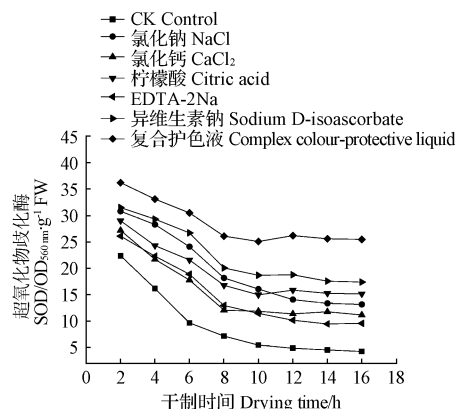


图 1 苹果片干制过程中 SOD 酶活力的变化

Fig. 1 Varying SOD activity in apple slice during drying

2.2 不同护色剂对苹果干制过程中 CAT 酶活力的影响

O_2^- 在线粒体 SOD 催化下歧化为 H_2O_2 , H_2O_2 在 CAT 作用下形成水^[15]。有人认为 SOD 和 CAT 活性的不协调导致了 H_2O_2 积累^[16]。果肉组织中高浓度的 H_2O_2 主要靠 CAT 来清除,从而使 H_2O_2 控制在较低水平;而低浓度的 H_2O_2 通过 POD 在氧化相应基质(如酚类化合物)时被消化。由图 2 可知,不同组之间干制苹果片中 CAT 活性存在着显著的差异和相同的变化趋势,在干制 2 h 后,非处理组的 CAT 活性最低,各处理组的酶活性均高于非处理组,其中以复合配方护色液处理组酶活性最高,异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组次之,氯化钙和 EDTA-2Na 处理组较差。随着干制时间的延长,各组 CAT 活性均下降,在干制 0~10 h, CAT 活性下降最急剧,之后酶活性下降趋于稳定。从各组酶活性变化趋势来看,复合配方护色液处理组各组酶活性下降趋势最缓,在干制 10 h 后,酶活性基本趋于稳定,且在干制 16 h 后仍能保持较高的酶活性。异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组 CAT 活性在干制 0~10 h 后,其 CAT 酶活力分别由 37.1、33.1、32.1 $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 下降到 19.8、16.2、15.7 $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。在干制 16 h 后,酶

活性分别为 17.1、14.9、14.2 $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。另外氯化钙和 EDTA-2Na 处理组的酶活性在干制 16 h 后,酶活性分别为 11.2、9.6 $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。从各组干制苹果片成品的 CAT 酶活性的变化趋势和最终结果可以看出,复合配方护色液处理组酶活性最高,异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组次之,氯化钙和 EDTA-2Na 处理组较差。对比分析表明,各处理组干制苹果片成品的 CAT 酶活性均显著高于非处理对照组。从酶活性下降趋势来看,苹果片在干制 8 或 10 h 时,酶活性趋于稳定,这可能是果片中的水分已被大量蒸发,果肉中可溶性固形物含量增加,蛋白酶在急剧脱水后,酶活力对外界因素影响钝化,再加上护色液的处理等综合效果,结果酶活力不再变化。

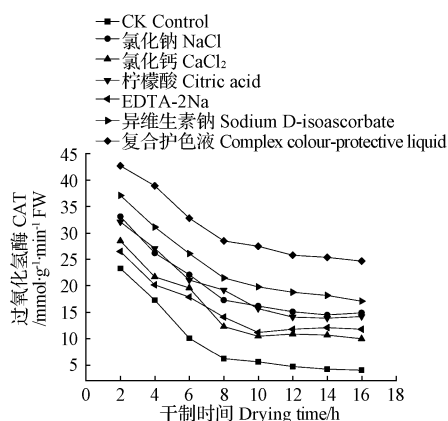


图2 苹果片干制过程中 CAT 酶活力的变化

Fig. 2 Varying CAT activity in apple slice during drying

2.3 不同护色剂对苹果干制过程中 PPO 酶活力的影响

多酚氧化酶(PPO)是一种含铜的酶,关于该酶的抑制剂有 2 种类型:1 种是与酶中铜起作用抑制酶活性;另 1 种是通过影响底物(如酚类化合物)与酶活性中心结合部位的作用而抑制酶的活性^[17]。多酚氧化酶是含铜蛋白质,柠檬酸是一种有机酸,它既有还原性又是螯合剂,一方面能与底物的氧化产物邻苯二醌反应生成邻苯二酚,阻止了邻苯醌进一步氧化、聚合成黑色素;另一方面,多酚氧化酶的催化活性中心为铜离子,Ding 等^[18]认为氧是通过与铜离子形成桥式键合在酶上。该试验主要对不同护色剂(氯化钠、氯化钙、柠檬酸、EDTA-2Na、异抗坏血酸钠、复合护色溶液)的苹果片干制成品中的 PPO 活性进行测定,研究其对多酚氧化酶的抑制作用。

由图 3 可知,不同组之间干制苹果片中 PPO 活力存在着显著差异和相同的变化趋势,在干制 2 h 后,非处理组的 PPO 活力最高,各处理组的 PPO 活力均低于非处理组,其中以复合配方护色液处理组 PPO 活力最低,异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组次之,氯化钙和 EDTA-2Na 处理组较差。随着干制时间的延长,各组 PPO 活力均上

升,干制时间在 0~10 h 间,PPO 活力上升最急剧,之后上升变缓。从各组 PPO 活力变化趋势来看,复合配方护色液处理组 PPO 活力上升趋势最缓,在干制 8 h 后,PPO 活力开始下降,在干制 16 h 后,PPO 活力最低。异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组 PPO 活力干制时间在 0~10 h 分别由 28.3、30.1、45.9 U/g 上升到 147.3、169.8、180.5 U/g。在干制 10~16 h 间,PPO 活力分别为 78.6、145.8、116.3 U/g。另外氯化钙和 EDTA-2Na 处理组的 PPO 活力从干制 0~10 h 分别由 53.6、49.8 U/g 上升到 277.5、280.4 U/g,之后 PPO 活力开始下降,在干制 16 h 后,PPO 活力分别为 197.5、198.8 U/g。从各组干制苹果片成品的 PPO 活力的变化趋势和最终结果可以看出,复合配方护色液处理组 PPO 活力最低,异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组次之,氯化钙和 EDTA-2Na 处理组较差。对比分析表明,各处理组干制苹果片成品的 PPO 活力均显著低于非处理对照组。从 PPO 活力升降趋势来看,苹果片在干制 8 或 10 h 时,PPO 活力趋于最大,接着 PPO 活力开始下降,这可能是果片中的水分已被大量蒸发,蛋白酶在急剧脱水后,酶活力钝化,结果酶活力开始下降。

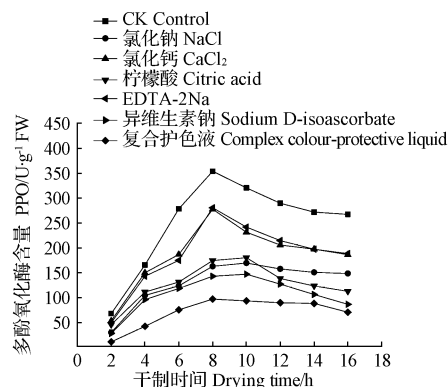


图3 苹果片干制过程中 PPO 酶活力的变化

Fig. 3 Varying PPO activity in apple slice during drying

2.4 不同护色剂对苹果干制过程中 POD 酶活力的影响

POD 是与果实衰老有关的酶,其活性可以间接说明膜脂过氧化水平高低,酶活性上升为细胞内过氧化作用增强提供了间接证据^[19]。细胞内的酶促褐变常常与过氧化作用的增强相关联。POD 能氧化氢供体,尤其是多酚类物质。关于 POD 导致的果蔬酶促褐变已有大量的报道^[20]。由图 4 可知,不同组之间干制苹果片中 POD 活性存在着显著的差异和相同的变化趋势,在干制 2 h 后,非处理组的 POD 活性最高,各处理组的酶活性均低于非处理组,其中以复合配方护色液处理组酶活性最低,异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组次之,氯化钙和 EDTA-2Na 处理组较差。随着干制时间的延长,各组 POD 活性均上

升,在干制时间 0~10 h 间,POD 活性上升最急剧,之后酶活性上升变缓。从各组酶活性变化趋势来看,复合配方护色液处理组各组酶活性上升趋势最缓,在干制 10 h 后,酶活性基本趋于稳定,且在干制 16 h 后仍能保持较低的酶活性。异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组 POD 活性在干制 0~10 h 时分别由 0.21、0.29、0.31 U/g 上升到 0.88、1.08、1.11 U/g。在干制 16 h 后,酶活性分别为 0.70、0.91、0.97 U/g。另外氯化钙和 EDTA-2Na 处理组的酶活性在干制 16 h 后,酶活性分别为 1.2、1.25 U/g。从各组干制苹果片成品的 POD 酶活性的变化趋势和最终结果可知,复合配方护色液处理组酶活性最低,异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组次之,氯化钙和 EDTA-2Na 处理组较差。对比分析表明,各处理组干制苹果片成品的 POD 酶活性均显著低于非处理对照组。从酶活性下降趋势来看,苹果片在干制 8 或 10 h 时,酶活性趋于稳定,这可能是果片中的水分已被大量蒸发,果肉中可溶性固形物浓度增加,蛋白酶在急剧脱水后,酶活力对外界因素影响钝化,另外又加上护色液的处理等综合效果,结果酶活力不再变化。

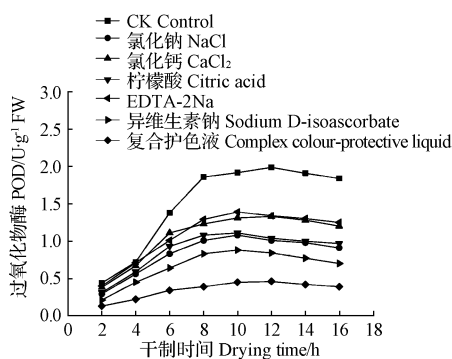


图 4 苹果片干制过程中 POD 酶活力的变化

Fig. 4 Varying POD activity in apple slice during drying

2.5 不同护色剂对苹果干制过程中 MDA 酶活力的影响

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化作用的主要产物,它的积累能对膜和细胞造成进一步的伤害。活性氧会造成细胞膜脂的氧化,MDA 的蓄积与细胞内的活性氧含量成正比,它也间接反应了果肉褐变的程度^[21-22]。由图 5 可知,不同处理组间 MDA 水平存在着显著差异和相同的变化趋势,在干制 2 h 后,非处理组的 MDA 水平最高,各处理组的 MDA 水平均低于非处理组,其中以复合配方护色液处理组 MDA 水平最低,异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组次之,氯化钙和 EDTA-2Na 处理组较差。随着干制时间的延长,各组 MDA 水平均上升,干制 0~10 h 间,MDA 水平上升最急剧,之后上升平缓。从各组 MDA 水平变化趋势来看,复合配方护色液处理组 MDA 水平上升趋势最缓,在干制 10 h 后,MDA 水平开

始下降,在干制 16 h 后,MDA 水平最低。异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组干制 0~10 h 间 MDA 水平分别由 0.46、0.54、0.52 mmol/g 上升到 1.22、1.32、1.38 mmol/g。干制 10~16 h,MDA 水平分别为 0.88、1.04、1.07 mmol/g。另外氯化钙和 EDTA-2Na 处理组从干制 10 h 后 MDA 水平分别由 0.65、0.68 mmol/g 上升到 1.58、1.74 mmol/g,之后 MDA 水平开始下降,在干制 16 h 后,MDA 水平分别为 1.4、1.49 mmol/g。从各组干制苹果片成品的 MDA 水平的变化趋势和最终结果可知,复合配方护色液处理组 MDA 水平最低,异维生素钠、氯化钠、柠檬酸处理组次之,氯化钙和 EDTA-2Na 处理组较差。对比分析表明,各处理组干制苹果片成品的 MDA 水平均显著低于非处理对照组。从 MDA 水平升降趋势来看,苹果片在干制 8 或 10 h 时,MDA 水平趋于最大,接着 MDA 水平开始下降,这可能是果片中的水分已被大量蒸发,蛋白在急剧脱水后变性,可溶性固形物浓度增加及护色液的处理等综合效果,结果 MDA 水平开始下降。

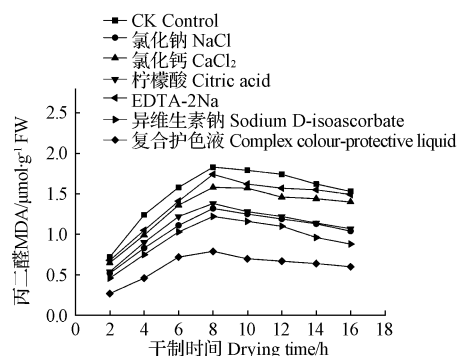


图 5 苹果片干制过程中 MDA 水平的变化

Fig. 5 Varying MDA level in apple slice during drying

3 结论

该试验结果表明,在干制过程中,经无硫复合护色液浸泡处理的苹果片,其 SOD、CAT 活力远高于其它各组,而 PPO、POD 活力和 MDA 水平远低于其它各组,这表明,该试验室研制的无硫复合护色液对干制苹果片的护色效果是通过有效抑止果片中的 SOD、CAT 酶活力的降低和抑制 PPO、POD 及 MDA 水平的上升来实现的。

参考文献

- [1] Mchugh T H, Senesi E. Apple Wraps: Anovel Methods to Improve the Quality and Extend the Shelf Life of Fresh-cut Apples[J]. Food Sci, 2000, 65 (3): 480-485.
- [2] 黄雪松. 国外鲜切产品生产工艺概况[J]. 现代食品科技, 2005, 22 (1): 147-159.
- [3] Rocha A M C N, Morais A M M B. Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by color changes[J]. Food Control, 2003 (14): 13-20.

- [4] Montero-Prado P, Rodríguez-Lafuente A, Nerin C. Active label-based packaging to extend the shelf-life of "Calanda" peach fruit; Changes in fruit quality and enzymatic activity[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 60(3):211-219.
- [5] Cao S F, Zheng Y H, Yang Z F, et al. Effect of methyl jasmonate on the inhibition of *Colletotrichum acutatum* infection in loquat fruit and the possible mechanisms[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(2):301-307.
- [6] WANG Y S, TIAN S P. Interaction Between *Cryptococcus laurentii*, *Monilinia fructicola*, and Sweet Cherry Fruit at Different Temperatures[J]. Agricultural Sciences in China, 2008, 7(1):48-57.
- [7] Yi C, Jiang Y M, Shi J, et al. ATP-regulation of antioxidant properties and phenolics in litchi fruit during browning and pathogen infection process[J]. Food Chemistry, 2010, 118(1):42-47.
- [8] Xu X B, Qin G Z, Tian S P. Effect of microbial biocontrol agents on alleviating oxidative damage of peach fruit subjected to fungal pathogen[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 126(1-2):153-158.
- [9] Ayaz F A, Demir O, Torun H, et al. Characterization of polyphenoloxidase (PPO) and total phenolic contents in medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit during ripening and over ripening[J]. Food Chemistry, 2008, 106(1):291-298.
- [10] Ahn T, Paliyath G, Dennis P. Antioxidant enzyme activities in apple varieties and resistance to superficial scald development[J]. Food Research International, 2007, 40(8):1012-1019.
- [11] Lu X G, Liu X H, Li S F, et al. Possible mechanisms of warming effects for amelioration of superficial scald development on 'Fuji' apples[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 62(1):43-49.
- [12] Ballester A R, Lafuente M T, González-Candelas L. Spatial study of antioxidant enzymes, peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase in the citrus fruit-Penicillium digitatum interaction[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 39(2):115-124.
- [13] Rojas-Beltrán J A, Dejaeghere F, Abd Alla Kotb M, et al. Expression and activity of antioxidant enzymes during potato tuber dormancy[J]. Potato Research, 2000, 43(4):383-393.
- [14] Mondal K, Malhotra S P, Jain V, et al. Oxidative stress and antioxidant systems in Guava (*Psidium guajava* L.) fruits during ripening[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2009, 15(4):327-334.
- [15] Vatankhah E, Niknam V, Ebrahimzadeh H. Activity of antioxidant enzyme during *in vitro* organogenesis in *Crocus sativus* [J]. Biologia Plantarum, 2010, 54(3):509-514.
- [16] Chen L S, Li P M, Cheng L L. Effects of high temperature coupled with high light on the balance between photooxidation and photoprotection in the sun-exposed peel of apple[J]. Planta, 2008, 228(5):745-756.
- [17] Vatankhah E, Niknam V, Ebrahimzadeh H. Activity of antioxidant enzyme during *in vitro* organogenesis in *Crocus sativus* [J]. Biologia Plantarum, 2010, 54(3):509-514.
- [18] Ding Z S, Tian S P, Meng X H, et al. Hydrogen peroxide is correlated with browning in peach fruit stored at low temperature[J]. Frontiers of Chemical Engineering in China, 2009, 3(4):363-374.
- [19] Tomás-Barberán F A, Espin J C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(9):853-876.
- [20] Nicoli M C, Elizalde B E, Pitotti A, et al. Effect of sugars and maillard and reaction production on polyphenoloxidase and peroxidase activity in food[J]. Journal of Food Biochemistry, 1991, 15(3):169-184.
- [21] Larrigaudière C, Ubach D, Soria Y, et al. Oxidative behaviour of fresh-cut 'Fuji' apples treated with stabilising substances[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88(10):1770-1776.
- [22] Li X H, Li W L, Jiang Y H, et al. Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut 'Fuji' apple[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 46(9):1947-1955.

Effect of the Color-protection Liquid on Browning-related Enzymes Activities in 'Red Fuji' Apple Slices During Drying Process

LI Xin-ming, ZHANG Jun, ZHANG Yong-mao

(Agricultural Product Storage and Processing Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract: Taking 'Red Fuji' apple slices as materials, the effect of the color-protection liquid on browning-related enzymes activities in 'Red Fuji' apple slices during drying process were studied. The results showed that SOD and CAT activities in apple slices treated with complex color-protection liquid was far higher than treated with single color-protection reagent or untreated with any reagents. PPO, POD activities and MDA level were lower than those in ones treated with single color-protection reagent or untreated with any reagents. It could be concluded that the complex color-protection liquid prevented apple slices browning by inhibiting PPO, POD activities and stimulating SOD, CAT activities, further decreasing MDA level.

Key words: 'Red Fuji' apple; browning; free radical; drying; enzymes activity