

野木瓜果汁非酶褐变复配抑制剂的优化

Study on the Optimization of the Compound Inhibitor of Non-enzymatic Browning in *Stanuntonia chinensis* juice

崔霖芸

CUI Lin-yun

(遵义医药高等专科学校基础部, 贵州 遵义 563000)

(Basic Department of Zunyi Medical and Pharmaceutical College, Zunyi, Guizhou 563003, China)

摘要:为优化野木瓜果汁非酶褐变复配抑制剂配比,通过单因素试验,选择并确定 EDTA- Na_2 、D-异抗坏血酸钠、L-半胱氨酸、柠檬酸 4 种抑制剂及其水平,以褐变抑制率为响应变量,采用 Box-Behnken 设计响应面试验方案。利用 Design Expert 8.0 软件得到回归模型并进行响应面分析,确定野木瓜果汁非酶褐变复配抑制最优配比为:EDTA- Na_2 0.001 1%、D-异抗坏血酸钠 0.212 6%、L-半胱氨酸 0.543 4%、柠檬酸 0.191 7%,该复配抑制剂的抑制率为 77.14%。

关键词:野木瓜果汁;非酶褐变;抑制;复配

Abstract: To optimize the compound inhibitor of the non-enzymatic browning in *Stanuntonia chinensis* juice, four inhibited single factor experiments, i.e., EDTA- Na_2 (X_1), Sodium D-isoascorbate (X_2), L-cysteine (X_3) and Citric Acid (X_4), were used as the independent variables, while the non-enzymatic browning inhibition rate (Y) was regarded as the dependent variable. Moreover, the response surface experiments were undertaken by Box-Behnken design and process the data by Expert 8.0. With the Response Surface Methodology (RSM), the optimal inhibited process parameters of non-enzymatic browning in the *S. chinensis* juice was found to be combination of 0.001 1% EDTA- Na_2 , 0.212 6% Sodium D-isoascorbate, 0.543 4% L-cysteine and 0.191 7% citric acid. In that condition, the inhibition rate was 77.14%.

Keywords: *Stanuntonia Chinensis* juice; non-enzymatic browning; inhibition; Compound

野木瓜(*Stanuntonia Chinensis*)是中国传统中药材,主要分布于华东、华中及西南等地。味酸性温,具有舒筋活络、和胃化湿的功效^[1],被用于治疗哮喘、感冒、咽喉痛、风湿性关节炎及肝炎等^[2]。现代研究^[3-4]表明野木瓜具有多种生

物活性和药理作用,如免疫调节、抗炎镇痛、抗肿瘤、抗菌和抗氧化作用。贵州省遵义市正安县盛产野木瓜,因其独特的地理环境,正安野木瓜具有果大、皮薄、气香、味酸的特点,富含黄酮、酚类、糖类、有机酸和多种维生素与矿物质,品质优良^[5-6]。野木瓜除了制成片剂药用外,在食品加工中的运用也较多,常见的加工品有野木瓜干、糕糖、野木瓜酒、醋等,其中野木瓜果汁是能最大程度保留野木瓜优良营养品质与风味的产品。但是野木瓜果汁在储存过程中易发生褐变,严重影响了果汁产品的观感和独特风味,造成产品品质丧失(如色变、风味丧失和营养损失等)^[7],缩短了产品保质期,成为野木瓜果汁生产的主要制约因素^[8]。

果汁褐变分为酶促褐变和非酶褐变。酶促褐变可通过钝化多酚氧化酶和降低氧浓度得到较好控制,而非酶褐变由于化学反应复杂,中间产物众多,最终产物也十分复杂,所以较难控制。已报道^[9-15]采用的化学抑制剂种类众多,如抗坏血酸、植酸、柠檬酸、L-半胱氨酸、谷胱甘肽等。研究^[16]表明,复合抑制剂的抑制效果优于单一抑制剂,复合抑制剂不但可以协调各个抑制剂的最佳浓度,还可以发挥抑制剂间的相互协同作用,如低浓度的半胱氨酸能显著抑制抗坏血酸的降解。许鹏丽等^[17]研究了巴西甜橙汁的抗褐变剂,显示亚硫酸钠(0.000 8%)和抗坏血酸(0.050%)对橙汁褐变有明显抑制作用。李鹏等^[18]发现 0.2%的 D-异抗坏血酸钠、0.02%的 L-半胱氨酸和 0.01%的亚硫酸氢钠混合抑制剂可以有效抑制柿子汁的非酶褐变。寇天舒等^[19]则提出无花果汁复合护色剂的最佳组合为 4 g/L Vc + 4 g/L 柠檬酸 + 0.75 g/L EDTA- Na_2 。目前对于野木瓜果汁非酶褐变复配抑制优化的研究尚未见报道。

本研究拟在前期野木瓜汁非酶褐变的主要影响因素及其权重研究的基础上,针对主要褐变因素筛选出最优褐变抑制剂,通过传统的单因素法找到各抑制剂的最优浓度,再采用响应面法优化抑制剂配方工艺,以期为解决野木瓜汁非酶褐变问题提供参考。

基金项目:贵州省科技计划项目(编号:黔科合 LH 字[2016]7417 号);遵义市科技局项目(编号:遵市科合社字[2013]19 号)

作者简介:崔霖芸(1976—),女,遵义医药高等专科学校副教授,硕士。E-mail: cly19766@163.com

收稿日期:2017-01-17

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

野木瓜:产于贵州省遵义市正安县;
L-半胱氨酸:生化试剂,天津市科密欧化学试剂有限公司;
D-异抗坏血酸钠:含量 98%,国药集团化学试剂有限公司;
EDTA-Na₂(乙二胺四乙酸二钠)、柠檬酸、焦性没食子酸等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;
数显恒温水浴锅:HH-2 型,江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;
高速冷冻离心机:H-1850R 型,长沙湘仪离心仪器有限公司;
榨汁机:JYZ-V902 型,山东九阳股份有限公司;
微波炉:Galanz WD900TL23 型,广东顺德格兰仕微波炉有限公司;
精密酸度计:PHS-2F 型,上海雷磁仪器厂;
紫外可见分光光度计:UV-1801 型,北京北分瑞利分析仪器有限公司。

1.2 工艺流程

野木瓜鲜果挑选→清洗→去皮去核切块→微波灭酶→榨汁→添加抑制剂→杀菌→装瓶→成品

1.3 操作要点

1.3.1 微波灭酶 本试验研究的是非酶褐变,因此需将野木瓜片在 800 W 的微波中灭酶 50 s。
1.3.2 榨汁 将野木瓜片榨汁后,离心(4 000 r/min, 10 min),得上清液。
1.3.3 单一褐变抑制剂的抑制作用 根据预试验的筛选结果,选定 4 种野木瓜果汁非酶褐变抑制剂:EDTA-Na₂、L-半胱氨酸、D-异抗坏血酸钠、柠檬酸,考察单一褐变抑制剂的抑制作用。

(1) EDTA-Na₂ 的抑制作用:设置 EDTA-Na₂ 的添加量(质量浓度)为 0.000 1%,0.000 5%,0.001 0%,0.001 5%,0.002 0%,0.002 5%,0.003 0%,不添加其它抑制剂,考察 EDTA-Na₂ 的添加量对野木瓜果汁非酶褐变的抑制作用。

(2) D-异抗坏血酸钠的抑制作用:设置 D-异抗坏血酸钠的添加量(质量浓度)为 0.01%,0.05%,0.10%,0.20%,0.30%,0.40%,0.50%,不添加其它抑制剂,考察 D-异抗坏血酸钠的添加量对野木瓜果汁非酶褐变的抑制作用。

(3) L-半胱氨酸的抑制作用:设置 L-半胱氨酸的添加量(质量浓度)为 0.01%,0.5%,0.10%,0.30%,0.50%,0.80%,1.10%,不添加其它抑制剂,考察 L-半胱氨酸的添加量对野木瓜果汁非酶褐变的抑制作用。

(4) 柠檬酸的抑制作用:设置柠檬酸的添加量(质量浓度)为 0.01%,0.05%,0.10%,0.20%,0.30%,0.40%,0.50%,不添加其它抑制剂,考察柠檬酸的添加量对野木瓜果汁非酶褐变的抑制作用。

1.3.4 响应面法优化复合褐变抑制剂 选定 EDTA-Na₂、D-异抗坏血酸钠、L-半胱氨酸、和柠檬酸 4 种抑制剂为因素,褐变抑制率为响应变量。采用 Box-Behnken 设计试验。

1.3.5 数据分析处理 试验数据用 Design Expert 8.0 软件处理。

1.4 野木瓜果汁非酶褐变抑制率的测定方法

非酶褐变中间产物在 420 nm 波长处有最大吸收^[20],故在 420 nm 波长下测定样品的吸光值,按式(1)计算样品的褐变抑制率^[18]。

$$I = \frac{A_0 - A_i}{A_0} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:
I——抑制率,%;
A_i——添加抑制剂的褐变度;
A₀——未添加抑制剂的褐变度。

2 结果和讨论

2.1 野木瓜果汁非酶褐变抑制的单因素试验

2.1.1 EDTA-Na₂ 的抑制作用 由图 1 可知,当加入 EDTA-Na₂ 时,对野木瓜汁的褐变有明显的抑制作用,EDTA-Na₂ 添加量增加至 0.001 0%时抑制率接近最大值,此后抑制率变化幅度不大。分析原因可能是野木瓜果汁中微量的铜、铁等金属离子具有调节氧化还原电位的作用,而 EDTA-Na₂ 是一种金属螯合剂,常温下易与铁、铜、钙等金属离子螯合而使其转变成不活泼的水溶性络合物,从而抑制其氧化和电子传递的作用^[21]。因此,刚添加 EDTA-Na₂ 时,由于其螯合铜、铁等金属离子,所以抑制作用明显增加,但由于野木瓜果汁中铜、铁等金属离子含量很少,随着 EDTA-Na₂ 浓度的增大,野木瓜果汁中铜、铁等金属离子逐渐被螯合殆尽,故抑制作用无明显变化,因此在响应面试验中将 EDTA-Na₂ 浓度水平定为 0.001 0%。

2.1.2 D-异抗坏血酸钠的抑制作用 由图 2 可知,D-异抗坏血酸钠对野木瓜果汁的褐变抑制作用随着果汁中 D-异抗坏血酸钠浓度的增加而显著增加,当浓度增加到 0.200%后,抑制作用虽略有上升但变化趋于平缓;当浓度超过 0.400%后,抑制作用反而下降。D-异抗坏血酸是 L-抗坏血酸的同分异构体,性质与抗坏血酸相似,但其氧化还原电位比 L-抗

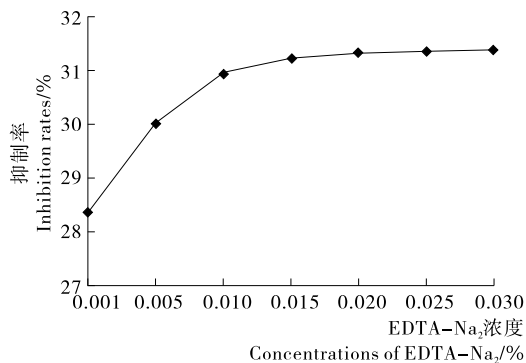


图 1 EDTA-Na₂ 对非酶褐变的抑制作用
Figure 1 Effect of EDTA-Na₂ on the inhibition of non-enzymatic browning

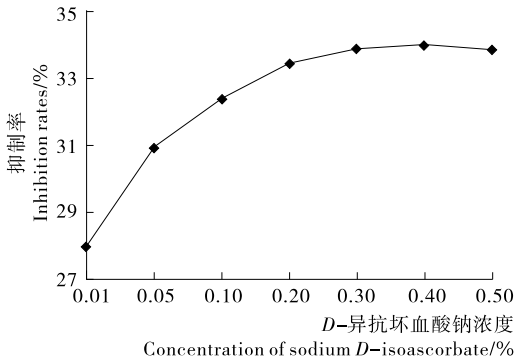


图 2 *D*-异抗坏血酸钠对非酶褐变的抑制作用
Figure 2 Effect of sodium *D*-isoascorbate on the inhibition of non-enzymatic browning

坏血酸还要低,是理想的抗氧化保护剂^[22]。韩希凤^[23]的研究显示抗坏血酸是非酶褐变的重要因素,本课题组的前期研究结果表明,野木瓜果汁非酶褐变的主要因素是多酚和抗坏血酸。因此加入 *D*-异抗坏血酸钠能有效保护多酚和抗坏血酸,从而抑制非酶褐变。但抗坏血酸在高浓度下自身又容易氧化生成红色或黄色的色素^[24-25],增加了褐变度,因此抑制曲线后端略微下降。根据结果确定响应面试验中将 *D*-异抗坏血酸钠浓度水平定为 0.200%。

2.1.3 *L*-半胱氨酸的抑制作用 由图 3 可知,前期 *L*-半胱氨酸对野木瓜果汁非酶褐变的抑制作用随着其浓度的增加而迅速增加,*L*-半胱氨酸浓度为 0.500% 时抑制率可达到 56.43%,但此后增速放缓,并逐渐趋于水平,这可是得益于 *L*-半胱氨酸的巯基中的硫原子。赵国华等^[26]的研究发现含巯基氨基酸对非酶褐变也具有强烈的抑制作用,以同样摩尔数添加,其效果与亚硫酸盐近似。含巯基氨基酸对非酶褐变的抑制作用主要归功于其巯基硫原子极化形成的空轨道重叠后亲核作用增强,在亲核加成反应中—SH 的反应速率比—NH₂ 高 200~300 倍,使羰基化合物首先与—SH 加成而抑制美拉德反应,从而降低褐变度^[27]。随着 *L*-半胱氨酸的增加,羰基化合物因与—SH 加成而逐渐减少,*L*-半胱氨酸的抑制率趋于水平。因此在响应面试验中把 *L*-半胱氨酸浓度水平定为 0.50%。

2.1.4 柠檬酸的抑制作用 由图 4 可知,柠檬酸对野木瓜果

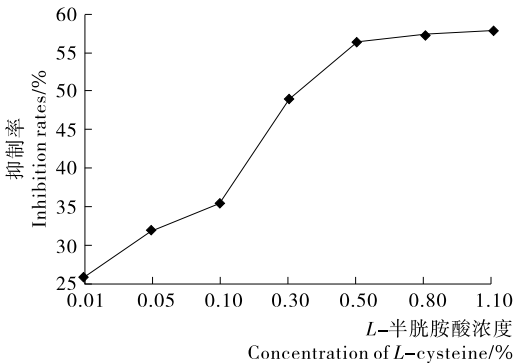


图 3 *L*-半胱氨酸对非酶褐变的抑制作用
Figure 3 Effect of *L*-cysteine on the inhibition of non-enzymatic browning

汁的非酶褐变抑制作用随其浓度的增加而增加,在达到 0.200% 时变化趋于平缓。柠檬酸的抑制作用可能是因其分子结构中有 3 个羧基,可以和金属离子螯合,另外柠檬酸酸性较强,能有效降低果汁的 pH 值,而非酶褐变在低 pH 值下较难发生^[8]。由于野木瓜果汁本身具有一定的酸度,所以柠檬酸对野木瓜果汁非酶褐变抑制作用弱于其它因素,因此,根据结果在响应面试验中将柠檬酸浓度水平定为 0.200%。

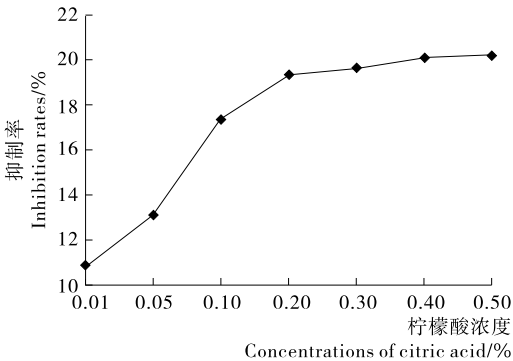


图 4 柠檬酸对非酶褐变的抑制作用
Figure 4 Effect of citric acid on the inhibition of non-enzymatic browning

2.2 复合抑制剂对野木瓜果汁非酶褐变的抑制

2.2.1 响应面法对抑制剂参数最优化 根据单因素试验结果,以 EDTA-Na₂、*D*-异抗坏血酸钠、*L*-半胱氨酸和柠檬酸为自变量,以褐变抑制率作为响应变量,应用响应面法,优化复合抑制剂抑制野木瓜果汁非酶褐变的最佳工艺配方。试验方案及结果见表 1、2。

2.2.2 回归模型的拟合 采用 Design Expert 8.0 软件对表 2 试验结果进行多元回归拟合,得到野木瓜果汁非酶褐变抑制率对 EDTA-Na₂、*D*-异抗坏血酸钠、*L*-半胱氨酸和柠檬酸四因素的二次多项式回归方程为:

$$Y = -232.90 + 20\,878.48X_1 + 246.66X_2 + 907.63X_3 + 269.09X_4 + 23\,116.50X_1X_2 - 18\,957.91X_1X_3 + 5\,457.45X_1X_4 - 133.04X_2X_3 - 207.59X_2X_4 + 41.62X_3X_4 - 7\,574\,512.66X_1^2 - 375.94X_2^2 - 797.35X_3^2 - 661.25X_4^2 \quad (2)$$

由表 3 可知,模型方差分析 $P < 0.000\,1$,表明模型方程极显著,失拟项 $P = 0.205\,9 > 0.05$ 不显著,因此以上二次多项式回归模型可靠。变异系数(CV)是反映模型置信度的重要指标,CV 值越低,模型的置信度越高^[28],本试验 $CV = 0.93\%$,表明模型有较高的置信度。该模型的决定系数 $R^2 = 0.994\,9$,说明该模型能解释 99.49% 响应值的变化,方程拟合程度较好,误差小,采用此模型分析和预测野木瓜果汁非酶

表 1 响应面法试验方案				
Table 1 Program of response surface analysis				
水平	X ₁ EDTA-Na ₂ / %	X ₂ <i>D</i> -异抗坏血酸钠 / %	X ₃ <i>L</i> -半胱氨酸 / %	X ₄ 柠檬酸 / %
-1	0.000 5	0.100	0.400	0.150
0	0.001 0	0.200	0.500	0.200
1	0.001 5	0.300	0.600	0.250

表 2 响应面法试验结果

Table 2 Experimental results of response surface analysis

编号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y 褐变抑制率/%
1	1	0	0	1	72.07
2	0	0	−1	−1	58.62
3	−1	0	0	1	69.79
4	0	−1	1	0	70.79
5	0	0	0	0	74.89
6	0	1	0	−1	72.04
7	0	0	0	0	75.75
8	0	1	−1	0	59.03
9	1	0	0	−1	73.46
10	1	0	−1	0	60.97
11	1	−1	0	0	68.12
12	0	0	−1	1	57.16
13	0	−1	0	1	70.16
14	1	1	0	0	72.66
15	−1	−1	0	0	68.80
16	0	−1	0	−1	68.57
17	0	0	1	1	73.00
18	−1	1	0	0	68.72
19	1	0	1	0	72.51
20	0	1	0	1	69.48
21	0	0	0	0	75.89
22	0	0	0	0	75.20
23	0	0	1	−1	73.63
24	0	1	1	0	71.33
25	0	−1	−1	0	53.17
26	0	0	0	0	74.96
27	−1	0	−1	0	56.81
28	−1	0	0	−1	71.74
29	−1	0	1	0	72.14

褐变控制条件是可靠的。由表 3 回归模型系数显著性检验结果可知,模型的一次项 X₁、X₂、X₃,二次项 X₁²、X₃²、X₃²、X₄²以及交互项 X₁ X₂、X₂ X₃、X₂ X₄对野木瓜果汁非酶褐变抑制率的影响均极显著,X₄、X₁ X₃均显著。依据方程标准化回归系数的估计值(绝对值)X₁=0.98、X₂=1.14、X₃=7.30 和 X₄=0.53,可以得出各因素对野木瓜果汁非酶褐变抑制作用的主次顺序为 X₃>X₂>X₁>X₄,即 *L*-半胱氨酸>*D*-异抗坏血酸钠>EDTA-Na₂>柠檬酸。

2.2.3 响应面图形分析 图 5 是根据二次多项式回归方程作出的各因素与响应值的响应面和等高线图,可直观地反应各因素及其交互作用对响应值的影响。从等高线可以看出,EDTA-Na₂与 *D*-异抗坏血酸钠、*L*-半胱氨酸的交互作用显著,*D*-异抗坏血酸钠与 *L*-半胱氨酸、柠檬酸的交互作用也显著,而柠檬酸与 EDTA-Na₂、*L*-半胱氨酸的交互作用不显著。图 5(b)、(d)、(f)响应曲面坡度较大,尤其是随着 *L*-半胱氨酸添加量的增加,抑制作用变化明显,即沿*L*-半胱氨酸这一

表 3 响应面方差分析表[†]

Table 3 ANOVA for Response Surface Quadratic Model

因素	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	显著性
模型	1 138.03	14	81.29	195.59	<0.000 1	* *
X ₁	11.59	1	11.59	27.88	0.000 1	* *
X ₂	15.50	1	15.50	37.30	<0.000 1	* *
X ₃	640.14	1	640.14	1 540.31	<0.000 1	* *
X ₄	3.41	1	3.41	8.21	0.012 5	*
X ₁ X ₂	5.34	1	5.34	12.86	0.003 0	* *
X ₁ X ₃	3.59	1	3.59	8.65	0.010 7	*
X ₁ X ₄	0.07	1	0.07	0.18	0.678 5	
X ₂ X ₃	7.08	1	7.08	17.03	0.001 0	* *
X ₂ X ₄	4.31	1	4.31	10.37	0.006 2	* *
X ₃ X ₄	0.17	1	0.17	0.42	0.529 0	
X ₁ ²	23.26	1	23.26	55.97	<0.000 1	* *
X ₂ ²	91.67	1	91.67	220.59	<0.000 1	* *
X ₃ ²	412.39	1	412.39	992.29	<0.000 1	* *
X ₄ ²	17.73	1	17.73	42.65	<0.000 1	* *
残差	5.82	14	0.42			
失拟项	4.99	10	0.50	2.41	0.205 9	
净误差	0.83	4	0.21			
总和	1 143.85	28				

† * 表示显著 P<0.05, * * 表示极显著 P<0.01。

侧面坡度较大,表明 *L*-半胱氨酸对野木瓜果汁非酶褐变抑制影响较为强烈,是野木瓜果汁非酶褐变抑制的主要因素,这与单因素试验结果相吻合。在单因素试验中,*L*-半胱氨酸的单因素抑制作用明显高于其它因素。另一方面在图 5(b)、(d)、(f)中可看出 *L*-半胱氨酸在浓度较大时曲线略有向下弯曲,即曲面为斗篷状,其原因可能在于 *L*-半胱氨酸对其它因素的交互影响上,比如有文献[16]指出,如低浓度的半胱氨酸能显著抑制抗坏血酸的降解,可能随着浓度增加,其抑制作用减弱,抗坏血酸氧化增加了褐变度,如图 5(d)曲面在 *L*-半胱氨酸高浓度区域向下弯曲明显高于图 5 (b)、(f)。通过 Design Expert 8.0 软件处理,得到野木瓜果汁非酶褐变复配抑制的最优配比为(各因素在果汁中的质量浓度):EDTA-Na₂ 0.001 1%、*D*-异抗坏血酸钠 0.212 6%、*L*-半胱氨酸 0.543 4%、柠檬酸 0.191 7%,在此工艺条件下对野木瓜果汁非酶褐变的抑制率为 77.14%。为验证预测模型可靠性,以最优工艺条件做验证实验,通过 3 组平行实验测得实际抑制率为(77.43±0.11)%,与预测值吻合率达99.62%,证明该模型有效。

3 结论

(1) 试验结果证实含巯基氨基酸对非酶褐变具有较强抑制作用,可以替代亚硫酸盐,此外,复合抑制剂抑制效果明显优于单一抑制剂。

(2) 本研究应用响应面法得到野木瓜果汁非酶褐变复配抑制的最佳配比为(质量浓度):EDTA-Na₂ 0.001 1%、*D*-异抗坏血酸钠 0.212 6%、*L*-半胱氨酸 0.543 4%、柠檬酸 0.191 7%,

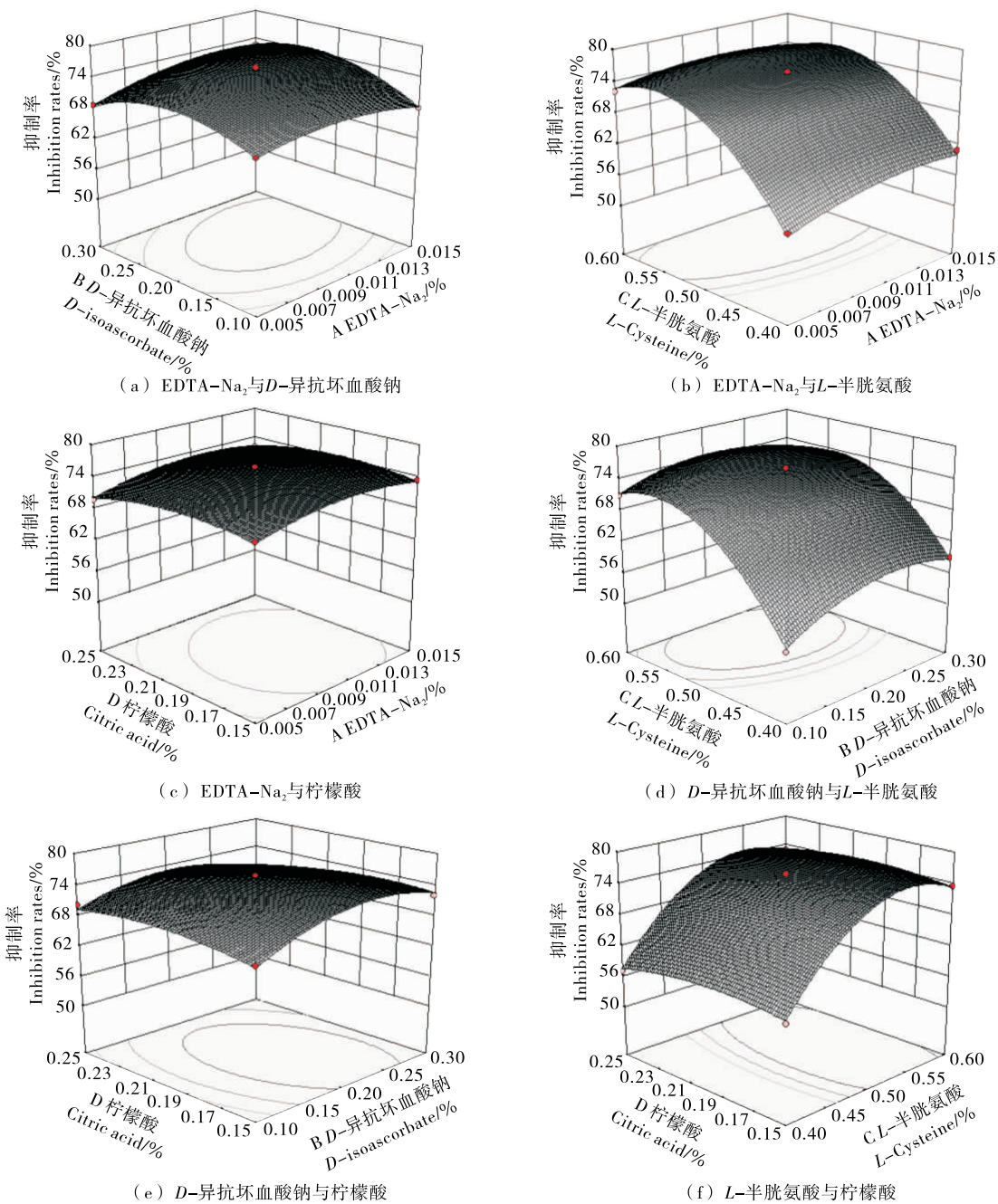


图 5 两因素交互作用对褐变抑制率的响应曲面图

Figure 5 Response surface of the interactive effects of empirical factor on the inhibition rate of non-enzymatic browning

在此工艺条件下对野木瓜果汁非酶褐变的抑制率为 77.14%。以此工艺做验证实验测得实际抑制率为 77.43%，与预测值高度吻合，证明此褐变抑制优化工艺有效，具有实用价值。

(3) 野木瓜果汁非酶褐变反应复杂，需要进一步研究其反应机理，以便进一步优化褐变抑制剂，提高抑制率。此外，复配抑制剂对野木瓜果汁非酶褐变有较好的抑制作用，但对其品质保全如何还需作进一步研究，如研究其风味、抗氧化性功能等。

参考文献

[1] 国家中医药管理局《中华本草》编辑委员会. 中华本草：第四卷

[M]. 上海：上海科学技术出版社，1999：111.

[2] YANG Guang-yu, FEN Wei-bo, LEI Cun, et al. Study on determination of pentacyclic triterpenoids in Chaenomeles by HPLC-ELSD[J]. Journal of Chromatographic Science, 2009, 47(8): 718-722.

[3] DAI Min, WEI Wei, SHEN Yu-xian, et al. Glucosides of Chaenomeles speciosa remit rat adjuvant arthritis by inhibiting synovocyte activities[J]. Acta Pharmacologica Sinica, 2003, 24(11): 1 161-1 166.

[4] ZHANG Li, CHENG Yong-xian, LIU Ai-lin, et al. Antioxidant, anti-inflammatory and antiinfluenza properties of components from Chaenomeles speciose[J]. Molecules, 2010, 15:

8 507-8 517.

[5] 邱顺华, 金李芬, 钱民章. 正安野木瓜果实乙醇粗提物的抗菌性能及其稳定性研究[J]. 时珍国医国药, 2013, 24(3): 588.

[6] 崔莉, 宋双双, 杜利平, 等. 低温鼓风干燥过程中皱皮木瓜的褐变及其活性成分变化研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 70-74, 123.

[7] COHEN E, BIRK Y, MANNHEIM C H. A Rapid Method to Monitor Quality of Apple Juice During Thermal Processing[J]. Food Science and Technology, 1998, 31(7): 612-616.

[8] 张淑娟, 徐怀德. 微波结合抑制剂抑制光皮木瓜汁褐变研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(3): 140.

[9] PONGSURIYA K, NORIYUKI I, MITSUYA S. Effect of ascorbic acid on the odours of cloudy apple juice[J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1 342-1 349.

[10] 陈云辉, 徐程, 余小林, 等. 海藻糖对荔枝罐头非酶褐变特性的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 15-18.

[11] 张月婷, 陈中, 林伟锋. 控制木瓜果脯非酶褐变的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(2): 255-258.

[12] DU Yun-jian, DOU Si-qí, WU Sheng-jun. Efficacy of phytic acid as an inhibitor of enzymatic and non-enzymatic browning in apple juice[J]. Food Chemistry, 2012, 135(2): 580-582.

[13] 毕家钰, 代曜伊, 郑炯. 褐变抑制剂对干制香蕉片护色效果的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 194-197, 235.

[14] 邱龙新, 黄浩, 陈清西. 半胱氨酸对马铃薯多酚氧化酶的抑制作用[J]. 食品科学, 2006, 27(4): 37-40.

[15] WU Sheng-jun. Glutathione suppresses the enzymatic and non-enzymatic browning in grape juice[J]. Food Chemistry, 2014,

160: 8-10.

[16] 李申, 马亚琴, 韩智. 氨基酸在柑橘汁非酶褐变过程中的影响和作用[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(11): 249-255

[17] 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(2): 116-121

[18] 李鹏, 张海生, 黎毕波. 柿子汁非酶褐变抑制技术研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(8): 271-274.

[19] 寇天舒, 张明, 张帅. 护色剂在无花果汁加工中的应用[J]. 食品工业, 2012, 33(11): 69-71.

[20] 韩智, 李申, 马亚琴, 等. 橙汁模拟体系非酶褐变产物及评价标准[J]. 食品科学, 2015, 36(22): 117-121.

[21] 胡靖, 谢帮祥. 果酒发酵中褐变机理及其控制的研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2013, 49(6): 94-98.

[22] 阚建全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 207.

[23] 韩希凤, 李书启, 乔镜澄, 等. 大枣浓缩汁贮藏过程中非酶褐变动力学研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 131-134.

[24] 刘亚, 张惠玲, 付丽霞, 等. 枸杞酒酿造预处理中不同灭菌方式对枸杞汁色泽的影响[J]. 酿酒科技, 2016, 41(2): 47-50, 54.

[25] 马霞, 王瑞明, 关凤梅, 等. 果汁非酶褐变的反应机制及其影响因素[J]. 粮油加工与食品机械, 2002(9): 46-48.

[26] 赵国华, 阚建全, 陈宗道. 含硫氨基酸食品功能性[J]. 粮食与油脂, 1999(4): 35-37.

[27] 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.

[28] 林建原, 季丽红. 响应面优化银杏叶中黄酮的提取工艺[J]. 中国食品学报, 2013, 13(2): 83-90.

(上接第 157 页)

3 结论

恩施田间采集的家艾茎叶中含有的挥发性化学成分种类与野艾相差较大,家艾和野艾不同部位挥发油种类也不同,如松油烯、松油醇在家艾和野艾的叶中均含有,但是茎中无;而佛术烯、泪柏醚等只在家艾和野艾的茎中含有,叶中无。在家艾和野艾相同的化学成分中,家养的和野生的含量也有差别,如可用于调配胡椒等食用香精的石竹烯,在家艾茎中含量最高。此外家艾叶中含有一些特殊的成分,如 α -法尼烯、 β -瑟林烯、 β -倍半水芹烯、橙花叔醇、喇叭茶醇,在野艾和家艾茎中均不含有。同时用作乳化剂、润湿剂、稳定剂的棕榈酸甲酯在家艾叶中的含量显著高于野艾的,因此家艾对于工业生产以及食品领域都有一定的经济意义。

参考文献

[1] 李春娜, 占颖, 刘洋洋, 等. 艾蒿药理作用和开发利用研究进展[J]. 中华中医药杂志, 2014, 29(12): 3 889-3 891.

[2] 孙江伟, 王军. 生姜挥发油研究进展[J]. 中医研究, 2016, 29(2): 75-77.

[3] 张辰露, 梁宗锁, 吴三桥, 等. 不同方法提取紫苏叶挥发油成分 GC—MS 分析[J]. 中药材, 2016, 39(2): 337-341.

[4] 张婷婷, 郭夏丽, 黄学勇, 等. 辛夷挥发油 GC—MS 分析及其抗氧化、抗菌活性[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 144-150.

[5] 卫强, 刘杰. GC—MS 测定红花酢浆花与叶中的挥发油成分[J]. 分析测试室, 2016, 35(6): 676-680.

[6] 孟慧, 许勇. 沪产艾蒿鲜叶挥发油成分的 GC—MS 分析[J]. 药学实践杂志, 2009, 27(5): 362-364.

[7] 邓治邦, 刘群, 杨智蕴. 野艾蒿挥发油化学成分的研究[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 1987(3): 73-76.

[8] 陈玉梅, 薛晓丽, 孔令瑶, 等. 艾蒿挥发油的提取及体外抑菌活性[J]. 吉林农业科技学院学报, 2011, 20(2): 1-3.

[9] 熊子文. 野艾蒿的化学组成及抗氧化、抑菌活性研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2011: 7-9.

[10] 朱亮锋, 陆碧瑶, 罗友娇, 等. 艾蒿和蕲艾精油化学成分的研究[J]. 云南植物研究, 1985, 7(4): 443-445.

[11] 顾静文, 刘立鼎, 陈京达, 等. 艾蒿和野艾蒿精油的化学成分[J]. 江西科学, 1998, 16(4): 273-276.

[12] 刘兴, 王剑峰. 采收时期及时间对艾蒿挥发油含量的影响[J]. 农业科技与装备, 2013(5): 57-58.

[13] 杨君, 郜海燕, 储国海, 等. 基于 GC—MS 和 GC—O 联用法分析佛手精油关键香气成分[J]. 食品科学, 2015, 36(20): 194-197.

[14] YI Zhi-ying, FENG Tao, ZHUANG Hai-ning, et al. Comparison of different extraction methods in the analysis of volatile compounds in Pomegranate juice[J]. Food Anal. Methods, 2016(9): 2 634-2 373.

[15] 邓维斌. SPSS 19(中文版)统计分析实用教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 230.