

苹果梨汁的常温护色方法

李梁^{1,2}, 贾福晨¹, 高畅¹, 聂成玲¹, 王立正¹, 薛蓓^{1,2}, 刘振东^{1,2*}

1(西藏农牧学院食品科学学院, 西藏 林芝, 860000) 2(西藏特色生物资源开发利用平台, 西藏 林芝, 860000)

摘要 为抑制苹果梨汁褐变, 在果实榨汁前, 以护色剂对苹果梨汁抑制褐变率和色差值的影响为指标, 在5组单因素试验的基础上, 通过5因素2水平正交试验, 运用正交试验的极差分析, 确定了柠檬酸、 Na_2SO_3 、L-半胱氨酸3种对褐变抑制率及色差值影响较大的护色剂, 之后通过软件进行试验设计及响应面法分析。试验结果表明, 最佳的苹果梨汁护色剂配方为: 柠檬酸添加量为0.67 g/100 mL, Na_2SO_3 添加量为0.01 g/100 mL, L-半胱氨酸添加量为0.01 g/100 mL, 在此配方条件下预测苹果梨汁褐变抑制率为58.1%, 色差值为25.8 NBS。实际值为苹果梨汁平均褐变抑制率58.6%、平均色差值25.3 NBS, 预测值与试验值吻合程度分别为99.14%和98.06%。

关键词 苹果梨汁; 抑制褐变率; 色差值; 护色剂

苹果梨, 中国独有水果, 又称“中华丑梨”, 属秋子梨系统^[1], 目前广泛种植于我国北方, 适宜阴冷湿润气候, 耐高寒^[2]。苹果梨可食率高, 营养成分丰富, 含有多种氨基酸、维生素、黄酮类等人体必需营养成分^[3-5]。当前, 西藏产苹果梨属自然生长, 未经人工干预, 致使苹果梨果型、品相差, 无法出售而腐烂, 造成大量苹果梨浪费。将苹果梨经加工制成果汁后, 不仅可以解决西藏苹果梨资源浪费的局面, 还可以提高苹果梨产品附加值, 对推广苹果梨资源开发, 产业升级提供帮助。苹果梨在榨汁过程中, 因酶促或非酶褐变而引起的苹果梨汁褐变现象^[6-9], 会导致产品品质下降, 影响产品的后续加工。本研究即在苹果梨榨汁前, 将果肉进行护色处理^[10], 后经榨汁、酶解、过滤等步骤, 通过分光光度计及色差计, 测量褐变度及色差值。试验以褐变抑制率及色差值为指标, 选用不同浓度的NaCl、柠檬酸、 V_c 、 Na_2SO_3 、L-半胱氨酸, 分析确定不同单一护色剂的最佳浓度, 通过5因素2水平正交试验确定单一护色剂对苹果梨汁褐变抑制率及色差值影响的主次顺序, 最后通过响应面法确定最佳苹果梨汁护色剂配方。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

第一作者: 硕士, 讲师(刘振东为通讯作者, E-mail: liuzhen18091@126.com)。

基金项目: 西藏农牧学院高层次人才科研启动费项目(RC201505); 西藏自治区级大学生创新性实验计划; 西藏特色生物资源开发利用平台项目

收稿日期: 2016-12-25, 改回日期: 2017-03-10

苹果梨(成熟度一致), 西藏农牧学院果园; NaCl、柠檬酸、 V_c 、 Na_2SO_3 、L-半胱氨酸(分析纯), 广州化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

DV214型分析天平, 奥豪斯仪器(上海)有限公司; HR1871型榨汁机, 飞利浦(中国)投资有限公司; SHZ-D(III)型循环水真空泵, 湖南力辰仪器科技有限公司; WK2102T型电磁炉, 美的集团有限公司; UV-2102PC型紫外-可见分光光度计, 尤尼柯(上海)仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品的制备

采摘成熟度一致、无机械伤、无腐烂果的新鲜苹果梨, 去皮、核切分后, 置于常温的护色剂溶液中浸泡20 s, 取出后经控水、榨汁、澄清、过滤后, 测定色差及褐变指数, 并计算褐变抑制率。

1.3.2 单因素试验

按表1配方进行单因素试验, 考察各因素对苹果梨汁褐变效果的影响, 筛选适合苹果梨汁的护色剂, 并确定其浓度。

表1 单因素护色试验

Table 1 Single factor test of color-protecting

护色剂	剂量/[g · (100mL) ⁻¹]					
NaCl	0	0.020	0.040	0.060	0.080	0.100
柠檬酸	0	0.200	0.400	0.600	0.800	1.000
V_c	0	0.010	0.030	0.050	0.070	0.090
Na_2SO_3	0	0.003	0.006	0.009	0.012	0.015
L-半胱氨酸	0	0.002	0.004	0.006	0.008	0.010

1.3.3 正交试验

以不同浓度单一护色剂对苹果梨汁的褐变抑制率及色差值为指标,运用 $L_8(2^7)$ 正交表进行 5 因素 2 水平正交试验,通过正交试验助手对试验结果极差进行分析,分析判断不同单一护色剂对苹果梨汁的褐变抑制率及色差值影响的强弱关系。试验因素水平见表 2 所示。

表 2 正交试验因素与水平表

Table 2 Factors and levels of orthogonal tests

护色剂	剂量水平/[g · (100mL) ⁻¹]	
(A) NaCl	0.040(1)	0.080(2)
(B) 柠檬酸	0.400(1)	0.800(2)
(C) V _c	0.050(1)	0.090(2)
(D) Na ₂ SO ₃	0.006(1)	0.012(2)
(E) L-半胱氨酸	0.006(1)	0.010(2)

注:()内 1、2 为编码值。

1.3.4 响应面试验

在正交试验基础上,通过极差分析,确定出对苹果梨汁褐变抑制效果较好的 3 种单一护色剂:柠檬酸、Na₂SO₃、L-半胱氨酸。由此设计 3 因素 3 水平的中心组合试验设计(BBD),因素水平表见表 3 所示,以复合护色剂对苹果梨汁褐变抑制率及色差值为指标,利用 Design Expert 试验设计软件进行数据分析,确定苹果梨汁的最佳护色剂配方。

表 3 响应面试验因素水平表

Table 3 Experimental design and variables levels

因素	剂量水平/[g · (100mL) ⁻¹]		
(A) 柠檬酸	0.400	0.600	0.800
(B) Na ₂ SO ₃	0.006	0.009	0.012
(C) L-半胱氨酸	0.006	0.008	0.010

1.3.5 指标测定方法

1.3.5.1 苹果梨汁色泽的测定及色差的计算方法

通过使用色差仪对苹果梨汁待测样进行测定,记录 L^* 、 a^* 、 b^* 值。色差值 ΔE 即由 L^* 、 a^* 、 b^* 值通过公式计算得到

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

ΔE 单位为 NBS。其中, ΔE 越小表明色泽越接近,反之为相差越大; L^* 表示样品色泽的明亮程度, L^* 值越大表示亮度越大,反之值越小,表示亮度越小。试验样品色差测定重复 5 次^[11]。

1.3.5.2 苹果梨汁褐变度的测定及褐变抑制率的计算方法

采摘成熟度一致、无机械伤、无腐烂果的新鲜苹

果梨,去皮、核切分后,置于常温的护色剂溶液中浸泡 20 s,取出后经控水、榨汁、澄清、过滤后,用分光光度计于 420 nm 处测定苹果梨汁的吸光度 A , 即为褐变度^[11]。

$$\text{褐变抑制率}(R)/\% = \frac{A_0 - A_m}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

式中: R , 褐变抑制率; A_0 , 空白试验苹果梨汁褐变度; A_m , 经护色剂处理的苹果梨汁褐变度。

1.3.6 数据处理

单因素试验结果采用 Origin 9.0 软件绘制单因素分析图; 5 因素 2 水平正交试验结果及极差通过正交试验助手进行分析; 响应面试验通过 Design Expert 8.0 软件分析。每个试验重复 3 次, 试验样品吸光度及色差测定重复 5 次。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果与分析

2.1.1 NaCl 浓度对苹果梨汁护色效果的影响

如图 1 所示,随着护色剂中 NaCl 浓度的升高其褐变抑制率逐渐提高; 色差值 ΔE 与 L^* 不断下降。当 NaCl 浓度达到 0.06 g/100 mL 时,随着 NaCl 浓度的升高,褐变抑制率、色差值 ΔE 变化趋缓, L^* 出现明显下降。说明 NaCl 浓度的提高对苹果梨汁的护色效果是显著的,可能是因为 NaCl 离子通过影响苹果梨汁中蛋白质的分解与结合,抑制苹果梨汁中多酚氧化酶以及过氧化氢酶活性,控制苹果梨汁酶促褐变;随着 NaCl 溶液浓度的提高,可以降低溶液中氧溶解量,避免苹果梨汁与氧的过多接触,进而抑制果汁发生非酶褐变^[12-15]。综合褐变抑制率、色差值 ΔE 与 L^* 考虑,浓度为 0.06 g/100 mL 的 NaCl 溶液护色效果最好。

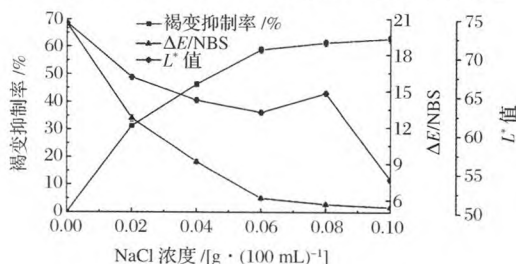


图 1 NaCl 浓度对苹果梨汁护色效果的影响

Fig. 1 The effect of NaCl on colour of the Pingguoli pear juice

2.1.2 柠檬酸浓度对苹果梨汁护色效果的影响

如图 2 所示,随着护色剂中柠檬酸浓度的升高其褐变抑制率逐渐提高; 色差值 ΔE 与 L^* 不断下降。当柠檬酸浓度达到 0.6 g/100 mL 时,随着柠檬酸浓

度的升高,褐变抑制率、色差值 ΔE 变化趋缓, L^* 略有上升,说明柠檬酸浓度的提高对苹果梨汁的护色效果是显著的,可能是因为,在一定酸度条件下,羰氨反应中的缩合物易于水解;且在羰氨反应过程中,反应体系游离的氨基酸被结合后,体系 pH 值会不断下降,说明碱性条件对羰氨反应的发生有一定促进作用^[16-18]。故,适当柠檬酸浓度的护色剂对抑制苹果梨汁发生美拉德褐变有一定作用。综合褐变抑制率、色差值 ΔE 与 L^* 考虑,浓度为 0.6 g/100 mL 的柠檬酸溶液护色效果最好。

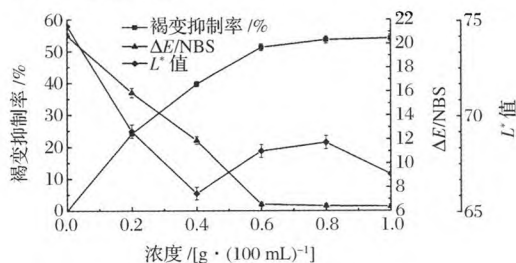


图2 柠檬酸浓度对苹果梨汁护色效果的影响

Fig. 2 The effect of citric acid on colour of the Pingguoli pear juice

2.1.3 V_c 浓度对苹果梨汁护色效果的影响

如图3所示,随着护色剂中 V_c 浓度的升高其褐变抑制率逐渐提高;色差值 ΔE 与 L^* 不断下降。当柠檬酸浓度达到 0.7 g/100 mL 时,随着 V_c 浓度的升高,褐变抑制率、色差值 ΔE 变化趋缓, L^* 略有下降,说明 V_c 浓度的提高对苹果梨汁的护色效果是显著的,可能是因为, V_c 不仅可以降低苹果梨汁体系的 pH 值,还因其作为抗氧化剂,有一定还原能力,可以将苹果梨汁体系中的醌类及其衍生物类物质还原成酚类物质。但是,当 V_c 含量偏少或苹果梨汁体系中氧含量偏高时, V_c 被全部氧化进而会与氨基酸结合促进非酶褐变,这可能是 V_c 浓度偏低时,护色效果不明显的主要原因之一^[19-21]。综合褐变抑制率、色差值 ΔE 与 L^* 考虑,浓度为 0.7 g/100 mL 的 V_c 溶液护色效果最好。

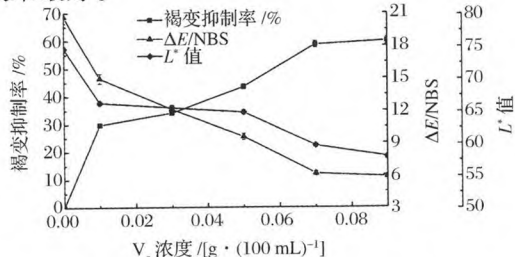


图3 V_c 浓度对苹果梨汁护色效果的影响

Fig. 3 The effect of V_c on colour of the Pingguoli pear juice

2.1.4 Na_2SO_3 浓度对苹果梨汁护色效果的影响

如图4所示,随着护色剂中 Na_2SO_3 浓度的升高其褐变抑制率逐渐提高;色差值 ΔE 与 L^* 不断下降。当 Na_2SO_3 浓度达到 0.009 g/100 mL 时,随着 Na_2SO_3 浓度的升高,褐变抑制率、色差值 ΔE 变化趋缓, L^* 略有上升,说明 Na_2SO_3 浓度的提高对苹果梨汁的护色效果是显著的,因 Na_2SO_3 控制褐变机制尚不明确,可能由于 Na_2SO_3 可以抑制多酚氧化酶活性或其可以与醌类化合物通过加成反应进而防止醌类的聚合,从而抑制苹果梨汁褐变^[22-25]。综合褐变抑制率、色差值 ΔE 与 L^* 考虑,浓度为 0.009 g/100 mL 的 Na_2SO_3 溶液护色效果最好。

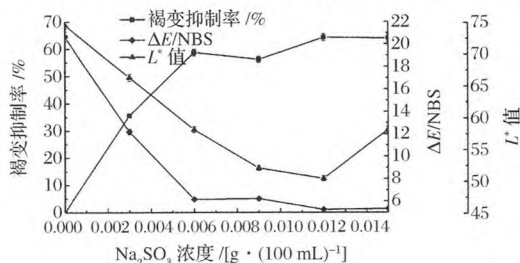


图4 Na_2SO_3 浓度对苹果梨汁护色效果的影响

Fig. 4 The effect of Na_2SO_3 on colour of the Pingguoli pear juice

2.1.5 L-半胱氨酸浓度对苹果梨汁护色效果的影响

如图5所示,随着护色剂中 L-半胱氨酸浓度的升高其褐变抑制率逐渐提高;色差值 ΔE 与 L^* 不断下降。当 L-半胱氨酸浓度达到 0.008 g/100 mL 时,随着 L-半胱氨酸浓度的升高,褐变抑制率、色差值 ΔE 变化趋缓, L^* 略有下降,说明 L-半胱氨酸浓度的提高对苹果梨汁的护色效果是显著的,可能是由于 L-半胱氨酸中含有一定数量的还原性基团,其不仅可以与酚酶中的铜离子结合,还可以与酶促反应产物结合生产无色物质,进而控制苹果梨汁的褐变程度^[12, 14, 26-28]。综合褐变抑制率、色差值 ΔE 与 L^* 考虑,浓度为 0.008 g/100 mL 的 L-半胱氨酸溶液护色效果最好。

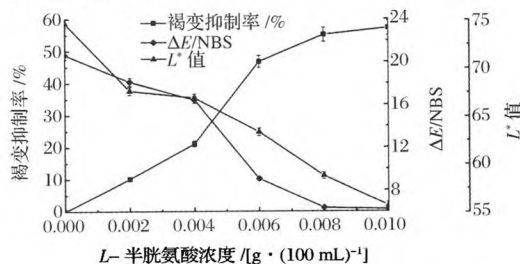


图5 L-半胱氨酸浓度对苹果梨汁护色效果的影响

Fig. 5 The effect of L-glycine on colour of the Pingguoli pear juice

2.2 正交试验结果与分析

为确定 5 种护色剂对苹果梨汁褐变抑制率及色差的影响,在单一护色剂对苹果梨汁护色效果影响单因素试验基础上,分别选择 5 种护色剂中的 3 个较优水平,利用 $L_8(2^7)$ 正交表进行正交试验,并分析试验结果,见表 4。通过极差分析结果,得到 5 种单一护色剂对褐变抑制率及色差影响的主次关系。由极差

分析可知,影响苹果梨汁褐变抑制率的主次顺序为: $D > E > B > A > C$,即 $\text{Na}_2\text{SO}_3 > L\text{-半胱氨酸} > \text{柠檬酸} > \text{NaCl} > \text{V}_\text{C}$;影响苹果梨汁色差的主次顺序为: $D > B > E > A > C$,即 $\text{Na}_2\text{SO}_3 > \text{柠檬酸} > L\text{-半胱氨酸} > \text{NaCl} > \text{V}_\text{C}$ 。综合考虑,确定影响苹果梨汁褐变的 3 个单一护色剂为:柠檬酸、 Na_2SO_3 、 $L\text{-半胱氨酸}$ 。

表 4 正交试验结果
Table 4 Orthogonal experiment results

试验	A (NaCl)/ [g · (100mL) ⁻¹]	B (柠檬酸)/ [g · (100mL) ⁻¹]	C (V _C)/ [g · (100mL) ⁻¹]	D (Na ₂ SO ₃)/ [g · (100mL) ⁻¹]	E (L-半胱氨酸)/ [g · (100mL) ⁻¹]	I (褐变抑制率)/ %	II (色差值)/ NBS
1	1	1	1	1	1	57.31	26.17
2	1	1	1	2	2	64.57	23.89
3	1	2	2	1	1	59.84	25.07
4	1	2	2	2	2	64.02	23.16
5	2	1	2	1	2	61.38	24.58
6	2	1	2	2	1	59.84	25.07
7	2	2	1	1	2	60.61	24.75
8	2	2	1	2	1	63.14	23.26
I	K_1	61.435	60.775	61.407	59.785	60.032	主次关系 $D > E > B > A > C$
	K_2	61.242	61.903	61.270	62.892	62.645	
	K	0.193	1.128	0.137	3.107	2.613	
II	K'_1	24.572	24.928	24.518	25.142	24.893	主次关系 $D > B > E > A > C$
	K'_2	24.415	24.060	24.470	23.845	24.095	
	K'	0.157	0.868	0.048	1.297	0.798	

2.3 响应面优化试验

2.3.1 响应面试验设计及结果

表 5 为 Design Expert 8.0 软件根据 Box-Behnken 试验设计的苹果梨汁护色条件的试验设计及结果。

表 5 响应面试验设计及结果
Table 5 The response surface and the experimental results

试验	A (柠檬酸)/ [g · (100mL) ⁻¹]	B (Na ₂ SO ₃)/ [g · (100mL) ⁻¹]	C (L-半胱氨酸)/ [g · (100mL) ⁻¹]	I (褐变抑制率)/ %	II (色差值)/ NBS
1	1	-1	0	56.7	27.41
2	0	-1	-1	54.2	27.64
3	0	0	0	56.8	26.39
4	-1	0	1	56.1	26.52
5	0	0	0	56.7	26.61
6	1	0	1	57.2	26.21
7	0	1	1	57.9	25.90
8	1	1	0	57.4	26.12
9	-1	-1	0	53.9	27.28
10	0	1	-1	56.8	26.38
11	0	0	0	56.8	26.39
12	0	0	0	56.9	26.61
13	0	0	0	56.6	26.86
14	0	-1	1	57.1	26.23
15	-1	1	0	56.8	26.40
16	1	0	-1	55.1	27.18
17	-1	0	-1	54.9	27.49

2.3.2 模型的建立及分析

利用 Design Expert 8.0 软件对表 5 试验进行多元回归拟合分析,得到不同苹果梨汁护色剂与褐变抑制率及色差值直接的回归模型:

褐变抑制率/% = 56.63 + 0.21A + 0.98B + 1.01C + 0.21AB + 0.012AC - 0.47BC - 0.66A² + 0.013B² - 0.089C² (3)

色差值/NBS = 26.57 - 0.096A - 0.47B - 0.48C - 0.10AB + 0.23BC + 0.27A² - 0.041B² + 6.5 × 10⁻³C² (4)

由表 6、表 7 可知,抑制褐变率模型的 $p < 0.000$ 1,色差值模型 $p = 0.000$ 9,均表明回归模型是极显著;抑制褐变率失拟项 $p = 0.146$ 1,色差值失拟项 $p = 0.641$ 4,均为不显著;制褐变率决定系数 $R^2 = 0.949$ 9,色差值决定系数 $R^2 = 0.950$ 3,说明 2 种指标的护色模型拟合度良好,试验误差小,可以用来分析和预测苹果梨汁的护色工艺。

表 6 抑制褐变率方差分析
Table 6 Variance analysis for the browning inhibition rate

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值
模型	19.104 83	9	2.122 759	34.705 46	<0.000 1
残差	0.428 155	7	0.061 165		
失拟项	0.301 875	3	0.100 625	3.187 361	0.146 1
纯误差	0.126 28	4	0.031 57		
总和	19.532 99	16			

表 7 色差值方差分析

Table 7 Variance analysis for the ΔE

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值
模型	4.248 133	9	0.472 015	14.879 66	0.000 9
残差	0.222 055	7	0.031 722		
失拟项	0.069 975	3	0.023 325	0.613 493	0.641 4
纯误差	0.152 08	4	0.038 02		
总和	4.470 188	16			

2.3.3 苹果梨汁护色工艺响应面分析及优化

从图 5 两幅图可以看出,等高线均为椭圆形,说明柠檬酸与 Na_2SO_3 两种护色剂的交互作用是显著的, Na_2SO_3 的曲面相对于柠檬酸的曲面明显较陡,且等高线沿 Na_2SO_3 轴较柠檬酸轴更密集,说明 Na_2SO_3 对苹果梨汁褐变抑制率及色差值的影响较柠檬酸大。

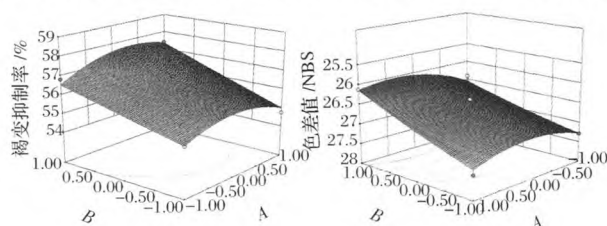


图 5 柠檬酸与 Na_2SO_3 的交互作用对褐变抑制率及色差值的影响

Fig. 5 Effect of citric acid and Na_2SO_3 on the brownig inhibition rate and ΔE

从图 6 两幅图可以看出,等高线均为椭圆形,说明柠檬酸与 L -半胱氨酸 2 种护色剂的交互作用是显著的。 L -半胱氨酸的曲面相对于柠檬酸的曲面明显较陡,且等高线沿 L -半胱氨酸轴较柠檬酸轴更密集,说明 L -半胱氨酸对苹果梨汁褐变抑制率及色差值的影响较柠檬酸大。

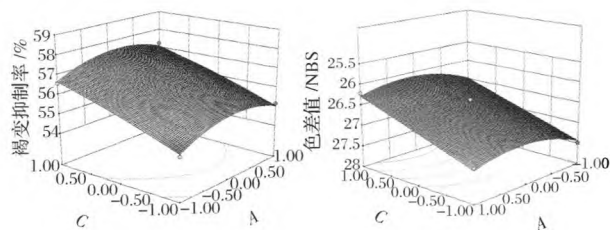


图 6 柠檬酸与 L -半胱氨酸的交互作用对褐变抑制率及色差值的影响

Fig. 6 Effect of citric acid and L -gystein on the brownig inhibition rate and ΔE

从图 7 两幅图可以看出,等高线均为椭圆形,说

明 Na_2SO_3 与 L -半胱氨酸 2 种护色剂的交互作用是显著的,从 Na_2SO_3 与 L -半胱氨酸交互作用对褐变抑制率的影响图中发现两者曲面完全程度基本一致,但从 Na_2SO_3 与 L -半胱氨酸交互作用对色差值的影响图中可以略微发现, Na_2SO_3 的曲面相对于 L -半胱氨酸的曲面更较陡,说明 Na_2SO_3 对苹果梨汁褐变抑制率及色差值的影响较 L -半胱氨酸大。

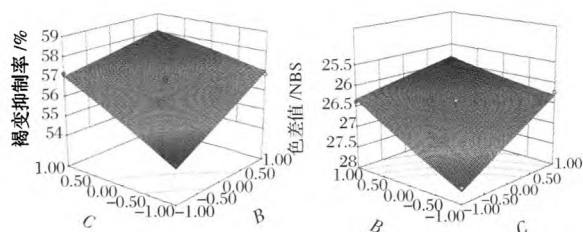


图 7 Na_2SO_3 与 L -半胱氨酸的交互作用对褐变抑制率及色差值的影响

Fig. 7 Effect of Na_2SO_3 and L -gystein on the brownig inhibition rate and ΔE

2.3.4 苹果梨汁最佳护色工艺的确定及验证试验

根据响应面试验所得结果,利用软件分析后,确定最佳的苹果梨汁护色剂配方为:柠檬酸添加量为 0.67 g/100 mL, Na_2SO_3 添加量为 0.01 g/100 mL, L -半胱氨酸添加量为 0.01 g/100 mL,在此配方条件下预测苹果梨汁褐变抑制率为 58.1%,色差值为 25.8 NBS。为验证试验模型可行性,按照上述试验条件进行验证试验,3 次平行试验发现,苹果梨汁平均褐变抑制率为 58.6%、平均色差值为 25.3 NBS,预测值与试验值吻合程度分别为 99.14% 和 98.06%,说明响应面法预测吻合度较高,可以准确预测褐变抑制率及色差值。

3 结论

通过单因素试验对不同浓度单一护色剂对苹果梨汁护色效果的研究,确定 5 种单一护色剂的较优护色浓度,然后通过 5 因素 2 水平正交试验及极差分析,确定不同单一护色剂对苹果梨汁褐变抑制率及色差值影响的主次关系分别为: $\text{Na}_2\text{SO}_3 > L$ -半胱氨酸 $>$ 柠檬酸 $> \text{NaCl} > V_c$, $\text{Na}_2\text{SO}_3 >$ 柠檬酸 $> L$ -半胱氨酸 $> \text{NaCl} > V_c$,经综合考虑,确定主要影响苹果梨汁褐变的 3 个单一护色剂为:柠檬酸、 Na_2SO_3 和 L -半胱氨酸。之后,在上述试验基础上,采用响应面法对苹果梨汁护色剂配方建立回归模型,确定最佳护色剂配方为:柠檬酸添加量为 0.67 g/100 mL, Na_2SO_3 添加量为

0.01 g/100 mL, *L*-半胱氨酸添加量为 0.01 g/100 mL, 在此配方条件下预测苹果梨汁褐变抑制率为 58.1%, 色差值为 25.8 NBS。3 次平行试验发现, 苹果梨汁平均褐变抑制率为 58.6%、平均色差值为 25.3 NBS, 预测值与试验值吻合程度分别为 99.14% 和 98.06%, 说明响应面法预测吻合度较高, 可以准确预测褐变抑制率及色差值, 即所得护色剂配方是科学合理的。

参 考 文 献

- [1] 杨金燕. 苹果梨的特征特性及丰产栽培技术[J]. 种子世界, 2015(7):51-53.
- [2] 牛歆雨, 白玛曲卓, 张良英, 等. 常温贮藏下苹果梨品质的变化[J]. 甘肃农业科技, 2012(10):24-26.
- [3] 麻剑南. 苹果梨果皮和蓝盆花的化学成分及生物活性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2015:13-14.
- [4] CHEN S, LI Y, BI Y, et al. Solvent effects on the ultra-structure and chemical composition of cuticular wax and its potential bioactive role against *alternaria alternata* in Pingguoli Pear[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(5):1 137-1 145.
- [5] YIN Y, BI Y, CHEN S, et al. Chemical composition and antifungal activity of cuticular wax isolated from Asian pear fruit (cv. Pingguoli)[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 129(4):577-582.
- [6] 程建军, 王震新, 于静海, 等. 苹果梨和鸭梨酶促褐变机理的研究[J]. 食品科学, 2000, 21(2):71-74.
- [7] SONG Y, YAO Y, ZHAI H, et al. Polyphenolic compound and the degree of browning in processing apple varieties[J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6(5):607-612.
- [8] VAIKOUSI H, KOUTSOUMANIS K, BILIADERIS C G. Kinetic modelling of non-enzymatic browning of apple juice concentrates differing in water activity under isothermal and dynamic heating conditions[J]. Food Chemistry, 2008, 107(2):785-796.
- [9] ZHU D, JI B, EUM H L, et al. Evaluation of the non-enzymatic browning in thermally processed apple juice by front-face fluorescence spectroscopy[J]. Food Chemistry, 2009, 113(1):272-279.
- [10] 张亚伟. 不同品种梨汁酶促褐变因素及其控制技术[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011:11-12.
- [11] 刘俊围, 王维民, 谌素华, 等. 速冻香蕉护色剂的研究[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(2):129-134.
- [12] 覃慧, 杨志伟. 不同护色剂对油梨果肉护色效果研究[J]. 食品科技, 2015(12):300-305.
- [13] 苏宇杰, 汪家琦, 周頔, 等. 一种新型怀山药饮料的护色工艺[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(7):206-211.
- [14] YUAN Y, SHU C, ZHOU B, et al. Impact of selected additives on acrylamide formation in asparagine/sugar Maillard model systems[J]. Food Research International, 2011, 44(1):449-455.
- [15] TAJCHAKAVIT S, BOYE J I, BÉLANGER D, et al. Kinetics of haze formation and factors influencing the development of haze in clarified apple juice[J]. Food Research International, 2001, 34(5):431-440.
- [16] 徐春明, 李婷, 王英英, 等. 均匀设计法优化鲜切山药的护色工艺[J]. 食品科学技术学报, 2015, 33(1):55-58.
- [17] 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, 2009:12-13.
- [18] QUEIROZ C, DA SILVA A J R, LOPES M L M, et al. Polyphenol oxidase activity, phenolic acid composition and browning in cashew apple (*Anacardium occidentale*, L.) after processing[J]. Food Chemistry, 2011, 125(1):128-132.
- [19] 刘金豹, 翟衡, 张静. 果汁褐变及其影响因素研究进展[J]. 饮料工业, 2004(3):1-5.
- [20] 刘苏苏. 南果梨果汁饮料工艺技术及其稳定性研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2016:14-15.
- [21] İYIDOĞAN N F, BAYINDIRLI A. Effect of l-cysteine, kojic acid and 4-hexylresorcinol combination on inhibition of enzymatic browning in Amasya apple juice[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 62(3):299-304.
- [22] 魏送送. 混浊梨汁酶促褐变机理及控制技术研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014:18-19.
- [23] 刘功德, 苏艳兰, 韦茂新, 等. 菠萝果粒加工工艺的研制[J]. 食品科技, 2012(1):65-68.
- [24] 谢国芳, 周俊良, 许倩, 等. 火龙果果汁饮料护色工艺[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(12):111-114.
- [25] 解利利. 蓝莓浊汁饮料加工技术的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011:34-35.
- [26] 邓瑞君, 徐荣雄. 抗褐变剂对杨桃汁饮料品质的影响[J]. 食品科技, 2013(10):260-263.
- [27] 黄文书, 曹虹. 库尔勒香梨汁护色与澄清技术的研究[J]. 保鲜与加工, 2015(1):45-48.
- [28] 钜晓艳, 李新, 耿胜荣, 等. 红提澄清汁酶解及护色工艺[J]. 湖北农业科学, 2014(16):3 877-3 881.

Color protection of apple-pear juice at ambient temperature

LI Liang^{1,2}, JIA Fu-chen¹, GAO Chang¹, NIE Cheng-ling¹,
WANG Li-zheng¹, XUE Bei^{1,2}, LIU Zhen-dong^{1,2*}

1(Xizang Agricultural and Animal Husbandry College, Department of Food Science, Nyingchi 860000, China)

2(Xizang Agricultural and Animal Husbandry College Development Platform of
Wild Characteristic Biological Resources, Nyingchi 860000, China)

ABSTRACT To inhibit browning of pinguoli pear juice, before squeezed the fruits, chosen browning inhibition rate and color fixative(ΔE) as the indexes and based on the single factor experiment results, five factor- two level orthogonal experiment was performed. Three single color fixatives which highly impacted on the browning were: Citric acid, Na_2SO_3 and *L*-gystein. Then the optimization was and analyze of selecting fixative was studied by response surface regression. The best compound inhibitors and ΔE were as follows: Citric acid dosage 0.67g/100mL, NaSO_3 dosage 0.01g/100mL and *L*-gystein dosage 0.01g/100mL. Under the above conditions, the rate of predicted browning inhibition and ΔE were 58.1% and 25.8 NBS; the actual value were 58.6% and 25.3 NBS, the accuracy between actual value and predicted value was reached to 99.14% and 98.06%.

Key words Pinguoli pear juice; browning inhibition rate; color difference; color fixative