

超声波协同护色剂浸渍工艺对橘瓣干制品色泽的影响

孔梦洁, 祝林虎, 夏蒙蒙, 胡婉峰, 徐晓云, 潘思轶

华中农业大学食品科学技术学院, 武汉 430070

摘要 柑橘片在干制过程中极易发生褐变, 为了更好地保持柑橘片加工过程中的色泽, 从柑橘汁、柑橘渣 2 个角度比较了 5 种不同护色剂(抗坏血酸、柠檬酸、L-半胱氨酸、亚硫酸钠和 β -环状糊精)对其褐变的影响, 并采用不同超声功率(300、400、500 W)预处理后协同护色剂处理, 在 70 °C 下烘制 8 h, 每隔 1 h 测定其色泽, 探索最佳的抗褐变处理条件。结果显示, 护色剂单独处理时, 0.20% 的亚硫酸钠溶液处理抗褐变效果最佳; 结合超声波预处理发现, 在橘汁和橘渣中具有最好抗褐变效果的处理条件为超声功率 400 W 结合 0.20% 的亚硫酸钠溶液, 并在橘瓣上验证此处理组具有最明显的抗褐变效果。

关键词 柑橘干; 烘干; 色泽; 护色剂; 协同; 超声波; 褐变抑制

中图分类号 TS 255.36 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)01-0077-09

柑橘片是柑橘干制产品, 因其药用价值和便携性, 深受消费者喜爱。柑橘干制过程中的褐变一直是制约柑橘深加工的因素之一。色泽是判断柑橘加工制品质量的首要因素, 也是其市场竞争力的核心指标之一。如何在保持柑橘片色泽和风味且有效成分不被破坏的情况下, 抑制柑橘片加工过程中的褐变反应, 是柑橘片加工亟待解决的一个关键科学问题。

柑橘片在加工过程中通常会经过较高温度的处理, 推测其褐变过程可能与美拉德反应、焦糖化反应等非酶促褐变过程相关。维生素 C 可以发生氧化降解, 有研究表明向果汁中添加过量的维生素 C, 会导致非酶褐变的加重, 严重影响果汁的风味和色泽^[1-2]。因此, 可以通过测定还原糖、维生素 C 的含量探究柑橘片褐变的主要原因。传统的护色方法主要通过抗坏血酸^[3]、柠檬酸^[4]、 β -环状糊精^[5]等护色剂来抑制褐变。研究表明, 柠檬酸、抗坏血酸可以作为酸度调节剂降低体系的 pH, 从而降低酶的活性抑制褐变^[3-4]; L-半胱氨酸含有的巯基具有还原性, 能与醌类物质结合形成无色物质, 从而抑制类黑素的形成^[3]。

近年来, 超声波在食品工业中的应用也日益受到关注^[6-7]。将超声波技术应用于果蔬, 可以显著提高干燥速度^[6,8], 但目前缺乏将其应用于柑橘干制品上的研究。随着超声波的应用越来越广泛, 选择合适的超声功率同时结合护色剂处理有望延缓柑橘片的褐变。

本研究基于课题组前期柑橘中褐变相关酶对柑橘酶促褐变的影响, 考察烘干过程中食品组分的变化, 采用超声波协同护色剂的护色技术, 以期对柑橘片干制过程中的抗褐变技术提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

柑橘来自华中农业大学校外农贸市场。L-半胱氨酸、亚甲基蓝三水购于国药集团化学试剂有限公司, 分析纯; 2,6-二氯酚靛酚钠盐购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司, 分析纯; 抗坏血酸、柠檬酸、 Na_2SO_3 、 β -环状糊精等试剂购于国药集团化学试剂有限公司, 分析纯。

XN028 型烤箱, 海尔集团; FUSION 系列-F1 型破壁料理机, 广州祈和电器有限公司; HU-

收稿日期: 2020-09-07

基金项目: 湖北省技术创新专项重大项目(2018ABA072; 2017ABA153); 华中农业大学自主创新基金(2662018JC018; 2662020SPPY012); 国家重点研发计划(2017YFD0400701-2)

孔梦洁, E-mail: mengjiekong@hotmail.com

通信作者: 胡婉峰, E-mail: wanfenghu@hzu.edu.cn

910WN-M 型原汁机,韩国惠人集团;5804R 型高速冷冻离心机, BIOSPECTROMETER 紫外可见分光光度计,德国艾本德股份公司; JY-92-II D 型超声波细胞粉碎机,上海德洋意邦仪器有限公司; CR-400型彩色色差计,日本柯尼卡美能达控股公司。

1.2 样品处理

1) 柑橘预处理。选择成熟度适中、形态良好、无损伤、无病虫害的柑橘果实,去皮、去络、榨汁后,进行橘汁和橘渣分离。由于橘瓣的囊衣阻碍了部分试验的进行,所以整个试验是通过探究橘汁和橘渣的变化规律来判断橘瓣的相关变化。

2) 护色剂处理。制备 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mg/mL 的抗坏血酸,0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL 的柠檬酸,0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mg/mL 的 L-半胱氨酸,5、10、15、20、25 mmol/L 的 β -环状糊精和 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25% 的 Na_2SO_3 溶液。将不同浓度的护色剂分别加入橘汁和橘渣中,并将处理后的样品放在 70 °C 烤箱中烘制 8 h,每隔 1 h 取出,测定其色度值。

3) 超声波协同护色剂处理。根据上述试验结果,选择抗褐变效果最佳的护色剂,在其最佳抗褐变浓度下进行超声波处理,超声探头直径为 0.636 cm,频率为 20 kHz,超声功率 (ultrasonic power, UP) 为 300、400 和 500 W,超声时间 30 min。然后将超声后的样品放在 70 °C 烤箱中烘制 8 h,每隔 1 h 取出,测定其色度值。

1.3 测试方法

1) 色度值测定。采用色差计进行测量。每个样品重复测定 3 次,测定其 L^* (代表其色泽的明亮

度)、 a^* (代表红绿度)、 b^* (代表黄蓝度)、 ΔE (代表总色差),其中 $\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2) / 2$ 。取平均值进行分析。

2) 褐变度测定。取 5 g 橘渣,充分研磨后,加蒸馏水定容至 50 mL。取 5 mL 橘汁,加蒸馏水定容至 50 mL。参照 Rajewska 等^[9]的方法,采用紫外-可见分光光度计分别测定其褐变度。

3) 维生素 C 含量测定。参照曹建康等^[10]的 2,6-二氯酚酚滴定法进行测定。

4) 还原糖含量测定。参照曹建康等^[10]的 Fehling 试剂直接测定法进行测定。

1.4 数据处理

采用 Origin 6.0 软件进行数据处理,每组试验至少设置 3 个重复。

2 结果与分析

2.1 橘瓣烘制过程色度值的变化

橘汁和橘渣不经过任何处理,直接在 70 °C 下烘制,其色度值变化如图 1 所示。在新鲜橘汁和橘渣烘制过程中,随着时间的延长,其亮度值 L^* 逐渐减小,总色差 ΔE 逐渐增大。并且橘汁 L^* 和 ΔE 的变化速率明显比橘渣快,推测是因为橘汁中的维生素 C 的含量比橘渣高,在烘制过程中维生素 C 氧化降解,褐变发生。结果表明,在烘制过程中,橘汁和橘渣颜色逐渐变暗,向颜色更深的方向发展,其趋势符合褐变后颜色加深的现象。

2.2 橘瓣烘制过程中褐变度的变化

如图 2 所示,橘汁和橘渣的褐变度随烘制时间延长而逐渐上升。在烘制前期(前 2 h)褐变度上升较快,而在后面的烘制过程(2~8 h)中褐变度上升较慢。

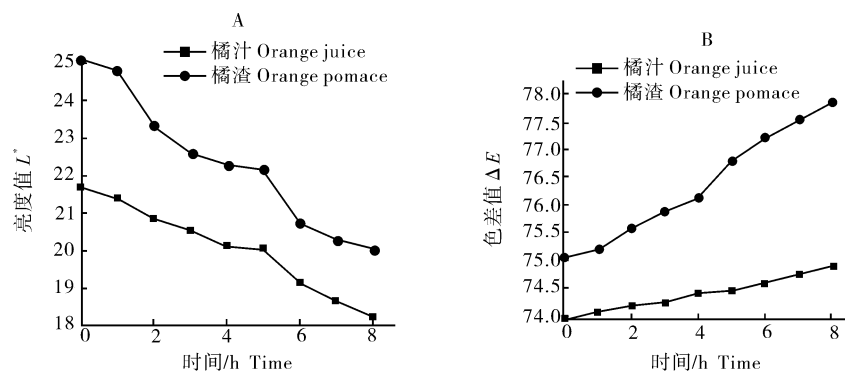


图 1 新鲜橘汁和橘渣的 L^* 值(A)和 ΔE 值(B)的变化

Fig.1 The L^* value(A) and ΔE value(B) change of the fresh orange juice and pomace

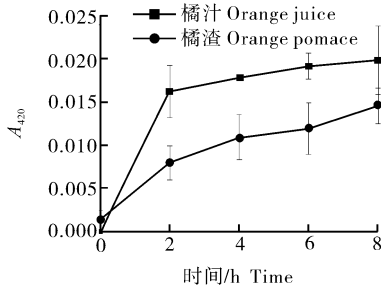


图 2 烘制时间对褐变度的影响

Fig.2 The effect of drying time on browning degree

对于橘汁,在烘制的 0~2 h, A_{420} 从 0 增大到 0.016;在 2~8 h,从 0.016 增大到 0.020,增大的速度减缓。对于橘渣,在烘制的 0~2 h, A_{420} 从 0.001 增大到 0.008,增大了 7 倍;而在 2~8 h,从 0.008 增大到 0.015,增大了 87.5% (小于 1 倍)。到 8 h 时,相对于未烘制的橘渣,其褐变度增大了 13 倍。

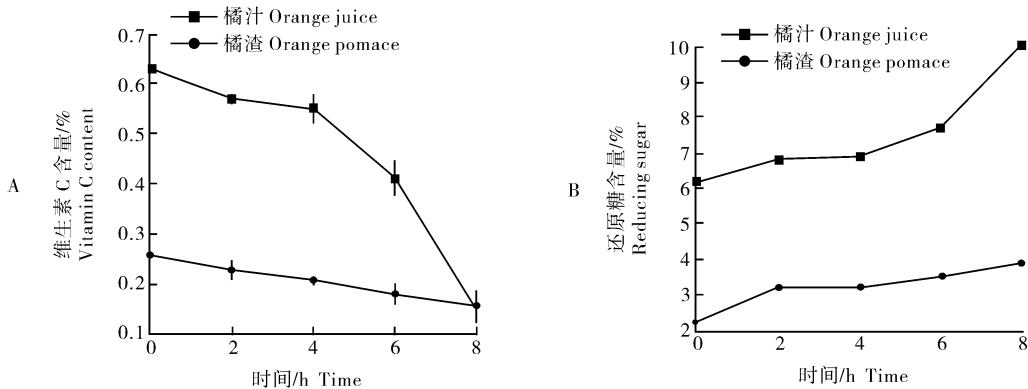


图 3 烘制过程中维生素 C(A)和还原糖(B)含量的变化

Fig.3 The change of V_c (A) and reducing sugar(B) content during drying

2.4 抗坏血酸最佳抗褐变浓度的选择

由图 4 可知,抗坏血酸(AA)对橘汁和橘渣的褐变抑制效果不同。对于橘汁(图 4A、B),当抗坏血酸的质量浓度为 0.3 和 0.5 mg/mL 时,随着烘制时间的延长,亮度值 L^* 逐渐增大,同时 2 种质量浓度下橘汁的总色差 ΔE 均呈减小趋势,表明 0.3 和 0.5 mg/mL 的抗坏血酸对橘汁的褐变程度有很好的抑制作用。而其他处理组对橘汁的褐变抑制效果并不明显。对于橘渣(图 4C、D),当抗坏血酸质量浓度为 0.1 和 0.3 mg/mL 时,其亮度值 L^* 持续增大,且在 0.3 mg/mL 的添加量下,总色差 ΔE 缓慢减小。结果表明,质量浓度为 0.3 mg/mL 的抗坏血酸抗褐变的效果更佳。

2.3 橘瓣烘制过程中褐变相关成分的变化

由图 3A 可知,在橘汁和橘渣烘制过程中维生素 C 的含量明显下降,而且橘汁的变化幅度更大。同时,新鲜的橘汁和橘渣维生素 C 含量差异大,而经烘制 8 h 后,维生素 C 含量相当接近。结果表明,随着烘制时间的延长,维生素 C 发生了不同程度的降解,导致其含量不断降低。

由图 3B 看出,橘汁、橘渣中还原糖含量随着烘制时间的延长呈现增加趋势,这可能是蔗糖在酸性条件下部分水解成果糖和葡萄糖而造成的。同时,由于橘渣中含有大量的果胶和纤维素,蔗糖含量较少,因此,橘汁中还原糖含量的增加程度明显高于橘渣中还原糖的增加程度。橘汁中 pH 一直保持在低于 4.0 的水平,对美拉德反应有抑制作用。因此,在烘制过程中的褐变可能不是美拉德反应、焦糖化反应造成的。

2.5 柠檬酸最佳抗褐变浓度的选择

对于橘汁(图 5A、B),当柠檬酸(CA)质量浓度为 0.4 mg/mL 时,其亮度值 L^* 增大,且总色差 ΔE 呈减小的趋势。当柠檬酸质量浓度为 0.2 和 0.6 mg/mL 时,其 L^* 值减小的幅度相对较小,而且在柠檬酸质量浓度为 0.6 mg/mL 下橘汁的总色差 ΔE 增加的幅度比 0.2 mg/mL 时小。对于橘渣(图 5C、D),在烘制过程中加入柠檬酸后其亮度值 L^* 和总色差 ΔE 值与未处理组的变化趋势相同,表明柠檬酸对橘渣的护色效果不明显。但相对其他柠檬酸添加量而言,当柠檬酸质量浓度为 0.6 mg/mL 时,橘渣亮度 L^* 和总色差 ΔE 的变化幅度较小,表明在这一浓度下橘渣的褐变程度最小。因此,当柠檬酸质量浓度为 0.6 mg/mL 时抗褐变效果最佳。

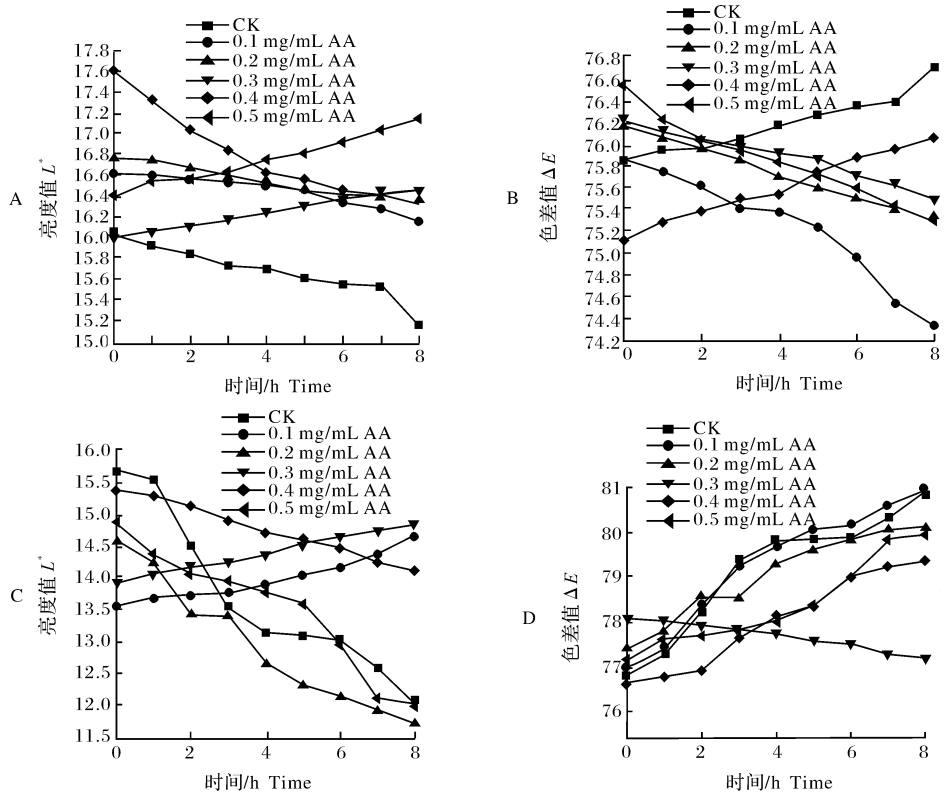


图 4 抗坏血酸(AA)处理后橘汁 L^* 值(A)、 ΔE 值(B)和橘渣 L^* 值(C)、 ΔE 值(D)的变化
 Fig.4 The L^* value(A), ΔE value(B) change of the orange juice and the L^* value(C), ΔE value(D) change of the orange pomace after the treatment of ascorbic acid (AA)

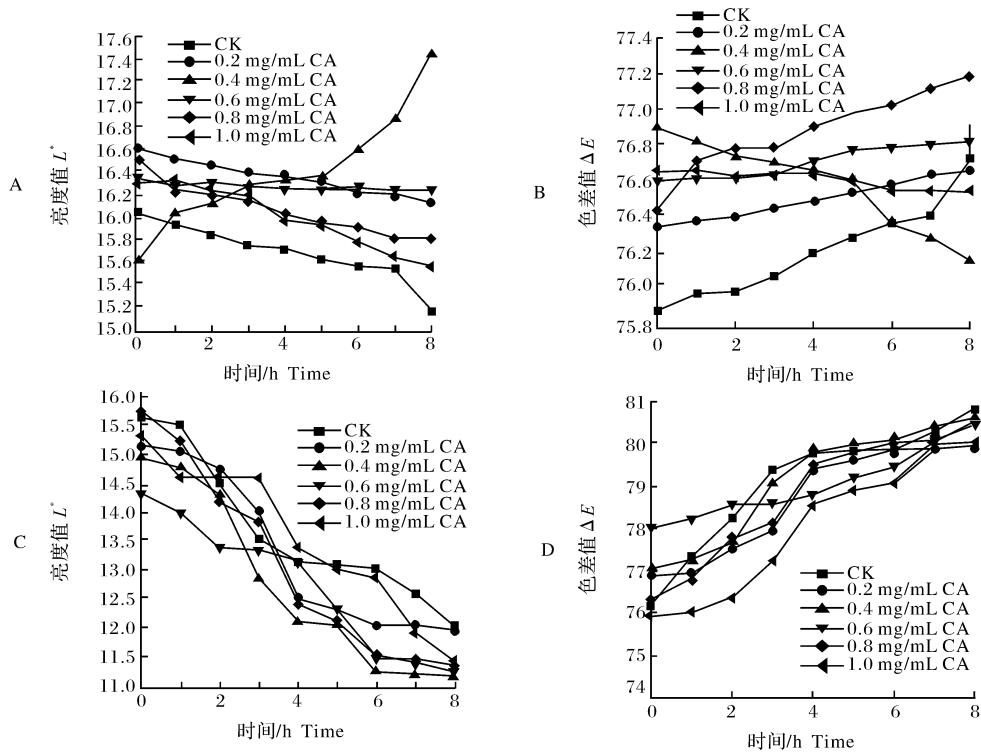


图 5 柠檬酸(CA)处理后橘汁 L^* 值(A)、 ΔE 值(B)和橘渣 L^* 值(C)、 ΔE 值(D)的变化
 Fig.5 The L^* value(A), ΔE value(B) change of the orange juice and the L^* value(C), ΔE value(D) change of the orange pomace after the treatment of citric acid (CA)

2.6 Na_2SO_3 最佳抗褐变浓度的选择

对于橘汁(图 6A、B),当添加 Na_2SO_3 时,其总色差 ΔE 随时间延长不断减小。当添加量为 0.10%、0.15%、0.20% 和 0.25% 时, L^* 随烘制时间延长呈增大的趋势,且与 Na_2SO_3 的含量呈正相关。结果表明, Na_2SO_3 可以很好地抑制橘汁的褐变,这可能是由于 Na_2SO_3 有利于抗坏血酸的保存,从而

在一定程度上抑制了类胡萝卜素的减少和氧化。对于橘渣(图 6C、D),当添加 0.20% 和 0.25% 的 Na_2SO_3 时,其亮度值 L^* 随时间延长逐渐增大,总色差 ΔE 减小,表明在此含量的 Na_2SO_3 溶液的抗褐变效果较好。进一步比较发现,0.20% 的 Na_2SO_3 溶液抗褐变效果更佳。综上所述,0.20% 的 Na_2SO_3 溶液抗褐变程度最佳。

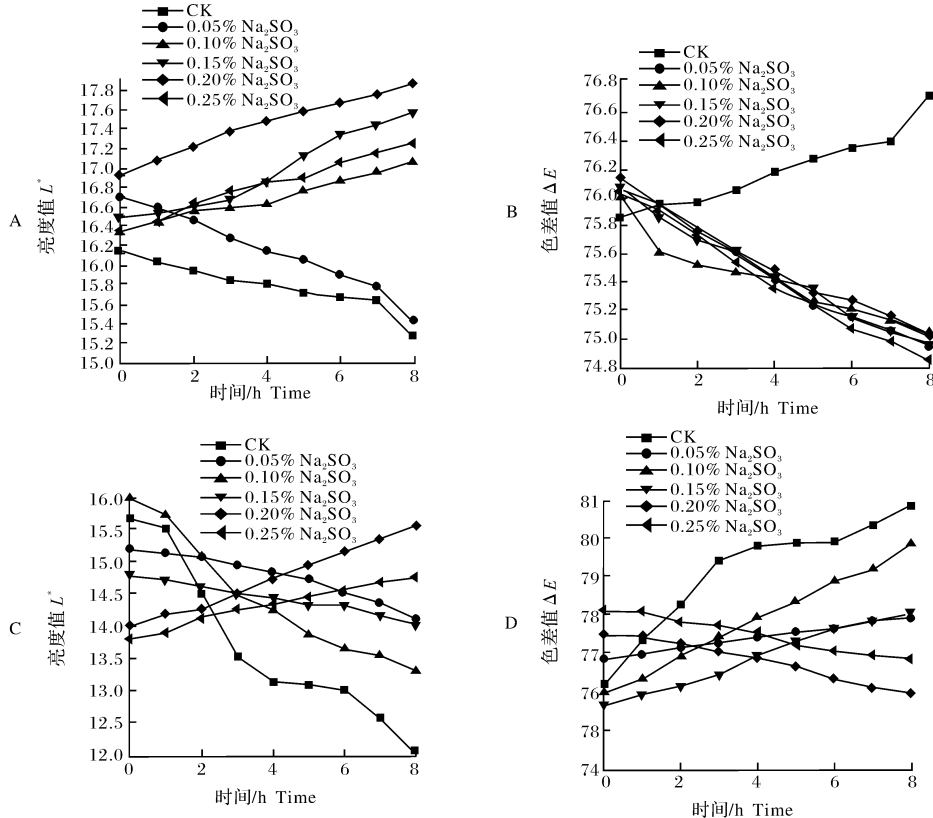


图6 Na_2SO_3 处理后橘汁 L^* 值(A)、 ΔE 值(B)和橘渣 L^* 值(C)、 ΔE 值(D)的变化

Fig.6 The L^* value(A), ΔE value(B) change of the orange juice and the L^* value(C), ΔE value(D) change of the orange pomace after the treatment of sodium sulfite

2.7 L-半胱氨酸最佳抗褐变浓度的选择

对于橘汁(图 7A、B), 0.1 和 0.3 mg/mL 的 L-半胱氨酸处理后,其亮度值 L^* 随烘制时间延长而增大,且总色差 ΔE 值随时间延长而减小。表明在这 2 个质量浓度下, L-半胱氨酸对于橘汁褐变的抑制效果较好。添加了 L-半胱氨酸对于橘渣的褐变抑制效果不明显(图 7C、D)。综上,当 L-半胱氨酸质量浓度为 0.1 mg/mL 时,抗褐变效果最佳。

2.8 β -环状糊精最佳抗褐变浓度的选择

由图 8 可知,与柠檬酸、 Na_2SO_3 等护色剂处理相比, β -环状糊精对其褐变抑制效果不佳。通过比较各个浓度下其拟合曲线的斜率,在 β -环状糊精浓度为 5 mmol/L 时, β -环状糊精对橘汁褐变的抑制

效果相对较好,20 mmol/L β -环糊精的褐变抑制效果次之,而 10 mmol/L β -环状糊精褐变抑制效果最差。而对于橘渣,10 mmol/L 的 β -环状糊精对褐变的抑制效果最佳,20 mmol/L 效果次之,5 mmol/L 的效果最差。综合分析,20 mmol/L 的 β -环状糊精添加量对于褐变的抑制综合效果最佳。

综上所述,通过单因素试验,抗坏血酸最佳抗褐变质量浓度为 0.3 mg/mL、柠檬酸最佳抗褐变质量浓度为 0.6 mg/mL、 Na_2SO_3 最佳抗褐变添加量为 0.20%、L-半胱氨酸最佳抗褐变质量浓度为 0.1 mg/mL 和 β -环糊精最佳抗褐变浓度为 20 mmol/L,最佳护色剂探索结果见表 1。综合考虑橘汁与橘渣

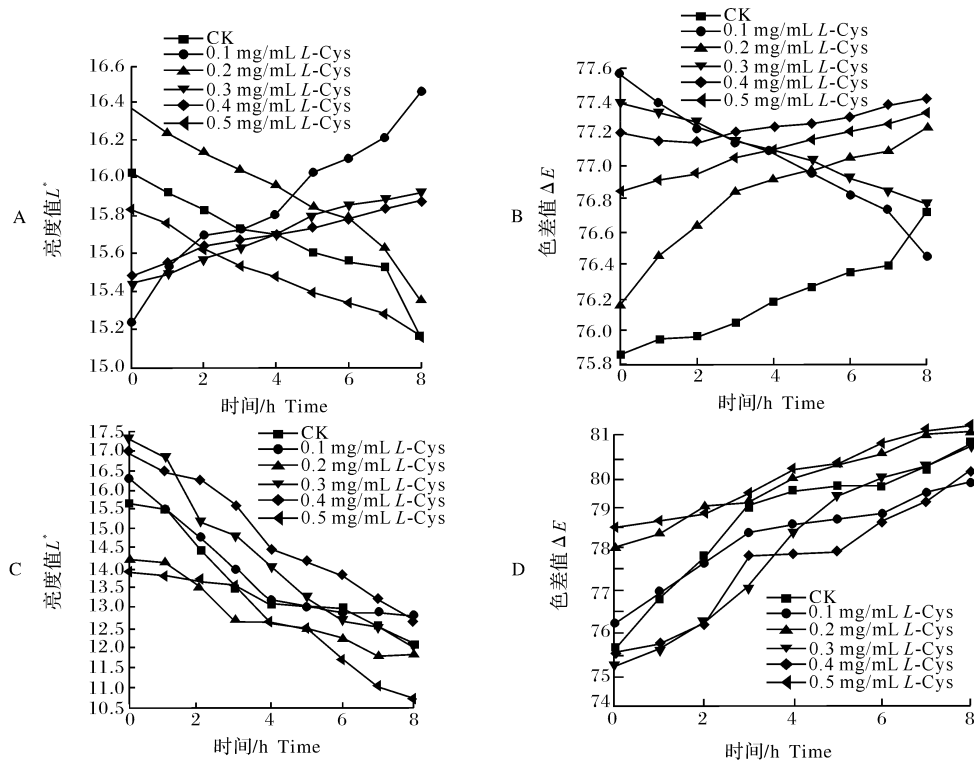


图 7 L-半胱氨酸(L-cys)处理后橘汁 L* 值(A)、ΔE 值(B)和橘渣 L* 值(C)、ΔE 值(D)的变化
Fig.7 The L* value(A), ΔE value(B) change of the orange juice and the L* value(C), ΔE value(D) change of the orange pomace after the treatment of L-cysteine (L-cys)

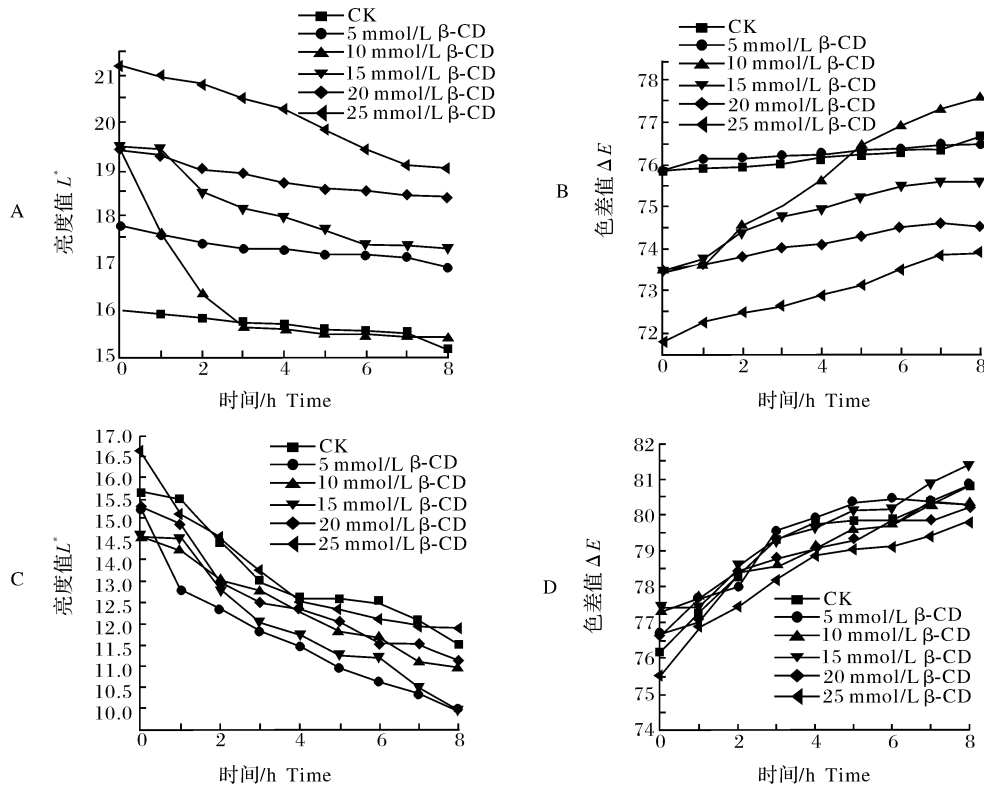


图 8 β-环状糊精(β-CD)处理后橘汁 L* 值(A)、ΔE 值(B)和橘渣 L* 值(C)、ΔE 值(D)的变化
Fig.8 The L* value(A), ΔE value(B) change of the orange juice and the L* value(C), ΔE value(D) change of the orange pomace after the treatment of β-cyclodextrin (β-CD)

表 1 不同浓度护色剂的拟合曲线斜率

Table 1 Slope of fitting curve for different concentrations of color fixatives

项目 Item	类别 Class	0.3 mg/mL 抗坏血酸 Ascorbic acid	0.6 mg/mL 柠檬酸 Citric acid	0.20%亚硫酸钠 Sodium sulfite	0.1 mg/mL L-半胱氨酸 L- Cysteine	20 mmol/L β-环状糊精 β-Cyclodextrin
L^* 拟合曲线斜率 Slope of fitting curve of L^*	橘汁 Orange juice	0.059 94	-0.009 72	0.113 94	0.134 56	-0.130 22
	橘渣 Orange pomace	0.116 23	3.446 21	0.198 06	-0.441 56	-0.480 00
ΔE 拟合曲线斜率 Slope of fitting curve of ΔE	橘汁 Orange juice	-0.085 78	0.033 00	-0.134 44	-0.124 28	0.145 72
	橘渣 Orange pomace	-0.108 17	0.290 22	-0.203 17	0.370 44	0.436 50

L^* 和 ΔE 的变化,发现抗褐变效果最佳的是 0.20% Na_2SO_3 溶液。

2.9 超声波协同护色剂最佳抗褐变功率的选择

未添加护色剂的橘汁,其亮度 L^* 值随烘制时间延长不断减小,总色差 ΔE 不断增大(图 9A、B);经过超声波预处理之后,未加护色剂的橘汁亮度值 L^* 和 ΔE 变化幅度更大,可能是由于超声波预处理加快了干燥的速率。添加护色剂的橘汁,随着时间

延长,其亮度 L^* 增大,总色差 ΔE 减小,表明护色剂的加入抑制了橘汁的褐变;通过比较未经超声和超声处理的加入护色剂的橘汁色度值变化,发现超声功率 400 W 处理时抗褐变效果最佳。橘渣的色度值变化规律与橘汁一致(图 9C、D)。超声波处理可以加速护色剂进入柑橘组织细胞中,同时增大干燥速率。综合考虑橘汁和橘渣的亮度值 L^* 和总色差 ΔE 的变化,超声功率 400 W 结合质量分数 0.20%

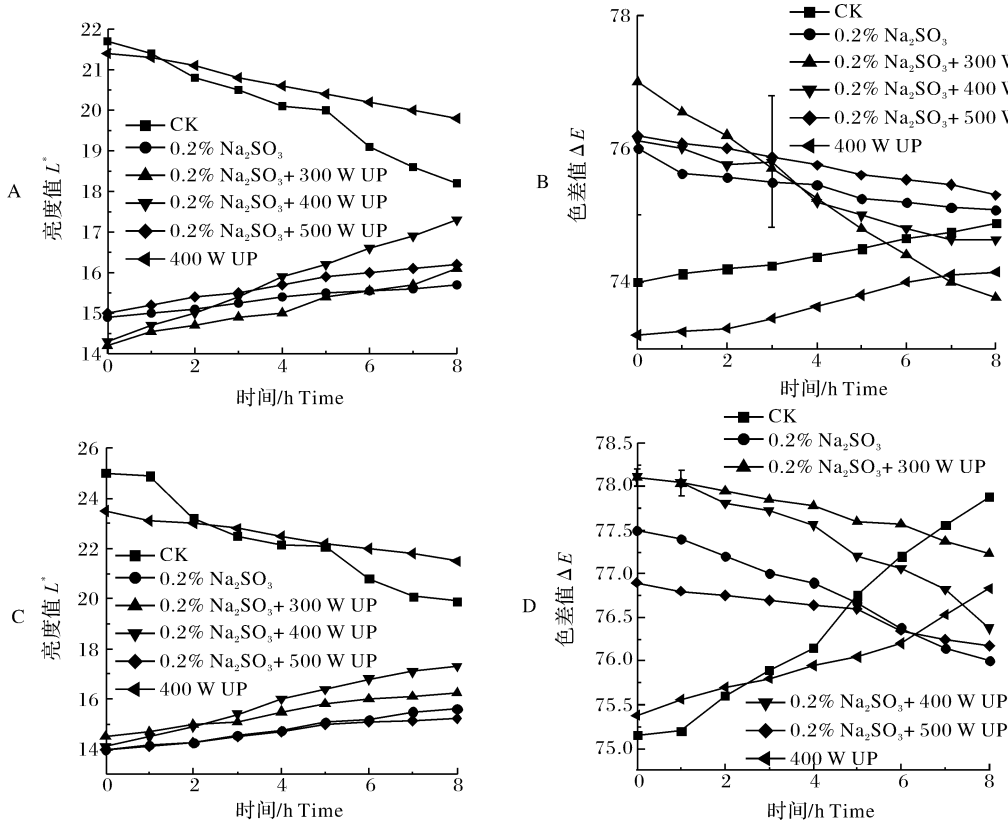


图 9 超声波作用对于橘汁 L^* 值(A)、 ΔE 值(B)和橘渣 L^* 值(C)、 ΔE 值(D)的影响

Fig.9 Influence of ultrasound application on L^* value(A), ΔE value(B) of orange juice and L^* value(C), ΔE value(D) of orange pomace

的 Na_2SO_3 处理对于橘汁和橘渣体系褐变抑制效果最好。

以上试验得出的最佳抗褐变条件应用于橘瓣时,其体系的色度的变化如图 10 所示。结果

表明,对橘汁和橘渣分别作分析,探究出的最佳抗褐变条件为超声功率 400 W 结合 0.20% 的 Na_2SO_3 溶液,对于橘瓣的褐变抑制效果同样是最佳的。

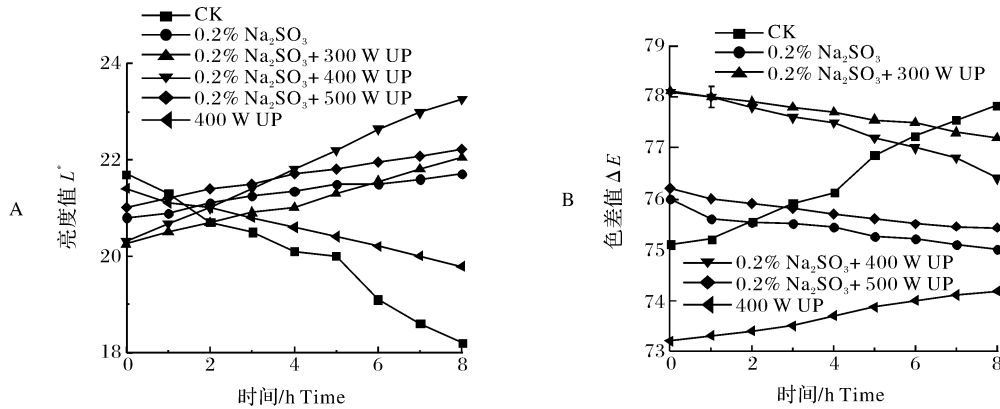


图 10 最佳抗褐变条件对于橘瓣 L^* 值(A)和 ΔE 值(B)的影响

Fig.10 Effects of optimal anti-browning conditions on L^* value (A) and ΔE value (B) of orange segments

3 讨论

非酶褐变可能是引起柑橘片在制作过程中褐变主要原因,主要包括美拉德反应、焦糖化反应、维生素 C 的降解^[2]和类胡萝卜素的降解^[12]等。本研究结果表明,随着干制过程中褐变程度的加深,维生素 C 含量不断降低,还原糖的含量小幅度上升。因此,维生素 C 的氧化降解可能与柑橘片的褐变有关。通过研究不同护色剂单独添加对橘汁和橘渣褐变程度的影响,发现不同护色剂或者同一护色剂不同浓度对橘汁和橘渣的褐变抑制效果均不同。推测可能是由于橘渣的不均匀性,在进行色度测定的时候产生了误差。总体观察护色剂对于橘汁和橘渣褐变的抑制效果,发现 0.20% 的 Na_2SO_3 溶液护色效果最佳。这可能是由于 Na_2SO_3 可以作为还原剂,阻止或者减缓某些中间反应,从而避免或减少色素的生成;同时, Na_2SO_3 可以消耗氧气,降低 pH,有利于体系中维生素 C 的保存,这些作用都可以间接抑制褐变反应^[3]。超声波处理可以提高果蔬的干燥速率^[13],苹果块经超声波处理之后,提高了干制过程中的干燥速率,增大了干制苹果的收缩率和孔隙率^[6];同样的结果也在鳕^[11]、西番莲果皮^[8]干制过程中出现。当 0.20% 的 Na_2SO_3 溶液结合超声功率 400 W 处理时,抗褐变效果最佳,这可能是由于经过超声波处理后,增大了孔隙率和干燥速率,同时加速了护色剂与组织的接触,达到了最佳的抗褐变效果。

综上所述,选择合适的护色剂可以较好地保持橘瓣干制过程中的色泽,添加护色剂结合一定功率的超声波处理能获得更为理想的效果。本研究结果为橘瓣抗褐变技术提供了新思路,同时,后续会进一步研究柑橘片加工过程中的褐变与酶促褐变和非酶促褐变之间的关系。

参考文献 References

- [1] 迟森. 橙汁在加工贮藏过程中色泽稳定性研究[D]. 重庆:西南大学,2010.CHI M. Study on the stability of color during processing and storage of orange juice[D]. Chongqing: Southwest University, 2010 (in Chinese with English abstract).
- [2] 李慧芸,张宝善. 果汁非酶褐变的机制及控制措施[J]. 食品研究与开发,2005,26(6):145-147.LI H Y, ZHANG B S. Non-enzymatic browning mechanism and controlling measurements of fruit juice [J]. Food research and development, 2005, 26(6): 145-147 (in Chinese with English abstract).
- [3] 许鹏丽,肖凯军,郭祀远. 抑制巴西柳橙汁褐变的研究[J]. 中国食品添加剂,2009,20(2):116-121.XU P L, XIAO K J, GUO S Y. Study on the browning inhibition of Brazil orange juice [J]. China food additives, 2009, 20(2): 116-121 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈效兰,雷钢铁. 柠檬酸在食品工业中的应用[J]. 食品研究与开发,2000,21(3):6-7. CHEN X L, LEI G T. Application of citric acid in food industry[J]. Food research and development, 2000, 21(3): 6-7 (in Chinese).
- [5] 蒋彩虹,王利,梁智慧,等. β -环状糊精在脱水蔬菜应用中的研究[J]. 食品科学,2000,21(4):35-37. JIANG C H, WANG L, LIANG Z H, et al. Study on the application of β -cyclodextrin in

- dehydrated vegetables[J]. Food science, 2000, 21(4): 35-37 (in Chinese).
- [6] NOWACKA M, WIKTOR A, SLEDZ M, et al. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties[J]. Journal of food engineering, 2012, 113(3): 427-433.
- [7] 程新峰, 张慙, 朱玉钢, 等. 低频超声波强化冷冻机理及其在食品加工中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(12): 248-255. CHENG X F, ZHANG M, ZHU Y G, et al. The mechanism of low-frequency ultrasound freezing technology and its application in food[J]. Food and fermentation industries, 2015, 41(12): 248-255 (in Chinese with English abstract).
- [8] NASCIMENTO E M G C, MULET A, ASCHERI J L R, et al. Effects of high-intensity ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of passion fruit peel[J]. Journal of food engineering, 2016, 170: 108-118.
- [9] RAJEWSKA K, MIERZWA D. Influence of ultrasound on the microstructure of plant tissue[J]. Innovative food science & emerging technologies, 2017, 43: 117-129.
- [10] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007. CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experimental guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007 (in Chinese).
- [11] OZUNA C, CARCEL J A, WALDE P M, et al. Low-temperature drying of salted cod (*Gadus morhua*) assisted by high power ultrasound: kinetics and physical properties[J]. Innovative food science & emerging technologies, 2014, 23: 146-155.
- [12] 韩燕. 橙汁色泽及其在杀菌贮藏过程中变化的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008. HAN Y. Orange juice color and its discolor during sterilization and storage [D]. Chongqing: Southwest University, 2008 (in Chinese with English abstract).
- [13] 赵峰, 杨江帆, 林河通. 超声波技术在食品加工中的应用[J]. 武夷学院学报, 2010, 29(2): 21-26. ZHAO F, YANG J F, LIN H T. Ultrasound and its application in food industry[J]. Journal of Wuyi University, 2010, 29(2): 21-26 (in Chinese with English abstract).

Effects of color fixatives impregnating process combined with ultrasonic on color of dried orange slices products

KONG Mengjie, ZHU Linhu, XIA Mengmeng, HU Wanfeng, XU Xiaoyun, PAN Siyi

College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract Orange slice is product of dried citrus. Because of its medicinal value and convenience, consumers favor orange slice. Orange slices are easy to be brown in the drying process. In order to better maintain the color of orange slices during processing, the effects of five different color fixatives including ascorbic acid, citric acid, *L*-cysteine, sodium sulfite and β -cyclodextrin on browning of orange juice and orange pomace were studied. Different ultrasonic power (300 W, 400 W, 500 W) was used to pretreat and then treated with color fixatives. The product was baked at 70 °C for 8 h, and its color was determined every 1 h to explore the best treatment conditions for anti-browning. The contents of vitamin C and reducing sugar in orange juice and orange pomace were determined by titration. The results showed that the vitamin C in orange juice and pomace was oxidized and degraded with the extension of drying time, and the content of reducing sugar increased slightly. The browning degree was inhibited to some extent after adding color protecting agents. 0.20% sodium sulfite treatment had the best anti-browning effect when the color fixatives was treated alone. Combined with ultrasonic pretreatment, the optimal anti-browning effect on orange juice and pomace was 400 W ultrasonic power combined with 0.20% sodium sulfite, which was confirmed on orange segments to have the most obvious anti-browning under this condition.

Keywords dried orange slices; drying; chromaticity; color fixatives; synergy; ultrasonic; browning inhibition

(责任编辑:赵琳琳)