

# 不同护色剂对龙眼原浆色泽和多酚含量的影响

卜智斌<sup>1,2</sup>, 唐道邦<sup>1</sup>, 徐玉娟<sup>1</sup>, 肖更生<sup>1\*</sup>, 吴继军<sup>1</sup>, 林 羨<sup>1</sup>, 李 俊<sup>1</sup>

(1.广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东省农产品加工重点实验室, 广东 广州 510610;

2.华南农业大学食品学院, 广东 广州 510642)

**摘 要:** 考察柠檬酸、L-半胱氨酸、焦亚硫酸钠3种护色剂在60℃模拟体系处理24h后对龙眼原浆色泽和多酚含量的影响, 进行三因素三水平正交试验筛选复合护色剂的最佳配比, 并分析护色效果与多酚保留率的关系。结果表明: 采用筛选出的复合护色剂, 龙眼多酚保留率越高、总色差 $\Delta E^*$ 越小, 护色效果越好。3种护色剂对龙眼原浆总色差 $\Delta E^*$ 影响的主次顺序分别为: 柠檬酸>L-半胱氨酸>焦亚硫酸钠, 且3种护色剂影响均极显著; 对多酚保留率影响的主次顺序为: 焦亚硫酸钠>L-半胱氨酸>柠檬酸, 焦亚硫酸钠、L-半胱氨酸影响极显著, 柠檬酸影响不显著。确定龙眼原浆护色剂最佳配方为柠檬酸1.0g/kg、焦亚硫酸钠0.35g/kg、L-半胱氨酸0.8g/kg。

**关键词:** 龙眼原浆; 柠檬酸; 焦亚硫酸钠; L-半胱氨酸; 总色差; 多酚

## Effects of Different Browning Inhibitors on Color and Polyphenols of Longan Puree

BU Zhi-bin<sup>1,2</sup>, TANG Dao-bang<sup>1</sup>, XU Yu-juan<sup>1</sup>, XIAO Geng-sheng<sup>1\*</sup>, WU Ji-jun<sup>1</sup>, LIN Xian<sup>1</sup>, LI Jun<sup>1</sup>

(1. Guangdong Key Laboratory of Agricultural Product Processing, Sericulture and Farm Product Processing Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China;

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

**Abstract:** The aim of this study was to study the effects of three browning inhibitors, citric acid, L-cysteine and sodium pyrosulfite on color and polyphenols of longan puree treated in model systems at 60 °C for 24 h and to correlate color difference ( $\Delta E^*$ ) with polyphenol retention. A three-level orthogonal array design was employed to select the optimal blend of the three browning inhibitors. The results showed that a better inhibitory effect on enzymatic browning of longan puree was indicated by a higher amount of polyphenols retained and smaller  $\Delta E^*$  values. The importance of the browning inhibitors in affecting  $\Delta E^*$ , all at a significant level, decreased in the following order: citric acid > L-cysteine > sodium pyrosulfite, while the decreasing order of their effect on the retention of polyphenols was sodium pyrosulfite > L-cysteine > citric acid, with the effects of sodium pyrosulfite and L-cysteine being extremely significant and that of citric acid being not significant. A formulation composed of 1.0 g/kg citric acid, 0.35 g/kg sodium pyrosulfite and 0.8 g/kg L-cysteine was found to be optimal for inhibiting enzymatic browning of longan puree.

**Key words:** longan puree; citric acid; sodium pyrosulfite; L-cysteine; total color difference; polyphenols

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)24-0289-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201324060

龙眼(*Diospyros longan* Lour)是我国亚热带优势特色水果之一, 俗称桂圆、圆眼, 主产于广东、广西、福建等地区<sup>[1]</sup>, 我国龙眼产量占世界龙眼总产量的50%以上<sup>[2]</sup>, 龙眼由于风味独特, 营养丰富而深受消费者的喜爱。由于龙眼季节性较强, 每年过剩的龙眼主要用来制作龙眼果干以及龙眼罐头等, 近年来消费者对于水果产品的新鲜度及营养风味有较高的要求, 使得安全有效的新鲜加工

技术越来越重要<sup>[3]</sup>, 龙眼原浆能较好地保持龙眼鲜果的色泽、风味及营养<sup>[4]</sup>, 可以被消费者直接消费, 也是重要的龙眼加工中间原料, 可以加工生产龙眼果粉。研究龙眼原浆的加工特性对于龙眼饮料、龙眼果粉等产品品质具有十分重要的科研价值。

多酚是龙眼果肉中主要的活性物质, 具有多种生物学活性, 包括抗氧化、抑制酵母、真菌、病毒和细菌的

收稿日期: 2012-11-27

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD31B03);

广东省科技计划项目(2011A080803011; 2011B0802002; 2011A060903007; 2011A090200078)

作者简介: 卜智斌(1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工与贮藏工程。E-mail: bzb81@126.com

\*通信作者: 肖更生(1965—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为农产品深加工。E-mail: gshxiao@yahoo.com

生长等作用<sup>[5-7]</sup>，多酚氧化是褐变最主要的反应之一，由于龙眼后续深加工中都存在褐变问题，因而护色处理是常用的前处理方式之一，本研究不同护色剂对龙眼原浆护色效果，并分析护色剂对龙眼多酚保留率的影响，优化护色剂配比，以期为龙眼加工提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

鲜龙眼为‘储良’品种，购于广州市某农贸市场，剪枝清理后，选取新鲜、完整无损伤、无褐变的龙眼装箱，于-20℃冷库保存备用。

柠檬酸、L-半胱氨酸、焦亚硫酸钠均为分析纯；福林酚、0.2g/mL NaCO<sub>3</sub>、90%丙酮。

### 1.2 仪器与设备

榨汁搅拌机 广东美的精品电器制造有限公司；UV-2450分光光度计 日本岛津公司；UltraScan-VIS自动色差仪、DHG-9240A电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏仪器有限公司；ALC-210.4分析天平 赛多利斯科学仪器有限公司；高速冷冻离心机 美国Thermo Scientific公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品准备

工艺流程：龙眼→去壳去核→打浆→均质→护色→60℃烘箱模拟体系24h→护色处理样品。

操作要点：龙眼去壳去核后，每次约取300g果肉高速打浆7min，多次混合后均质，称取100.00g均质原浆至已含不同护色剂的玻璃瓶中，玻璃棒搅匀，拧紧瓶盖以保证封闭体系，置于60℃的恒温干燥箱模拟环境条件下处理24h，每个梯度3个平行。

#### 1.3.2 单因素试验

分别设定护色剂添加梯度为柠檬酸0.5、1.0、1.5、2.0、2.5g/kg，L-半胱氨酸0.35、0.50、0.65、0.80、0.95g/kg，焦亚硫酸钠0.05、0.15、0.25、0.35、0.45g/kg进行单因素试验。

#### 1.3.3 指标测定

##### 1.3.3.1 色泽的测定

采用自动色差计直接测定，以 $\Delta E^*$ 值(总色差)作为色泽考察指标<sup>[8]</sup>。样品于反射模式测定色泽，每个样品测定3次，得到 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值，并按公式(1)计算总色差 $\Delta E^*$ 值， $\Delta E^*$ 越小表明色泽越接近，反之相差越大。

$$\Delta E^* = [(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2]^{1/2} \quad (1)$$

式中： $\Delta E^*$ 为处理样品与新鲜龙眼原浆之间的色泽差异； $L^*$ 为样品色泽明暗度； $a^*$ 为样品色泽红绿程度； $b^*$ 为样品色泽黄蓝程度； $L_0$ 、 $a_0$ 、 $b_0$ 为新鲜原浆色泽值。

##### 1.3.3.2 多酚含量的测定

采用Folin-C法：多酚与Folin-Ciocalteu(FC)试剂发生

特异性反应，反应产物在波长765nm处有最大吸收，且吸光度与多酚含量在一定质量浓度范围内成线性关系。

多酚标准曲线的建立按照参考文献[9]并做部分改进：精确称0.2g没食子酸溶解定容至1000mL容量瓶中，得到0.2mg/mL的标准溶液。10mL容量瓶加入7mL纯水，再分别加入上述溶液0.05、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5mL(即质量浓度梯度为10、20、40、60、80、100 $\mu$ g/mL的没食子酸溶液)，加入0.5mL FC，立即漩涡振荡摇匀30s左右，充分接触，在1~8min之内加入0.2g/mL NaCO<sub>3</sub>溶液1.5mL，定容至10mL，避光反应2h。在波长765nm处测吸光度。用水代替没食子酸做空白溶液，每个梯度做3个平行。再以吸光度(A)对没食子酸质量浓度( $\rho$ )做回归处理，得回归方程： $\rho = 100.37633A - 3.02170 (R^2 = 0.99895)$ 。

龙眼原浆多酚的提取按照参考文献[10]并做部分改进。首先称取2.00g护色处理后的样品，以1:2(g/mL)加入4mL 90%的预冷丙酮，浸提1.5h，4℃冷冻离心15min，得游离酚溶液。

精确吸取处理后的样品溶液0.2mL于含有7mL蒸馏水的10mL容量瓶中，按照多酚标曲建立的方法测定吸光度(A)，由回归方程，按(2)、(3)计算多酚含量(以没食子酸含量计)和多酚保留率。

$$\text{多酚含量}/(\mu\text{g/mL}) = \rho \times D \quad (2)$$

$$\text{多酚保留率}/\% = \frac{x}{y} \times 100 \quad (3)$$

式中： $\rho$ 为所测样液中没食子酸质量浓度( $\mu$ g/mL)；D为多酚的稀释倍数；x为所测样品的多酚含量( $\mu$ g/mL)；y为初始原浆的多酚含量( $\mu$ g/mL)。

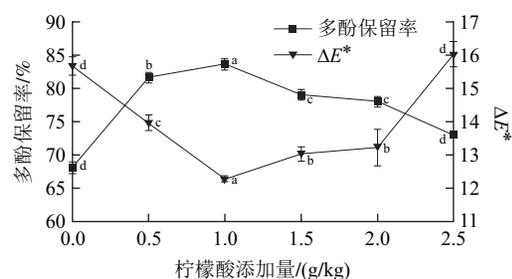
### 1.4 统计分析

单因素方差分析采用SPSS 17.0，正交试验方差分析采用SAS 9.1软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素对龙眼原浆护色效果的影响

#### 2.1.1 柠檬酸的影响



同指标不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

图1 柠檬酸添加量对龙眼原浆护色效果的影响

Fig.1 Effect of different amounts of citric acid added to longan puree on polyphenol retention and  $\Delta E^*$

由图1可知, 单因素方差分析得到不同添加量柠檬酸的原浆护色效果对比空白组有显著性差异( $P < 0.05$ ), 当柠檬酸添加量1.0g/kg时, 总色差 $\Delta E^*$ 达到最小为12.26, 色泽与新鲜龙眼原浆最接近, 且多酚保留率也最高, 之后随着柠檬酸添加量的增加, 原浆处理后颜色都有所发黄, 使得 $\Delta E^*$ 也随之变大, 多酚保留率及护色效果都显著下降, 可能是由于在60℃模拟体系下柠檬酸量过多会导致原浆中发生某些反应产生黄色物质, 进而影响到原浆的色泽。综合考虑, 选取护色效果最好的1.0g/kg柠檬酸添加量为正交设计的中间值, 即选择0.5、1.0、1.5g/kg 3个梯度为正交试验的3个水平。

2.1.2 焦亚硫酸钠的影响

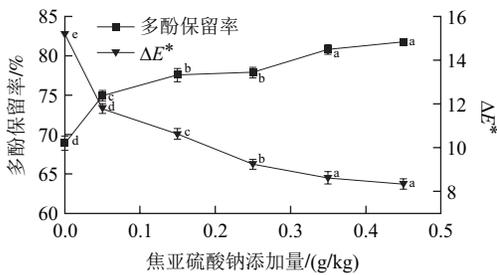


图2 焦亚硫酸钠添加量对龙眼原浆护色效果的影响

Fig.2 Effect of different amounts of sodium pyrosulfite added to longan puree on polyphenol retention and  $\Delta E^*$

由图2可知, 单因素方差分析得到不同添加量焦亚硫酸钠的原浆护色效果对比空白组有显著性差异( $P < 0.05$ ), 随着焦亚硫酸钠添加量的增加, 总色差 $\Delta E^*$ 逐渐减小, 且多酚保留率也随之升高, 当焦亚硫酸钠添加量增加到0.35、0.45g/kg时总色差 $\Delta E^*$ 达到最小为8.34, 多酚保留率也达到最大为81.71%, 由于两种添加量之间影响没有显著性差异( $P > 0.05$ ), 出于经济考虑选取0.35g/kg焦亚硫酸钠添加量为正交设计的最大值。虽然添加量为0.15、0.25g/kg时多酚保留率之间没有显著性差异( $P > 0.05$ ), 但对于总色差 $\Delta E^*$ 影响具有显著性差异( $P < 0.05$ ), 且色泽为护色效果第1考虑参数, 综合考虑选择0.15、0.25、0.35g/kg 3个梯度为正交试验的3个水平。

2.1.3 L-半胱氨酸的影响

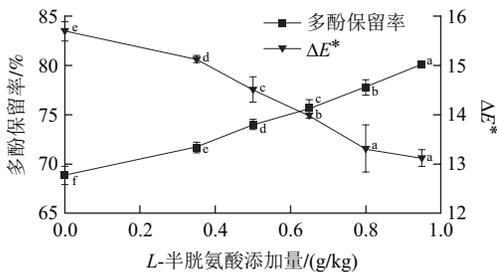


图3 L-半胱氨酸添加量对龙眼原浆护色效果的影响

Fig.3 Effect of different amounts of L-cysteine added to longan puree on polyphenol retention and  $\Delta E^*$

由图3可知, 单因素方差分析得到不同添加量L-半胱氨酸的原浆护色效果对比空白组有显著性差异( $P < 0.05$ ), 随着L-半胱氨酸添加量增加, 总色差 $\Delta E^*$ 减小, 而多酚保留率也呈直线上升, 当L-半胱氨酸添加量为0.80、0.95g/kg时,  $\Delta E^*$ 分别为13.31、13.12, 两者之间没有显著性差异( $P > 0.05$ ), 因此可以选择0.80g/kg为正交设计中L-半胱氨酸的最大添加量, 由于添加量为0.50、0.65g/kg时处理原浆总色差 $\Delta E^*$ 及多酚保留率之间具有显著性差异( $P < 0.05$ ), 因此可以选择0.50、0.65、0.80g/kg 3个梯度为正交试验中L-半胱氨酸添加量的3个水平。

2.2 正交试验优化

根据单因素试验结果及分析, 设计 $L_9(3^3)$ 正交试验, 通过测定总色差 $\Delta E^*$ 及样品多酚保留率, 选择最佳的复合护色剂配方。试验设计及结果如表1所示。

表1 正交试验设计及结果  
Table1 Orthogonal array design and results

试验号	A柠檬酸添加量(g/kg)	B焦亚硫酸钠添加量(g/kg)	C L-半胱氨酸添加量(g/kg)	$Y_1 \Delta E^*$	$Y_2$ 多酚保留率/%
1	1(0.5)	1(0.15)	1(0.50)	12.78	74.27
2	1	2(0.25)	2(0.65)	11.23	80.90
3	1	3(0.35)	3(0.80)	9.67	87.36
4	2(1.0)	1	2	8.88	78.75
5	2	2	3	7.89	83.89
6	2	3	1	9.38	81.38
7	3(1.5)	1	3	7.53	79.89
8	3	2	1	7.43	77.68
9	3	3	2	6.47	85.27
$k_1$	11.227	9.730	9.863		
$k_2$	8.717	8.850	8.860		
$k_3$	7.143	8.507	8.363		
$\Delta E^*$ 极差R	4.084	1.223	1.500		
影响主次顺序		A>C>B			
优水平	$A_3$	$B_3$	$C_3$		
$k_1$	80.843	77.637	77.777		
$k_2$	81.340	80.823	81.640		
$k_3$	80.947	84.670	83.713		
多酚保留率 极差R	0.497	7.033	5.936		
影响主次顺序		B>C>A			
优水平	$A_2$	$B_3$	$C_3$		

表2 正交试验方差分析  
Table 2 Analysis of variance for the experimental results of orthogonal array design

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性	
多酚保留率	A	1.2501	2	0.6250605	0.67	0.5233	
	B	223.1859	2	111.5929534	119.43	<0.0001	**
	C	163.4158	2	81.7079155	87.45	<0.0001	**
$\Delta E^*$	A	76.29709	2	38.14854	255.46	<0.0001	**
	B	7.14889	2	3.574444	23.94	<0.0001	**
	C	10.53016	2	5.265078	35.26	<0.0001	**

注: \*\*. 差异极显著( $P < 0.01$ )。

由表1可知, 虽然第3组的多酚保留率最高, 但是其 $\Delta E^*$ 值要明显大于第9组, 第9组试验的 $\Delta E^*$ 值为6.47, 低

于所有单因素试验中 $\Delta E^*$ 值,且所有试验的 $\Delta E^*$ 值与酚保留率值都与空白组差异显著( $P < 0.05$ ),这就说明护色剂对龙眼原浆多酚的保留效果显著,柠檬酸、L-半胱氨酸、焦亚硫酸钠3种护色剂之间具有较好协同增效作用。

由表1还可知,复合护色最优组合分别为 $A_3B_3C_3$ ( $\Delta E^*$ )、 $A_2B_3C_3$ (多酚保留率),3种护色剂对龙眼原浆总色差 $\Delta E^*$ 影响程度从大到小依次为柠檬酸>L-半胱氨酸>焦亚硫酸钠,而对多酚保留率的影响主次依次为焦亚硫酸钠>L-半胱氨酸>柠檬酸,如表2所示,3种护色剂对总色差 $\Delta E^*$ 影响都是极显著( $P < 0.0001$ ),但柠檬酸对多酚保留率影响不显著( $P > 0.05$ ),而焦亚硫酸钠、L-半胱氨酸影响极显著。该结果与单因素试验有所不同,单因素试验中焦亚硫酸钠的护色效果最好, $\Delta E^*$ 值远低于另外两种护色剂,而复合护色剂中柠檬酸对 $\Delta E^*$ 影响程度较单一护色剂大大增强,这可能是由于柠檬酸与焦亚硫酸钠和L-半胱氨酸之间有较好的协同效应所致。由于 $A_3B_3C_3$ 、 $A_2B_3C_3$ 两个护色剂组合都不在正交试验设计的9组试验中,因此需要进行验证实验来对比选出复合护色剂的最佳组合方式。

### 2.3 验证实验

测定空白、 $A_2B_3C_3$ (柠檬酸1.0g/kg、焦亚硫酸钠0.35g/kg、L-半胱氨酸0.8g/kg)、 $A_3B_3C_3$ (柠檬酸1.5g/kg、焦亚硫酸钠0.35g/kg、L-半胱氨酸0.8g/kg)3种护色处理样品的 $\Delta E^*$ 值及多酚保留率,结果如图4所示,实验组 $A_2B_3C_3$ 处理样品的 $\Delta E^*$ 值最小且多酚保留率最高,并与实验组 $A_3B_3C_3$ 有显著性差异( $P < 0.05$ ),因此可以得出最佳护色剂组合为柠檬酸1.0g/kg、焦亚硫酸钠0.35g/kg、L-半胱氨酸0.8g/kg。

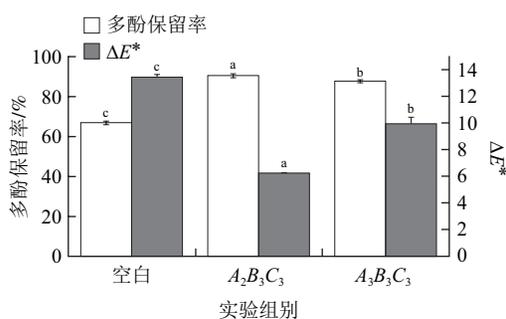


图4 正交试验结果验证

Fig.4 Verification of the optimal formulation

## 3 讨论与结论

从单因素试验结果得出柠檬酸、焦亚硫酸钠、L-半胱氨酸都具有良好的护色效果,从 $\Delta E^*$ 值可以看出焦亚硫酸钠的单独护色效果要优于另外两种护色剂。通过正交试验发现柠檬酸、焦亚硫酸钠和L-半胱氨酸复合使用

有较好的协同增效效应,并经过验证实验得到复合护色剂的最佳组合为柠檬酸1.0g/kg、焦亚硫酸钠0.35g/kg、L-半胱氨酸0.8g/kg。龙眼原浆多酚保留率越高、总色差 $\Delta E^*$ 越小,护色效果越好,3种护色剂对龙眼原浆总色差 $\Delta E^*$ 影响的主次顺序为:柠檬酸>L-半胱氨酸>焦亚硫酸钠,且3种护色剂影响均极显著;对多酚保留率影响的主次顺序为:焦亚硫酸钠>L-半胱氨酸>柠檬酸,柠檬酸对其影响不显著,而焦亚硫酸钠、L-半胱氨酸影响极显著。

食品生产中添加护色剂是一种有效的防褐变方法,往往会通过添加有机酸和亚硫酸盐等进行复合护色,以提高协同增效作用达到较好的护色效果。柠檬酸是使用最广泛的食用酸,既是酸味调节剂,又是螯合剂,能够降低龙眼原浆的pH值、螯合酚酶Cu辅基,可以有效地抑制酚类化合物的氧化变色反应<sup>[11]</sup>,但作为护色剂来说,单独使用时效果不大,与其他护色剂如亚硫酸盐等联合使用时效果非常好<sup>[12]</sup>。L-半胱氨酸不但对人体无毒,又是一种可溶性氨基酸,作为一种护色剂能与酶促氧化产生的醌类物质结合生成一种无色螯合物,从而阻断羟醌类物质聚合生成黑色素反应的进行,且其含有的一SH键能螯合金属离子,使金属离子不再游离,阻断褐变反应的进行,延缓龙眼原浆变色<sup>[13-14]</sup>。焦亚硫酸钠作为一种抗氧化剂,可抑制酚酶的活性,能把醌类物质还原成酚,与羰基加成而防止羰基化合物的聚合<sup>[15]</sup>。

龙眼多酚氧化酶辅基 $Cu^{2+}$ 在pH值低于5的酸性环境下被解离出来,导致酶失活<sup>[16]</sup>,龙眼酚酶的最适温度为55℃,当温度低于60℃时,对热比较稳定,在该温度范围内,适量升高温度能使酶促褐变反应加快,当温度达到70~80℃时,多酚氧化酶开始对热不稳定<sup>[17]</sup>,且由于测定本实验所用龙眼果肉中多酚氧化酶活性很低,因而实验的设计模拟体系为60℃的恒温环境。

褐变主要由于多酚类物质的酶促和非酶促氧化、降解<sup>[18]</sup>。多酚类物质作为龙眼果肉最主要的活性物质,具有较强的抗氧化活性,因此多酚保留率作为本次实验的重要参数之一,具有价值意义,且多酚保留率越高,说明护色效果越好。

通过本实验研究结果表明,龙眼原浆在加入一定量的复合护色剂之后可以有效地抑制其褐变,可以保持原浆的感官质量以及品质,为后续龙眼原浆优质产品的开发提供一定的质量基础。

### 参考文献:

- [1] 陈艺晖,林艺芬,林河通,等.龙眼采后果皮褐变因素及防褐保鲜技术研究进展[J].包装与食品机械,2010,28(3):27-31.
- [2] 易阳,张名位,唐小俊.龙眼多糖的提取分离及其生物活性研究进展[J].广东农业科学,2009(2):62-68.
- [3] MERTENS B, KNORR D. Developments of nonthermal process for food preservation[J]. Food Technology, 1992, 46(5): 124-133.
- [4] ROBERT C S, PEDRO E, MERCE S, et al. Evaluation of browning

- effect on avocado puree preserved by combined methods[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2001, 1(4): 261-268.
- [5] 文良娟, 王嵬. 龙眼活性物质的提取及其抗氧化能力的研究[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(9): 37-41.
- [6] SOONG Y Y, BARLOW P J. Quantification of gallic acid and ellagic acid from longan seed and mango kernel and their effects on antioxidant activity[J]. *Food Chemistry*, 2006, 97(3): 524-530.
- [7] SOONG Y Y, BARLOW P J. Isolation and structure elucidation of phenolic compounds from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) seed by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry[J]. *Journal of Chromatography A*, 2005, 1085(2): 270-277.
- [8] JOSE A, BARRY G, GUSTAVO V. Inhibition of polyphenoloxidase in mango puree with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid[J]. *Food Science and Technology*, 2005, 38(6): 625-630.
- [9] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTÓS R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent[J]. *Methods in Enzymology*, 1999, 299: 152-178.
- [10] HE Xianjiu, LIU Ruihai. Phytochemicals of apple peels: isolation, structure elucidation, and their antiproliferative and antioxidant activities[J]. *Agricultura Food and Chemistry*, 2008, 56(21): 9905-9910.
- [11] 万素英, 赵亚军, 李琳, 等. 食品抗氧化剂[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998: 19-20.
- [12] 阚建全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 255-256.
- [13] DUDLEY E D, HOTCHKISS J H. Cysteine as an inhibitor of polyphenol oxidase[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 1989, 13(1): 65-75.
- [14] 吕心泉, 武利强. 苹果原浆抗氧化防褐变及稳定性试验[J]. *食品与机械*, 2002, 1(4): 11-12.
- [15] 张海晖, 段玉清, 倪燕, 等. 谷物中多酚类化合物提取方法及抗氧化效果研究[J]. *中国粮油学报*, 2008, 23(6): 107-110.
- [16] 姜红波, 林巧婷, 陈文娟, 等. 乌龙岭龙眼果皮的PPO特性及活性抑制[J]. *福建农林大学学报*, 2007, 36(7): 126-129.
- [17] SUN Jian, ZHANG Ezhen, XU Liangxiong, et al. Comparison on characterization of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) polyphenoloxidase using endogenous and exogenous substrates[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(18): 10195-10201.
- [18] FERRAR P H, WALKER J R L. Inhibition of diphenol oxidases: a comparative study[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 1996, 20(1): 15-30.