

响应面法优选果坯复配低硫护色保藏剂

王菲¹, 黄月², 黄苇^{2,*}

(1.广州市轻工职业学校, 广东广州 510640;

2.华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

摘要:为了解决果坯保藏期间硫用量过高, 容易导致产品中残硫超标的问题, 本文采用响应面优化法研究了抗坏血酸(又称维生素 C, 简称 V_C)、L-半胱氨酸(L-Cys)、焦亚硫酸钠(简称焦亚, 分子式 Na₂S₂O₅)、柠檬酸(citric acid, 简称 CA)、柠檬酸亚锡二钠(DSC)和乙二胺四乙酸二钠(EDTA-2Na)及其优选因素的复配保藏液对苹果果坯褐变的抑制效果, 并在李子果坯中验证。结果表明:各护色剂都能不同程度地抑制褐变, L-Cys、Na₂S₂O₅、V_C对褐变的抑制效果最佳;L-Cys与Na₂S₂O₅间交互作用明显, 存在护色增效作用, Na₂S₂O₅ 5.00 g/L, V_C 2.55 g/L和L-Cys 0.40 g/L复配保藏液的护色效果与果坯生产常用量 Na₂S₂O₅ 20.00 g/L的护色效果相当, 显著减少了 Na₂S₂O₅的用量, 降低了成品中残硫超标的风险。

关键词:凉果, 褐变, 低硫

Application of response surface methodology for optimization of preservable fruit with low sulfur

WANG Fei¹, HUANG Yue², HUANG Wei^{2,*}

(1.Guangzhou Industry Technical School, Guangzhou 510640, China;

2.College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to decrease the residue content of sulfite of preservable fruit, the color preservation technology of apple were investigated by response surface methodology and verified in plum billet. The effect of V_C, L-Cys, Na₂S₂O₅, CA, DSC, EDTA-2Na were researched. The best compound fixative was determined as follows: Na₂S₂O₅ 5.00 g/L, V_C 2.55 g/L and L-Cys 0.40 g/L. The effect of this compound fixative was equal than sulfur-containing (Na₂S₂O₅ 20.00 g/L). This study provided the theoretical basis and technical support for further development of low sulfur preservable fruit.

Key words: the preserved fruit; browning; low sulfur usage

中图分类号: TS255.36

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2016)16-0308-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2016.16.052

凉果蜜饯是我国传统特色风味食品之一, 在食品市场中占有重要地位。为保证凉果周年生产, 需要对鲜果原料进行盐渍、护色等预处理加工成果坯, 以果坯半成品的形式保藏起来, 留待后续成品加工使用。果坯的保藏目前普遍采用硫藏方法, 该方法成本低廉, 且具有防腐能力强、漂白、防褐变的作用, 而国家标准仅对成品而未对半成品果坯中二氧化硫残留进行限制。由此带来的问题是: 为确保保藏效果, 果坯生产中往往加入过量的亚硫酸盐, 制作成品前若脱硫不足, 会导致成品中的二氧化硫残留超标^[1]。

凉果蜜饯中二氧化硫残留量超标是当前困扰凉果生产的关键问题之一。果坯的低硫保藏是解决该问题的重要途径。目前对鲜切果蔬^[2-6]及果酒^[7-9]的

低硫保藏已有研究, 例如李冬梅研究了不同褐变抑制剂的鲜切苹果在 4℃贮藏 12 d 期间褐变的影响^[2], 卢影以苹果、梨子为试材通过研究不同护色保藏剂对鲜切果片的保鲜效果并得到了一种低硫复合护色保藏液结合壳聚糖涂膜处理的新型鲜切果蔬保鲜技术^[4], Lee C 研究了气调包转技术与不同护色剂对加工土豆的护色效果^[5], 石启龙研究了低温气流膨化技术生产脱水苹果的无硫技术^[6], 郭安鹊^[7]、Fulcrand^[8]等研究了葡萄酒的褐变机理并通过复配 EDTA 降低了硫的用量。但是果坯的相关研究还鲜见报道^[10]。因此, 果坯的低硫保藏研究具有重要意义。

本文主要通过研究抗坏血酸(又称维生素 C, 简称 V_C)、L-半胱氨酸(L-Cys)、柠檬酸(citric acid, 简称 CA)、柠檬酸亚锡二钠(DSC)、乙二胺四乙酸二钠

收稿日期: 2015-11-30

作者简介: 王菲(1986-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 食品加工、包装与保藏, E-mail: 123856902@qq.com。

* 通讯作者: 黄苇(1967-), 女, 教授, 研究方向: 食品加工、包装与保藏, E-mail: weih007@scau.edu.cn。

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAD31B03)。

(EDTA-2Na)、焦亚硫酸钠(简称焦亚,分子式 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)护色效果,筛选出护色效果较好的几种因素进行响应面复配实验,然后将优选出的复配保藏液进行应用验证。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

红富士苹果 市售,产地陕西;山华李 市售,产地广东韶关; V_c 、L-Cys、CA、DSC、EDTA-2Na、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 均为分析纯级,食盐为食用级。

CR-410 彩色色差仪 日本柯尼卡美能达;LRH-250 型生化培养箱 广东省医疗器械厂;DS-1 高速组织捣碎机 上海标本模型厂。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 为了加速实验并消除样品间的个体差异,采用果坏进行打浆处理来进行保藏液的优选研究:苹果去皮、去核后切成约 2 mm 的薄片,经 2% 氯化钙硬化 12 h 后沥干水,然后以质量比计,按照果块:保藏液:食盐 = 1.0:1.0:0.5 比例混匀腌制果坏,24 h 后 10000 r/min 高速匀浆 1 min,分装密封,定期取样测定果坏浆的 L 值并计算褐变率,以筛选配方。

1.2.2 实验设计 考虑到原材料的季节性和个体差异性,本文的单因素实验和响应面实验采用苹果果坏匀浆的方法进行研究;考虑到实验验证周期和生产的需要,本文验证实验采取 50 °C 加速破坏实验,同时选用了苹果果坏和凉果常用原料李子果坏进行验证。

1.2.2.1 单因素实验设计 分别配制浓度为 0.00 g/L (空白对照,CK)、0.50、1.00、3.00、5.00、10.00 g/L 的 V_c 、L-Cys、CA、DSC、EDTA-2Na、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 保藏液,按照 1.2.1 的方法进行样品处理,定期测定 L 值并计算褐变率。

1.2.2.2 响应面实验设计 在单因素实验基础上,选择护色效果较优的 V_c 、L-Cys、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 三种保藏剂为响应变量,以 L 值为响应值,做三因素三水平的响应面实验设计。

表 1 响应面实验因素水平表

Table 1 Factors and levels table of response snrface methodology

水平	因素		
	X_1 : V_c (g/L)	X_2 :L-Cys(g/L)	X_3 : $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (g/L)
-1	1.00	0.20	1.00
0	3.00	0.40	3.00
1	5.00	0.60	5.00

1.2.3 测定指标

1.2.3.1 L 值的测定 采用 CR-410 彩色色差计测定 L 值:称取 30.00 g 混合均匀的果坏浆,置于 50 mm × 30 mm 的固定称量皿中,取固定白板作为底色,以白板调零,测定 L 值,重复测量 3 次,取平均值。

1.2.3.2 褐变率的测定

$$\text{褐变率}(\%) = \frac{(L_0 - L_t)}{L_0} \times 100$$

式中, L_0 表示果坏浆 L 值的初始值, L_t 表示第 t 天果坏浆的 L 值。

1.2.4 数据处理 采用 Excel 2007 软件进行标准差分析。利用 Box-Behnken 中心组合实验设计和响应面分析法,借用 Design Expert8.0.4 软件进行响应面数据处理。

2 结果与分析

2.1 单一保藏剂对果坏浆褐变率的影响

2.1.1 V_c 对果坏浆褐变率的影响 V_c 不仅可以降低 pH,还能螯合 Cu^{2+} ,在果蔬护色方面的效果显著^[11-12]。 V_c 对果坏浆褐变率影响的结果见图 1。

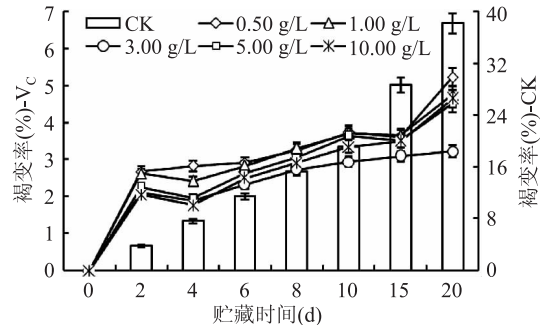


图 1 不同浓度 V_c 处理对果坏浆褐变率的影响

Fig.1 Effect of different concentration of V_c on browning rate of fruit slurry

由图 1 可知,在 CK 处理和各浓度 V_c 处理下,果坏浆褐变率均随贮藏时间的延长而增大。贮藏 20 d 后,各浓度 V_c 处理下的果坏浆褐变率都低于 7%,而 CK 处理下的褐变率却增大至 38%,说明 V_c 能有效减缓褐变反应的发生。3.00 g/L 的抗褐变效果优于其它浓度, V_c 浓度过高或过低均不利于护色。这可能是由于 V_c 自身分解导致非酶促褐变造成的^[13]。

2.1.2 L-Cys 对果坏浆褐变率的影响 L-Cys 不仅能与酚类物质结合成无色物质,还能螯合 Cu^{2+} 、替代 PPO 活性位点的组氨酸残基,阻止酚类物质的聚合,是效果非常理想的护色剂^[14-15]。L-Cys 对果坏浆褐变率的影响见图 2。

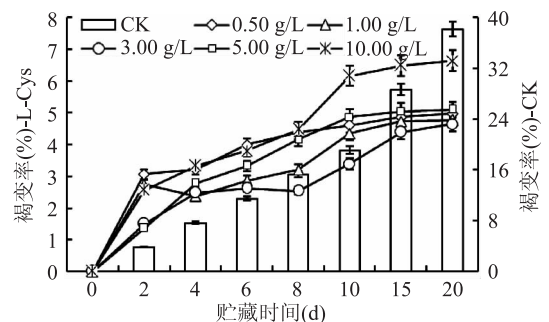


图 2 不同浓度 L-Cys 处理对果坏浆褐变率的影响

Fig.2 Effect of different concentration of L-Cys on browning rate of fruit slurry

由图 2 可知,各浓度 L-Cys 处理及对照果坏浆的褐变率均随贮藏时间的延长而增大。贮藏 20 d 后,各浓度 L-Cys 处理下的果坏浆褐变率均低于 7%,而 CK 处理下的褐变率增大到 38%,表明其能有

效减缓褐变反应发生。0.50~5.00 g/L 处理间对褐变的抑制效果差异不显著,高浓度 10.00 g/L 护色能力反而下降。这可能是由于过量的 L-Cys 导致了缓慢的美拉德反应所致。

2.1.3 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 对果坏浆褐变率的影响 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 溶液处理果蔬能起到很好的护色效果^[6],但若果坏中过量使用(常用量为 20 g/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$,即 1 L 水溶解 20 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 加入 1000 g 果),漂洗不充分,会导致二氧化硫残留超标的问题。本实验选用较低浓度梯度进行实验,结果见图 3。

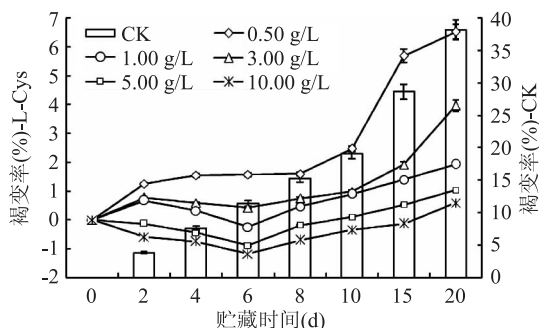


图3 不同浓度 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 处理对果坏浆褐变率的影响

Fig.3 Effect of different concentration of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ on browning rate of fruit slurry

用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 处理后的果坏浆褐变率随贮藏时间的延长呈先下降后上升的趋势,20 d 后褐变率均低于 CK 处理下的果坏浆褐变率,说明 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 具有漂白和良好的抑制褐变作用。 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 对果坏浆褐变的抑制能力随其浓度的加大而增强。

2.1.4 DSC 对果坏浆褐变率的影响 DSC 是一种毒性较低的新型护色剂,其护色原因是对 PPO 产生了抑制作用,机理可能是因为 DSC 螯合了酶中的 Cu^{2+} ,从而导致其活性丧失^[15-16]。如图 4 所示,各浓度的 DSC 处理对果坏浆褐变均有抑制效果,但浓度间差异不显著。保藏 20 d 后,DSC 褐变率达 8% 左右,说明 DSC 能够抑制褐变,但效果较 L-Cys、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 、 V_c 差。

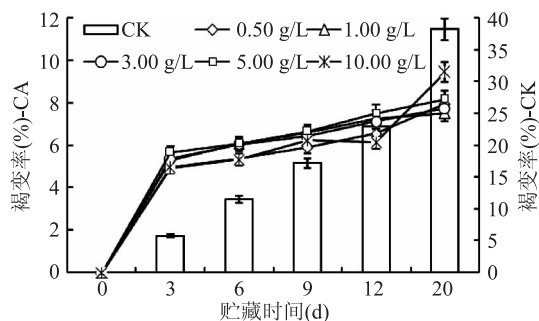


图4 不同浓度 DSC 处理对果坏浆褐变率的影响

Fig.4 Effect of different concentration of DSC on browning rate of fruit slurry

2.1.5 EDTA-2Na 对果坏浆褐变率的影响 EDTA-2Na 是金属离子螯合剂,能将金属离子螯合转变成不活泼的物质,从而起到抑制氧化和电子传递的作用。在抑制酶促褐变的过程中,EDTA-2Na 通过螯合 PPO 的活性部位的 Cu^{2+} 而抑制酶的活性^[15,17]。如图 5 所

示,EDTA-2Na 处理果坏浆对褐变均有抑制效果,各浓度间差异不显著。保藏 20 d 后,EDTA-2Na 处理后的褐变率达到 18% 左右,说明 EDTA-2Na 均能够抑制褐变,但抑制效果较 L-Cys、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 、 V_c 差。

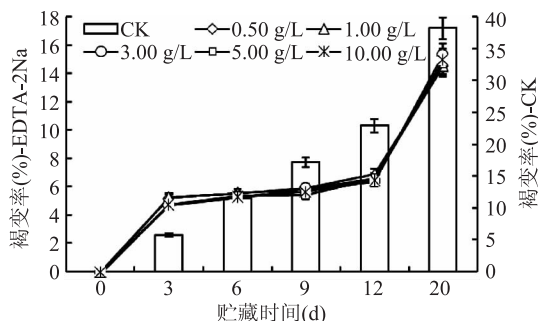


图5 不同浓度 EDTA-2Na 处理对果坏浆褐变率的影响

Fig.5 Effect of different concentration of EDTA-2Na on browning rate of fruit slurry

2.1.6 CA 对果坏浆褐变率的影响 CA 可以降低 pH,螯合 Cu^{2+} ,与抗坏血酸有协同护色效果^[12,15]。如图 6 所示,CA 处理前期有一定的护色效果,但 20 d 后,褐变率与对照差异不显著,长期护色效果不佳。

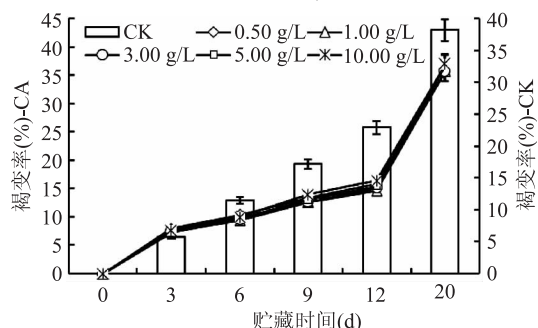


图6 不同浓度 CA 处理对果坏浆褐变率的影响

Fig.6 Effect of different concentration of citric acid on browning rate of fruit slurry

2.2 响应面法优化实验设计及配方的优选

2.2.1 响应面实验 在单因素实验基础上,本实验选取护色效果较优的保藏剂 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 、 V_c 、L-Cys 3 个因素,使用 Design-Expert 8.0.4 做三因素三水平共 17 个实验点(共 5 个中心点)的响应面分析实验,具体实验结果见表 2:

经回归拟合后,实验因子对响应值的影响可用回归方程表示为:

$$Y = 80.23 - 1.19X_1 + 0.74X_2 + 2.33X_3 - 0.85X_2X_3 - 1.56X_1X_2$$

从表 3 可知,方程的 F 值为 20.22, $F > F_{0.01}(9, 7) = 6.71$,说明用上述回归方程描述各因素与响应值之间的关系时,其因变量和全体自变量之间的线性关系显著,即这种实验方法是可靠的。从回归方程各项方差的进一步检验也可看出, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_2X_3 、 X_1^2 对结果影响显著 ($p < 0.05$),因此各具体实验因子对响应值的影响不是简单的线性关系。回归方程各项的方差分析结果还可以看出方程的失拟项很小 $p = 0.0742 > 0.05$,表明该方程对实验拟合情况好,实验误差小,因此可用该回归方程代替实验真实点对实

表2 响应面法优化实验方案及结果

Table 2 The scheme and results by response surface method

实验号	X ₁	X ₂	X ₃	Y:L 值
1	-1	-1	0	79.8000 ± 0.69761
2	-1	1	0	80.3133 ± 0.51771
3	1	-1	0	76.5000 ± 0.66833
4	1	1	0	77.9200 ± 0.79212
5	0	-1	-1	76.3000 ± 0.87753
6	0	-1	1	81.7000 ± 0.92736
7	0	1	-1	80.0100 ± 1.16368
8	0	1	1	81.9998 ± 0.81660
9	-1	0	-1	77.2933 ± 0.64833
10	1	0	-1	74.4567 ± 0.88628
11	-1	0	1	82.0267 ± 0.78406
12	1	0	1	81.0003 ± 0.81369
13	0	0	0	80.1566 ± 0.53113
14	0	0	0	80.4956 ± 0.38796
15	0	0	0	80.5005 ± 0.38097
16	0	0	0	79.8573 ± 0.54067
17	0	0	0	81.0063 ± 0.81265

验结果进行分析和预测。

回归模型预测的保藏液配方为 V_c 用量为 2.55 g/L, L-Cys 用量为 0.40 g/L, Na₂S₂O₅ 用量为 5.00 g/L, 其响应值 L 为 82.85。

由图 7 可以看出, L-Cys 和 Na₂S₂O₅ 响应曲面坡度陡峭, 交互作用显著。当 L-Cys 浓度一定时, L 值随 Na₂S₂O₅ 浓度的增大而增大。而当 Na₂S₂O₅ 浓度一定时, L 值随 L-Cys 浓度的增大先缓慢增大后变化趋势不明显, 在 L-Cys 浓度为 0.20~0.40 g/L 时随浓度的增大缓慢增大, 在 L-Cys 浓度为 0.40~0.60 g/L 时随浓度的增大变化趋势不明显。这可能是由于

L-Cys 能螯合与 SO₂ 结合的醌类物质^[13], 从而阻止了 SO₂ 漂白作用的可逆性^[18], 同时 SO₂ 与醌类物质的可逆结合会达到平衡, 所以出现了先缓慢增大后变化不明显的趋势。

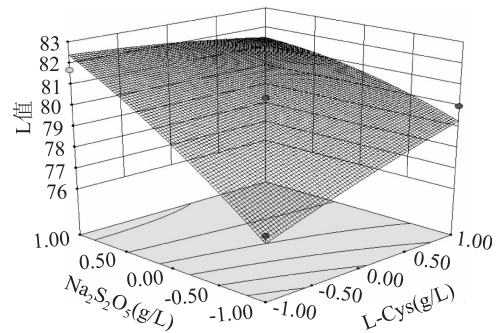


图7 Na₂S₂O₅ 和 L-Cys 对 L 值影响的响应值

Fig.7 The response value on the L value of Na₂S₂O₅ and L-Cys

2.2.2 保藏液配方优选 根据优化结果进行验证实验: 样品放置 20 d 后进行色差测定, 得到的响应值 L 为 82.93, 与理论值误差 0.96%, 说明该模型能较好的预测褐变度。同时以目前生产常用量 20.00 g/L Na₂S₂O₅ 处理的果坯做对照实验, 得到的 L 值为 83.35。经优化保藏液配方处理的果坯 L 值已接近对照, Na₂S₂O₅ 用量大幅度减少为目前常规用量的四分之一, 减小了成品中二氧化硫残留超标的风险。

2.2.3 响应面法优选配方在保藏过程中的应用效果 为了加速验证优选保藏液的应用效果, 对苹果果坯及李子果坯进行了 50 °C 加速褐变的破坏性实验, 结果如表 4、图 8 的所示, 处理与对照间的差异都不显著, 但 Na₂S₂O₅ 的用量却从 20.00 g/L 降低至 5.00 g/L, 表明优选的保藏液配方对果坯的褐变依然具有较好的抑制效果, 推测该配方常温条件下,

表3 回归方程各项回归分析

Table 3 The regression equation analysis

变异来源	自由度	平方和	均方	F 值	Pr > F	显著性
模型	9	74.01	8.22	20.22	0.0003	**
X ₁	1	11.42	11.42	28.07	0.0011	**
X ₂	1	4.42	4.42	10.86	0.0132	*
X ₃	1	43.56	43.56	107.11	<0.0001	**
X ₁ X ₂	1	0.21	0.21	0.51	0.5001	
X ₁ X ₃	1	0.82	0.82	2.01	0.1988	
X ₂ X ₃	1	2.91	2.91	7.15	0.0318	*
X ₁ ²	1	9.97	9.97	24.53	0.0017	**
X ₂ ²	1	0.22	0.22	0.55	0.4817	
X ₃ ²	1	0.12	0.12	0.30	0.6014	
残差	7	3.59	0.51			
失拟项	3	2.85	0.95	5.13	0.0742	
纯误差	4	0.74	0.19			
总变异	16	76.85				
R ²	0.9626					

注: * p < 0.05, 表示显著; ** p < 0.01, 表示极显著。

(下转第 329 页)

- [9] 迟海, 李学英, 杨究时, 等. 南极磷虾冻藏温度下的品质变化及其货架期分析[J]. 水产学报, 2012, 36(1): 153-160.
- [10] SC/T 3032-2007 水产品挥发性法盐基氮的测定[S].
- [11] GB/T5009.181-2003 猪油中丙二醛的测定[S].
- [12] 沈晓盛, 李彦霖, 张海燕, 等. 南极磷虾中氟与矿质元素的分布特征及其相关性分析[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2279-2282.
- [13] 刘庆. 离子色谱法测定牙膏中游离氟的含量[J]. 牙膏工业, 2009, 19(2): 39-40.

- [14] Angel S, Basker D, Kanner J, et al. Assessment of shelf life of fresh water prawns stored at 0 °C [J]. International Journal of Food Science & Technology, 1981, 16(4): 357-366.
- [15] Park S Y, Kim Y J, Lee H C, et al. Effects of pork meat cut and packaging type on lipid oxidation and oxidative products during refrigerated storage (8 °C). [J]. Journal of Food Science, 2008, 73(3): C127-C134.
- [16] 朱兰兰, 赵彦玲, 周德庆, 等. 南极磷虾冻藏过程中氟的迁移变化规律[J]. 中国食品学报, 2015, 15(4): 81-86.

(上接第 311 页)

在更长的时间内可对果坯起到良好的护色保藏作用。

表 4 响应面优选配方与 20.00 g/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 50 °C 保藏 1 个月的 L 值

Table 4 The L value of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ and response surface method stored at 50 °C after one month

	苹果果坯	李子果坯
响应面优选配方	82.85 ± 0.715	46.43 ± 0.740
20 g/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	83.11 ± 0.960	47.12 ± 0.731

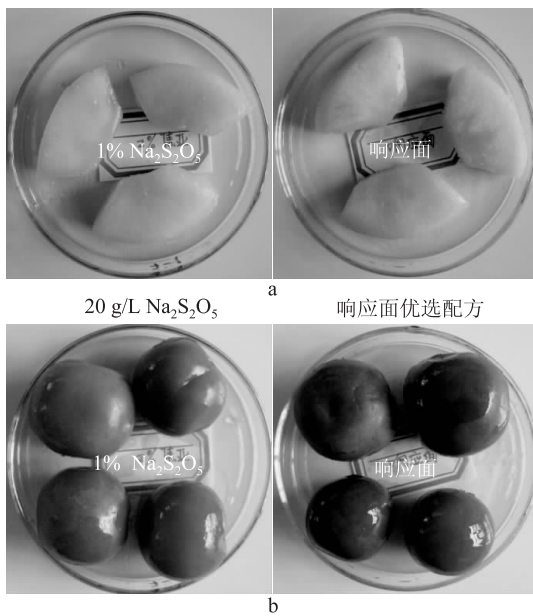


图 8 响应面优选配方与 20.00 g/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 50 °C 保藏 1 个月的效果比较

Fig.8 Comparison of response surface optimization formula and the effect of 20.00 g/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ under 50 °C for one month

注: a 为苹果果坯, b 为李子果坯。

3 结论

为了解决果坯保藏过程中褐变及硫超量使用的问题, 低硫保藏保藏剂的应用是有效的解决途径。本文研究表明, 各护色剂都能不同程度地抑制褐变。其中, 以 L-Cys、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 、 V_C 对褐变的抑制效果较佳, L-Cys 与 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 间交互作用明显, 存在护色增效作用。果坯保藏过程中 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 5.00 g/L、 V_C 2.55 g/L 和 L-Cys 0.40 g/L 的复配保藏液能达到与生产常用量 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 20.00 g/L 相当的护色效果, 显著减少了 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 的用量, 降低了成品中残硫超标的风险。

参考文献

- [1] 王菲, 黄月, 黄苇. 果坯低硫保藏方法的研究[J]. 农产品加工: 创新版(中), 2014, 15: 12-14.
- [2] 李东梅, 高红亮, 杨雪霞, 等. 鲜切苹果保鲜性能研究. 食品科技, 2009, 34(2): 40-44.
- [3] 李慧芸, 张宝善. 果汁非酶褐变的机制及控制措施. 食品研究与开发. 2005, 26(6): 145-147.
- [4] 卢影. 鲜切果品保鲜技术研究[D]. 广东: 华南理工大学, 2010.
- [5] Lee C Y, Gunes G. Color of minimally Processed Potatoes as affected by modified Atmosphere Packing and anti-browning agents[J]. J Food Sci, 1997(62): 572-575, 582.
- [5] 石启龙, 张培正. 脱水苹果的非硫护色工艺研究[J]. 食品工业科技, 2001, 22(2): 50-51.
- [6] 杨春城, 古能平, 侯文贤. 硫处理在果蔬保鲜与加工中的利与弊[J]. 保鲜与加工, 2004(4): 37-38.
- [7] 郭安鹤. 葡萄酒氧化褐变的机制及二氧化硫抗氧化替代物的研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2007.
- [8] Fulcrand. Phenolic reactions during wine making and aging [J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2006, 57(3): 289-297.
- [9] I Saguy. Effect of non-enzymatic browning in grapefruit juice thermal and concentration process: kinetics and prediction [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1978: 175-184.
- [10] 黄苇, 孙远明, 余小林, 等. 蜜李坯中二氧化硫脱除方法的研究[C]. 农业工程科技创新与建设现代农业——中国农业工程学会学术年会论文集第四分册, 2005: 149-152.
- [11] 李胜元, 谷向春. 抗坏血酸对玫瑰香干白葡萄酒的抗氧化作用[J]. 酿酒科技, 2006(6): 65-66.
- [12] 覃海元, 杨昌鹏. 柠檬酸和异抗坏血酸钠处理对冷藏鲜切菠萝质量的影响[J]. 食品工业科技, 2006, 27(8): 155-159.
- [13] 李西海, 梁文娜, 刘献祥. 中药研究的新模式——美拉德反应[N]. 中国中医药报, 2007年10月29日第007版.
- [14] 孔维宝, 陆健, 赵海锋, 等. L-半胱氨酸抑制多酚氧化酶的机制研究[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 66-70.
- [15] 王清章, 彭光华, 金悠等. 莲藕中酚类物质的提取分析及酶促褐变底物的研究[J]. 分析科学学报, 2004, 20(1): 38-40.
- [16] 金定樑. 柠檬酸亚锡二钠对果蔬及其制品护色的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- [17] 杨贤良. EDTA 在果酒饮料中的应用[J]. 软饮料工业, 1997(1): 37-38.
- [18] 周德庆, 张双灵, 辛胜昌. 亚硫酸盐在食品加工中的作用及其应用[J]. 食品科学, 2004, 25(12): 198-201.