

# 雪莲果汁褐变抑制条件的优化研究

胡云峰, 胡明, 邢亚阁, 刘晓媛, 杨振  
(天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

**摘要:** 研究了抑制雪莲果汁褐变的条件, 通过单因素试验选取各因素的水平, 根据 Box-Behnken 的中心组合试验设计原理, 利用 SAS 软件进行响应面回归分析, 以褐变变化率为响应值, 确定了雪莲果汁褐变抑制条件中各影响因素的水平, 结合验证实验结果得到了最佳条件, 即抗坏血酸 0.31%、DL- 苹果酸 0.30%、L- 半胱氨酸 0.30%、漂烫温度 89℃、褐变变化率 20.88%。

**关键词:** 雪莲果汁; 褐变; 优化

## Optimization of Inhibitory Conditions against Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Juice Browning

HU Yun-feng, HU Ming, XING Ya-ge, LIU Xiao-yuan, YANG Zhen  
(College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** In single factor tests, the inhibitory effects of vitamin C (VC), DL- malic acid and L-cysteine (L-Cys) amounts and temperature on yacon juice browning were investigated. Based on the results of single factor tests, the optimization tests of the four factors were designed according to Box-Behnken central combination design principle, and the test results were analyzed by response surface regression. The results showed that optimal inhibitory conditions against yacon juice browning are as follows: VC amount 0.31%, DL- malic acid amount 0.30%, L-Cys amount 0.30% and temperature 89℃, and under these conditions the change rate of browning is 20.88%.

**Key words:** yacon juice; browning; optimization

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)06-0092-05

雪莲果原产地南美洲安第斯山脉, 食后能强身壮体, 被印第安人尊称为“圣果”, 为罕世珍品<sup>[1]</sup>。国外称“阿贡”(YA-CON), 即“神果”之意, 俗称雪莲子、地下水果。外形似番薯, 皮薄汁多, 果肉如雪梨, 晶莹剔透、香甜脆爽, 属低热量食物。雪莲果含有较高果寡糖和 20 种人体必需氨基酸, 还含钾、钙、镁、锌、等微量元素和丰富矿物质, 不含淀粉。所以, 雪莲果能有效地降低血脂, 控制胆固醇和糖尿病、促进新陈代谢、清火排毒、提高人体免疫力, 且属于低热量食品。据报道, 每天服用 3~6g 果寡糖, 三周之内, 人的粪便中有毒致癌化合物的含量可减少 40% 以上<sup>[2]</sup>。日本通过饲养实验小鼠发现, 小鼠食用后血糖明显下降。通过这一发现, 日本现已开发出有明显降血糖作用的雪莲果茶<sup>[3]</sup>。被世界公认为无公害纯天然第三代新型高档水果, 市场前景广阔。白色透明的雪莲果, 榨汁后即呈现绿色, 1min 后变成墨绿色, 严重影响其感官质量, 如何控制雪莲果汁褐变是其销售的首要问题。目

前, 雪莲果汁的抗褐变研究在国内还属空白。

热烫是果蔬加工中常用的一种预处理方法。热烫处理可使植物组织中的酶类失活、固定品质, 同时可以软化组织、提高细胞膜透性、提高出汁率。抗坏血酸为食品行业中重要的抗氧化剂, 可保持食品的色泽, 自然风味, 延长保质期, 且无任何毒副作用。抗坏血酸是强还原剂, 将氧化的醌还原为酚类物质, 阻止醌类物质进一步自发聚合形成色素物质。L-Cys 是组成蛋白质的 420 种氨基酸之一, 无毒、副作用, 是一种理想的天然抗酶促褐变剂。L-Cys 对褐变的抑制在于其能与醌类物质反应生成稳定的无色化合物, 防止醌氧化成有色物质。DL- 苹果酸可降低溶液的 pH 值。

由于这几种褐变抑制剂抗褐变机理不同, 所以本实验选取抗坏血酸、DL- 苹果酸、L- 半胱氨酸、漂烫温度作为考察因素, 利用响应曲面法进行雪莲果汁褐变抑制条件的优化, 以期深入研究雪莲果汁的褐变控制条件和机理提供理论依据和技术参数。

收稿日期: 2008-05-01

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划重点项目(2006BAD22B03-D3); 云南省科技攻关项目

作者简介: 胡云峰(1966-), 女, 教授, 硕士, 主要从事农产品保鲜与加工研究。E-mail: hu-yf@163.com

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

雪莲果购于天津外滩农贸市场, 新鲜, 无机械损伤。

抗坏血酸(VC)、L- 半胱氨酸(L-Cys)、DL- 苹果酸均为食品级。

1.2 仪器与设备

DK-98-1型电热恒温水浴锅 天津市泰斯特仪器有限公司; 756PC 型紫外可见分光光度计 上海光谱仪器有限公司; PL203 型电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; DO3 型滤板 天津通达公司。

1.3 方法

1.3.1 测定方法

褐变变化率测定采用分光光度法。以蒸馏水为参比, 在 420nm 波长下测定其吸光度, 随后取 100ml 果汁倒入培养皿, 开口置于室温(25℃)下, 24h 后再测其吸光度。两次之差(ΔA)表示果汁的褐变度。每个试样重复三次, 取平均值。

$$\text{变化率} = \frac{\Delta A \text{ 值}}{0\text{h 的 A 值}} \times 100\%$$

1.3.2 单因素试验

新鲜雪莲果, 经清洗、去皮、切块、热烫(60s)、分别添加护色剂(100g 雪莲果加 100ml 蒸馏水)、打浆、过滤, 于 420nm 波长处测定吸光度, 其余果汁倒入培养皿。放于室温(25℃)下, 24h 后将供试样品过滤, 测定清液吸光度。

1.3.3 响应曲面法试验设计

在单因素试验基础上, 采用 SAS9.0 统计分析软件中 Box-Behnken 试验设计原理, 设计四因素三水平的响应面分析试验, 因素与水平设计见表 1。

表 1 响应面试验因素与水平取值

Table 1 Factors and levels of optimization test on inhibitory conditions against yacon juice browning

编码水平	因素			
	X <sub>1</sub> 抗坏血酸 (%)	X <sub>2</sub> DL- 苹果酸 (%)	X <sub>3</sub> L- 半胱氨酸 (%)	X <sub>4</sub> 温度 (°C)
-1	0.25	0.25	0.25	83
0	0.30	0.30	0.30	90
1	0.35	0.35	0.35	97

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 VC 对雪莲果汁褐变的影响

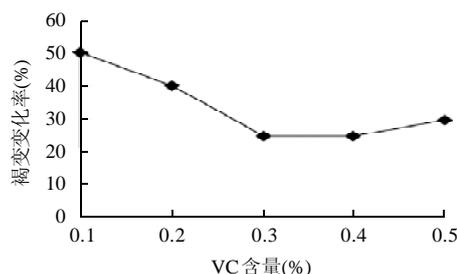


图 1 VC 对雪莲果汁褐变变化率的影响

Fig.1 Effects of VC amount on change rate of yacon juice browning

VC 对雪莲果汁褐变有一定的影响。从图 1 可以看出, 随着 VC 含量增加, 雪莲果汁褐变变化率呈先下降后上升趋势。添加 0.1% VC, 雪莲果汁褐变变化率为 50.1%; 添加 0.3% VC, 雪莲果汁褐变变化率下降为 24.5%。而当 VC 含量增加到 0.5% 后, 褐变变化率上升为 29.4%。说明 0.3% VC 添加量抑制雪莲果汁褐变效果较好。

2.1.2 DL- 苹果酸对雪莲果汁褐变的影响

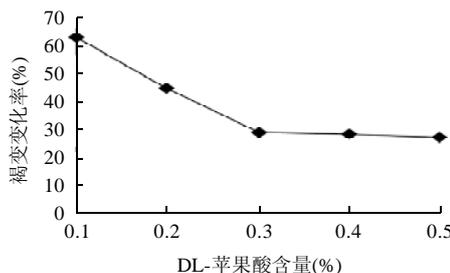


图 2 DL- 苹果酸对雪莲果汁褐变变化率的影响

Fig.2 Effects of DL-malic acid amount on change rate of yacon juice browning

由图 2 可以看出, 当 DL- 苹果酸含量加大时, 雪莲果汁褐变变化率逐渐下降。当 DL- 苹果酸含量达到 0.3% 时, 雪莲果汁褐变变化率为 28.8%, 而此后随着 DL- 苹果酸含量增加, 雪莲果汁褐变变化率不明显, 当 DL- 苹果酸含量增加至 0.5% 时, 雪莲果汁褐变变化率仅下降了 1.2%。考虑到果汁口感及成本, 选择 0.3% 作为 DL- 苹果酸添加量。

2.1.3 L-Cys 对雪莲果汁褐变的影响

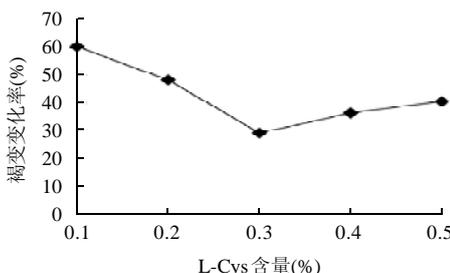


图 3 L-Cys 对雪莲果汁褐变变化率的影响

Fig.3 Effects of L-Cys amount on change rate of yacon juice browning

雪莲果在榨汁时添加一定量的L-Cys对其果汁褐变变化率有一定影响。从图3可以看出,随着L-Cys含量的增加,雪莲果汁褐变变化率呈V字形变化。雪莲果榨汁时添加0.3% L-Cys,果汁褐变变化率最低,达到29.2%。随后,随着L-Cys含量增加,雪莲果汁褐变变化率呈上升趋势,说明0.3% L-Cys添加量抑制雪莲果汁褐变效果较佳。

#### 2.1.4 温度对雪莲果汁褐变的影响

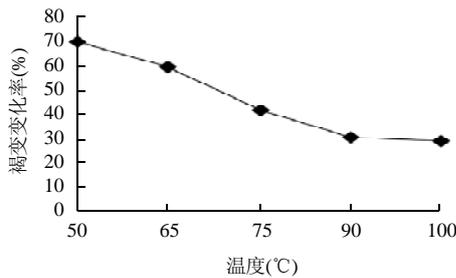


图4 温度对雪莲果汁褐变变化率的影响

Fig.3 Effects of temperature on change rate of yacon juice browning

由图4可以看出,随着温度的升高,雪莲果汁褐变变化率呈降低趋势。当温度由50℃升到90℃时,褐变变化率由69.7%降低到30.6%。随后,温度上升,而褐变变化率下降趋势不明显。说明90℃的漂烫处理可以很好的抑制雪莲果汁褐变。

#### 2.2 响应面(RSA)分析试验

根据Box-Behnken中心组合设计原理,设计四因素三水平响应面分析试验,共有27个试验点,其中24个为分析因子,3个为零点。以变化率(%)为评价指标,试验设计及结果见表2。

##### 2.2.1 响应面分析与方差分析

采用SAS9.0程序对所得数据进行回归分析,回归分析结果如表3所示。

当“Pr>F”值小于0.05时,即表示该项指标显著。表3的显著性分析结果表明,模型是非常显著的,而且模型的失拟项不显著,这就说明利用SAS软件Box-Behnken的试验设计非常拟合,因此试验采用此模型分析是可靠的。回归方程各项的方差分析结果还表明:用上述回归方程描述各因子与响应值关系时,其因变量与自变量之间的线性关系是极显著的( $p \leq 0.0001$ ),线性相关系数为97.22%,说明回归方程拟合度较好,该模型能解释97.22%响应值的变化。方程的一次项、二次项均为高度显著( $p \leq 0.0001$ ),因此各个具体试验因子与响应值都不是简单的线性关系。

##### 2.2.2 拟合模型的建立

通过中心组和试验获得的试验数据如表2所示,运用SAS软件对上述结果进行整理分析,确立如下回归方

表2 Box-Behnken试验结果

Table 2 Results of Box-Behnken central combination test on inhibitory conditions against yacon juice browning

试验号	抗坏血酸(%)	DL-苹果酸(%)	L-半胱氨酸(%)	温度(°C)	变化率(%)
1	0.25	0.25	0.30	90	27.4
2	0.25	0.35	0.30	90	26.2
3	0.35	0.25	0.30	90	24.0
4	0.35	0.35	0.30	90	24.8
5	0.30	0.30	0.25	83	22.1
6	0.30	0.30	0.25	97	23.4
7	0.30	0.30	0.35	83	22.3
8	0.30	0.30	0.35	97	22.6
9	0.25	0.30	0.30	83	27.0
10	0.25	0.30	0.30	97	26.6
11	0.35	0.30	0.30	83	25.3
12	0.35	0.30	0.30	97	24.4
13	0.30	0.25	0.25	90	23.0
14	0.30	0.25	0.35	90	23.6
15	0.30	0.35	0.25	90	23.6
16	0.30	0.35	0.35	90	22.1
17	0.25	0.30	0.25	90	27.3
18	0.25	0.30	0.35	90	27.8
19	0.35	0.30	0.25	90	24.2
20	0.35	0.30	0.35	90	24.9
21	0.30	0.25	0.30	83	22.5
22	0.30	0.25	0.30	97	22.8
23	0.30	0.35	0.30	83	22.6
24	0.30	0.35	0.30	97	22.9
25	0.30	0.30	0.30	90	20.8
26	0.30	0.30	0.30	90	20.3
27	0.30	0.30	0.30	90	20.9

表3 回归项的显著性分析

Table 3 Significant analysis of regression item

方差源	自由度	平方和	均方差	F值	p值(Pr>F)	显著性
模型	14	111.543	7.967354	30.00259	0.0001	极显著
X <sub>1</sub>	1	18.0075	18.0075	67.81067	0.0001	极显著
X <sub>2</sub>	1	0.100833	0.100833	0.379707	0.549271	
X <sub>3</sub>	1	0.0075	0.0075	0.028243	0.869339	
X <sub>4</sub>	1	0.0675	0.0675	0.254184	0.623273	
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	1	89.4712	89.4712	336.9209	0.0001	极显著
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1	1	1	3.76569	0.076173	
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1	0.01	0.01	0.037657	0.84938	
X <sub>1</sub> X <sub>4</sub>	1	0.0625	0.0625	0.235356	0.636317	
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1	5.833426	5.833426	21.96688	0.000526	
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1	1.1025	1.1025	4.151674	0.064266	
X <sub>2</sub> X <sub>4</sub>	1	3.16E-30	3.16E-30	1.19E-29	1	
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1	7.948981	7.948981	29.9334	0.000143	
X <sub>3</sub> X <sub>4</sub>	1	0.25	0.25	0.941423	0.351063	
X <sub>4</sub> <sup>2</sup>	1	4.522315	4.522315	17.02964	0.001404	
一次项	4	18.18333	4.545833	17.1182	0.0001	极显著
二次项	4	90.93463	22.73366	85.60791	0.0001	极显著
交互项	6	2.425	0.404167	1.521967	0.251977	
残差	12	3.186667	0.265556			
失拟项	10	2.98	0.298	2.883871	0.284848	不显著
纯误差	2	0.206667	0.103333			
总误差	26	114.7296				

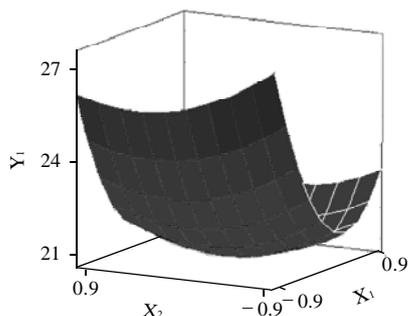
注: R<sup>2</sup>=97.22%, 校正 R<sup>2</sup>=93.98%。

程预测模型:

$$Y_1=20.66667-1.225X_1-0.091667X_2-0.025X_3+0.075X_4+4.095833X_1^2+0.5X_1X_2+0.05X_1X_3-0.125X_1X_4+1.045833X_2^2-0.525X_2X_3-8.88 \times 10^{-16}X_2X_4+1.220833X_3^2-0.25X_3X_4+0.920833X_4^2$$

2.2.3 响应面分析曲面分析

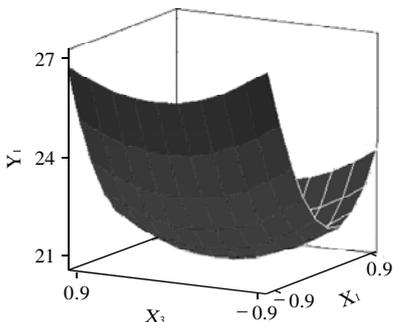
根据回归方程, 作响应曲面图, 结果见图 5~10。



固定水平:  $X_3=0, X_4=0$ 。

图 5  $Y=f(X_1, X_2)$  的响应面

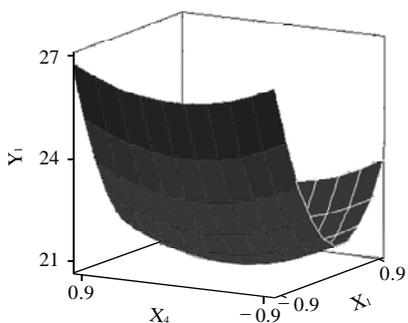
Fig.5 Response surface plot for  $Y=f(X_1, X_2)$



固定水平:  $X_2=0, X_4=0$ 。

图 6  $Y=f(X_1, X_3)$  的响应面

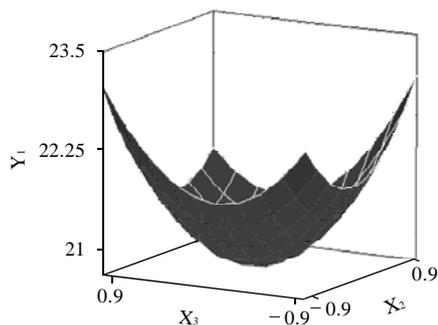
Fig.6 Response surface plot for  $Y=f(X_1, X_3)$



固定水平:  $X_2=0, X_3=0$ 。

图 7  $Y=f(X_1, X_4)$  的响应面

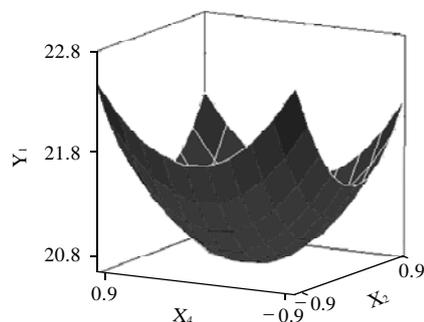
Fig.7 Response surface plot for  $Y=f(X_1, X_4)$



固定水平:  $X_1=0, X_4=0$ 。

图 8  $Y=f(X_2, X_3)$  的响应面

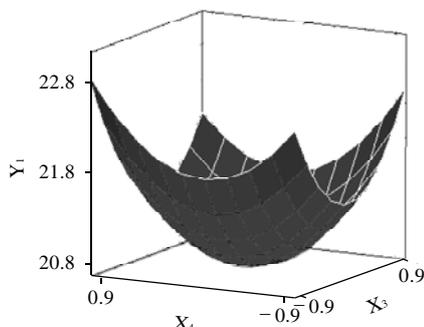
Fig.8 Response surface plot for  $Y=f(X_2, X_3)$



固定水平:  $X_1=0, X_3=0$ 。

图 9  $Y=f(X_2, X_4)$  的响应面

Fig.9 Response surface plot for  $Y=f(X_2, X_4)$



固定水平:  $X_1=0, X_2=0$ 。

图 10  $Y=f(X_3, X_4)$  的响应面

Fig.10 Response surface plot for  $Y=f(X_3, X_4)$

从图 5~10 可以看出, 抗坏血酸添加量对褐变变化率的影响最大, 随着抗坏血酸的增加, 褐变变化率随之降低, 这说明抗坏血酸添加量与雪莲果汁褐变变化率呈负相关。苹果酸、L- 半胱氨酸及温度对雪莲果汁褐变变化率也有影响。

通过软件分析, 得到抑制雪莲果汁褐变的最优条件为抗坏血酸 0.309%、DL- 苹果酸 0.30004%、L- 半胱氨

酸 0.30003%、漂烫温度 89.328℃, 在此条件下, 雪莲果汁褐变变化率理论值为 20.5812%。为检验 RSA 法的可靠性, 采用上述最优条件进行验证实验, 同时考虑到实际操作情况, 将抑制雪莲果汁褐变条件修正为抗坏血酸 0.31%、DL- 苹果酸 0.30%、L- 半胱氨酸 0.30%、漂烫温度 89℃, 实际测得的变化率为 20.88%, 与理论预测值比较误差在 1%。因此, 采用 RSA 法优化得到的抑制雪莲果汁褐变条件参数准确可靠, 具有实用价值。

### 3 讨论

3.1 雪莲果榨汁时由于组织受到极大破坏, 细胞间区域打破, 酚类物质与多酚氧化酶充分接触, 加之氧大量涌入, 致使雪莲果榨汁后即刻发生褐变。本实验以抗坏血酸、DL- 苹果酸、L-Cys 三种天然抗褐变剂结合漂烫温度四个因素对雪莲果汁褐变抑制条件进行优化研究。抗坏血酸是酶促褐变较理想的抑制剂, 它既可作为醌的还原剂, 又可作为 PPO 分子中铜离子的络合剂, 甚至可被 PPO 直接氧化。由于抗坏血酸是一种强还原

剂, 其添加量十分关键, 添加量过少, 不仅不能抑制褐变, 反而促进羰氨反应, 造成非酶褐变; 添加量过多, 氧化后形成的酮化合物与胺化合物也会发生非酶褐变, 同样加剧褐变。L-Cys 对褐变的抑制, 是由于 L-Cys 能与醌类化合物进行加成反应, 使它不再进一步形成黑色素。L-Cys 添加量也很重要, 添加量过多, 会引发美拉德反应, 造成非酶褐变。

3.2 本实验应用响应面分析法优化抑制雪莲果汁褐变条件, 结果显示, 最佳条件为抗坏血酸 0.3%、DL- 苹果酸 0.30%、L- 半胱氨酸 0.30%、漂烫温度 89℃, 在此条件下雪莲果汁褐变变化率为 20.88%。

#### 参考文献:

- [1] AYBAR M J, SANCHEZ R A N, GRAU A, et al. Hypoglycemic of the water extract of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) leaves in normal and diabetic rats[J]. *J Ethnopharmacol*, 2001, 74: 125-132.
- [2] CAZETTA M L, MARTINS P M M, MONTE R, et al. Yacon (*Polymnia sonchifolia*) extract as a substrate to produce inulinase by *Kluyveromyces marxianus* var *bulgaricus*[J]. *J Food Eng*, 2005, 66: 301-305.
- [3] 黄伟坤. 食品检验与分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1993.