

速冻香蕉护色剂的研究*

刘俊围, 王维民, 湛素华, 钟赛意, 尚朝杰, 刘艳春, 包宇婷, 钟思燕, 许恺松

(广东海洋大学 食品科技学院, 广东 湛江, 524088)

摘 要 为抑制速冻香蕉褐变, 在香蕉速冻之前, 以褐变抑制率为指标, 在单因素实验结果的基础上, 进行了六因素两水平的正交实验, 采用极差分析, 选出了对褐变抑制率影响大的 4 种单一护色剂(*L*-半胱氨酸、植酸、*D*-异抗坏血酸钠、EDTA-2Na), 利用 Design-Expert 8.0 软件进行响应面分析。结果表明:速冻香蕉的最优护色剂配方为:*L*-半胱氨酸浓度为 0.14%, 植酸浓度为 1.32%, EDTA-2Na 浓度为 1.28%, *D*-异抗坏血酸钠浓度为 1.70%, 此时褐变抑制率预测值为 60.099 4%, 实际值达到了 61.172 2%, 预测值与实际值的吻合率达到了 98.246 3%。

关键词 香蕉; 褐变抑制率; 速冻; 护色剂

香蕉是典型的呼吸活跃型水果, 耐贮性差, 运输过程中也需小心翼翼避免机械损伤, 虽然许多专家、学者在香蕉保鲜技术(气调贮藏保鲜、变温贮藏保鲜、化学保鲜剂处理等)上进行了多方面的研究, 但目前该问题仍未得到根本解决^[1]。速冻水果保鲜与其他加工贮藏方法相比, 更能保持水果的原有的色泽、风味和营养价值, 目前已经有芒果、苹果、草莓、桃、樱桃、杨梅、板栗、荔枝、龙眼等采用了速冻的贮藏方法^[2], 香蕉也已经有人做过类似的研究, 如杨公明^[3-4]等发明了一种利用超速冷冻制作香蕉浆的方法及利用液浸式超速冷冻制备天然冰晶香蕉的方法的专利。本文采用了冻结的加工方法, 以方便香蕉的贮藏。

香蕉在加工和贮藏过程中, 褐变比较严重, 不仅影响香蕉的色泽、风味, 还会造成一定的营养损失。因此速冻香蕉速冻前需要进行护色处理, 速冻香蕉褐变主要是酶促褐变, 通过传统的物理方法护色, 不仅会对香蕉本身的风味和质构产生一定的影响, 也会造成一定的非酶褐变。本研究采用化学方法对速冻香蕉进行护色, 以褐变抑制率为指标, 选用不同浓度的 EDTA-2Na、柠檬酸、植酸、*L*-半胱氨酸、CaCl₂、*D*-异抗坏血酸钠, 确定不同护色剂的浓度, 用正交实验确定单一护色剂对速冻香蕉褐变抑制率影响的主次顺序, 利用响应面优化出最佳速冻香蕉护色剂的配方。

第一作者: 硕士研究生(王维民教授为通讯作者, E-mail: wwaal816@163.com)。

* 广东省科技计划项目(2012B2130106050); 广东海洋大学“创新强校工程”项目(GDOU2013041103)

收稿日期: 2014-09-25, 改回日期: 2014-10-29

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

香蕉(直径 2.5~3.0 cm, 硬度为 2.0~3.0 kg/cm²), 湛江市昌大昌超市。

L-半胱氨酸, 东易食品添加剂公司; *D*-异抗坏血酸钠, 郑州市拓洋实业有限公司; 植酸, 广州利源食品添加剂有限公司; 柠檬酸, 东易食品添加剂公司; CaCl₂, 浙江大成钙业有限公司; EDTA-2Na, 汕头市金砂化工有限公司, 以上试剂均为食品级。

1.2 仪器与设备

AW120 型托盘电子天平, 日本岛津公司; WYT-4 型手持糖量仪, 泉州万达实验仪器设备有限公司; 九阳 JYZ-C580 型打浆机, 山东济南市九阳股份有限公司; GY-3 型手持水果硬度计, 广州市铭睿电子科技有限公司; TDZ5-WS 台式低速离心机, 湖南赫西仪器装备有限公司; TMS-PRO 型物性分析质构仪, 美国 FTC 公司; 722S 可见分光光度计, 上海精密科学仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 指标测定

1.3.1.1 褐变度

在庄远红等^[5]的基础上进行了改进, 将新鲜香蕉切半, 放入护色液中浸泡 20 min 后捞出, 取 20 g 加入 25 mL 体积分数 95% 的乙醇打浆, 常温放置 90 min, 经 4 000 r/min 离心 10 min, 用分光光度计于 420 nm 处测上层清液的吸光度 *A*, 以吸光度 *A* 值来衡量褐变度的大小。

1.3.1.2 褐变度抑制率^[6]

R/% = (A0 - Am) / A0 × 100

式中:R,为褐变度抑制率;A₀,为空白实验所测褐变度;A_m,护色剂处理褐变度。

1.3.1.3 硬度测定

将香蕉去皮后,利用GY-3型手持水果硬度计,在香蕉果心表面选取20个点测量,并记录数据,计算其平均数,平行测定3次,确定香蕉硬度。

1.4 实验设计

1.4.1 单一护色剂护色

采用不同质量分数的EDTA-2Na(0.5%,1.0%,1.5%,2.0%,2.5%,3.0%)、植酸(0.1%,0.5%,0.9%,1.3%,1.7%,2.1%)、柠檬酸(0.4%,0.8%,1.2%,1.6%,2.0%,2.4%)、CaCl₂(0.1%,0.5%,0.9%,1.3%,1.7%,2.1%)、D-异抗坏血酸钠(0.1%,0.5%,0.9%,1.3%,1.7%,2.1%)、L-半胱氨酸(0.05%,0.10%,0.15%,0.20%,0.25%,0.30%)作为护色剂对香蕉进行护色,以褐变抑制率为指标,衡量其护色效果。

1.4.2 正交实验

以褐变抑制率为指标,采用L₈(2⁷)正交实验表进行六因素两水平正交实验,对结果进行极差分析,判断不同单一护色剂对速冻香蕉褐变抑制率影响的主次顺序,正交实验因素水平表见表1。

表1 正交实验设计因素水平表

Table 1 Orthogonal experimental design and variables levels

实验水平	A(L-半胱氨酸/%)	B(D-异抗坏血酸钠/%)	C(植酸/%)	D(柠檬酸/%)	E(EDTA-2Na/%)	F(CaCl ₂ /%)
1	0.10	0.9	0.9	0.4	1.0	0.5
2	0.15	1.3	1.3	0.8	1.5	0.9

1.4.3 Design-Expert 8.0 响应面设计

在正交实验基础上选择出对速冻香蕉褐变抑制率影响大的四个单一护色剂:L-半胱氨酸、植酸、EDTA-2Na、D-异抗坏血酸钠,进行四因素三水平的中心组合实验设计,实验因素水平表见表2,以褐变抑制率为指标,利用Design-Expert 8.0软件进行分析,确定速冻香蕉最佳护色剂配方。

1.5 数据处理方法

单因素实验结果采用Origin8.5软件进行作图,正交实验结果采用正交设计助手3.1进行分析处理,响应面实验结果采用Design-expert 8.0软件进行分

析处理。每个实验重复3次,数据用“平均数±标准差”表示。

表2 实验设计因素水平表

Table 2 Experimental design and variables levels

水平	因素			
	A(L-半胱氨酸/%)	B(植酸/%)	C(EDTA-2Na/%)	D(D-异抗坏血酸钠/%)
1	0.20	1.7	2.0	1.7
0	0.15	1.3	1.5	1.3
-1	0.10	0.9	1.0	0.9

2 结果与分析

2.1 单因素结果与分析

2.1.1 EDTA-2Na 对褐变抑制率的影响

根据图1所示,当EDTA-2Na浓度为1.5%时褐变抑制率最高。当EDTA-2Na浓度为0.5%时,褐变抑制率几乎为零,在1.0%、1.5%时褐变抑制率大大提高,浓度为2.0%以后,褐变抑制率几乎不再变化。我们知道EDTA-2Na是一种金属螯合剂^[7],其可以螯合促进褐变反应的金属离子,从而抑制褐变。随着EDTA-2Na浓度的增加,其与促进反应的金属离子进行螯合,使得褐变抑制率持续增加,当EDTA-2Na浓度达到1.5%时,褐变抑制率达到最大,往后再随着其浓度的增加,褐变抑制率反而下降。

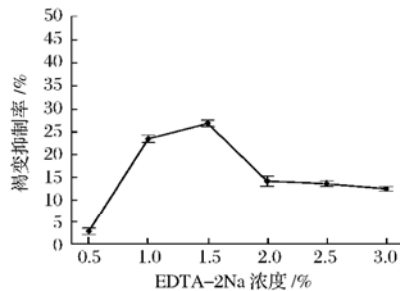


图1 EDTA-2Na 的护色效果

Fig. 1 The effect of EDTA-2Na color-protecting

2.1.2 植酸对褐变抑制率的影响

如图2可知随植酸浓度的增加,褐变抑制率先增加,后减小,在浓度为1.3%时,褐变抑制率达到最高,随后减小,然后趋于平缓。我们知道植酸是维生素B族的一种肌醇六磷酸酯,对金属离子有很强的螯合作用^[8],可能是由于在植酸浓度低时,香蕉内的金属离子不能完全被络合,随着植酸浓度的增加,络合的金属离子逐渐增加,褐变抑制率也随之增加,当浓度达到一定时,植酸与香蕉中的金属离子完

全络合,出现褐变抑制率的顶点,植酸浓度继续增加,可能由于浓度过大,使得细胞内外的渗透压增加,出现了液泡中的物质流出,导致褐变抑制率下降,随着植酸浓度再增加,褐变抑制率几乎不再变化。

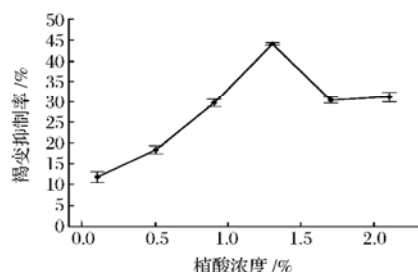


图2 植酸的护色效果

Fig. 2 The effect of phytic acid color-protecting

2.1.3 柠檬酸对褐变抑制率的影响

柠檬酸是一种较强的有机酸,有3个 H^+ 可以电离,不仅能降低护色液的pH值,使得护色剂的pH值远离多酚氧化酶的最适pH值,也可以螯合多酚氧化酶的铜辅基的作用,从而达到抑制褐变的作用^[9]。从图3可知,随着柠檬酸浓度的增加,褐变抑制率先升高随后减小,在浓度达到0.8%时褐变抑制率达到最高点,在浓度为2.4%时褐变抑制率最低。

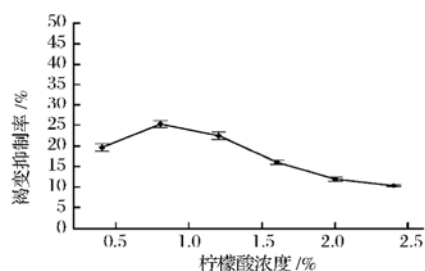


图3 柠檬酸的护色效果

Fig. 3 The effect of citric acid color-protecting

2.1.4 $CaCl_2$ 对褐变抑制率的影响

根据图4所示,可知随着 $CaCl_2$ 浓度的增加褐变抑制率呈先上升后下降的趋势,在浓度为0.5%时,褐变抑制率达到最顶点,浓度为2.1%时,褐变抑制率达到最低。可能是由于在 $CaCl_2$ 浓度低时, $CaCl_2$ 中的钙与氨基酸发生沉淀作用且钙的存在使钙离子与细胞壁上的果胶酸作用形成果胶酸钙,增加组织的硬度,从而阻止液泡中组织液外渗到细胞质中与酶类接触,降低酶褐变程度;当浓度过高时反而使得细胞的渗透压增大,导致液泡中组织液外渗到细胞质中与酶类接触,反而使得酶促褐变增强,因此表现为褐变抑制率反而增大^[10]。

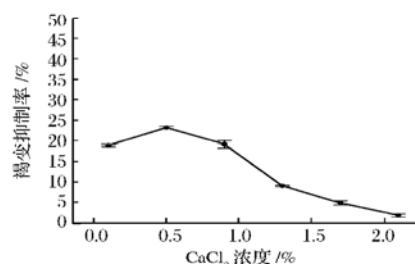


图4 $CaCl_2$ 的护色效果

Fig. 4 The effect of calcium chloride color-protecting

2.1.5 D-异抗坏血酸钠对褐变抑制率的影响

根据5所示,可知随着D-异抗坏血酸钠的浓度的增加,褐变抑制率也随着增加,当浓度上升到1.7%,褐变抑制率达到最高,往后再随着浓度的增加,褐变抑制率趋势趋于平缓,几乎不再增加。这可能是由于随着D-异抗坏血酸钠浓度增加,香蕉中的醌类及衍生物的浓度随之减少;当D-异抗坏血酸钠浓度达到1.70%时,香蕉中的醌类及衍生物完全被其还原,再使其继续浓度增加,D-异抗坏血酸钠会被氧化成脱氢错酸钠,从而褐变抑制率趋于平缓,几乎不再变化^[11]。

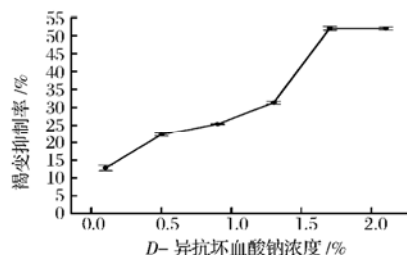


图5 D-异抗坏血酸钠的护色效果

Fig. 5 The effect of d-sodium erythorbate color-protecting

2.1.6 L-半胱氨酸对褐变抑制率的影响

L-半胱氨酸是一种具有生理功能的氨基酸,具有还原性基团,不仅可以结合多酚氧化酶中心的铜离子,也可以与酶促反应产物生成无色物质^[12-14]。根据图6所示,可知随着L-半胱氨酸浓度的增加,褐变抑制率随之增加,当其浓度达到0.20%时,褐变抑制率达到最高,往后再随着浓度的增加,其褐变抑制率反而下降。

2.2 正交实验结果与分析

为了确定6种护色剂对褐变抑制率影响的主次顺序,在单因素实验的基础上选择6种护色剂的2个较优水平,利用 $L_8(2^7)$ 正交表进行正交实验,正交实验结果见表3。通过极差(R_j)分析结果得到了6种

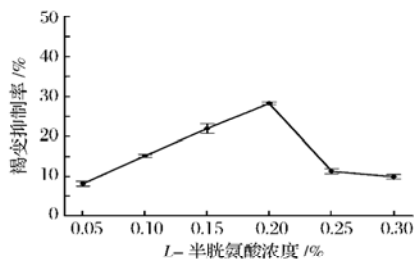


图6 *L*-半胱氨酸的护色效果

Fig. 6 The effect of *L*-cysteine color-protecting

单一护色剂对褐变抑制率影响的主次顺序。由极差值(R_j)可知,影响速冻香蕉褐变抑制率的主次顺序是: $C > E > B > A > F > D$,即植酸、EDTA-2Na、*D*-异抗坏血酸钠、*L*-半胱氨酸、CaCl₂、柠檬酸。

表3 正交实验结果

Table 3 Orthogonal experiment results

实验号	A	B	C	D	E	F	褐变抑制率/%
1	1	1	1	1	1	1	34.89
2	1	1	1	2	2	2	32.22
3	1	2	2	1	1	2	50.30
4	1	2	2	2	2	1	40.07
5	2	1	2	1	2	1	33.41
6	2	1	2	2	1	2	40.74
7	2	2	1	1	2	2	33.33
8	2	2	1	2	1	1	36.81
K_1	39.370	35.515	34.313	37.983	40.685	36.295	
K_2	36.070	40.127	41.130	37.460	34.757	39.147	
R_j	3.297	4.812	6.817	0.532	5.928	2.852	
主次因素 C>E>B>A>F>D							

2.3 响应面结果与分析

2.3.1 回归模型的建立与分析

根据正交实验选择出的对褐变抑制率影响较大的4个单一护色剂(*L*-半胱氨酸、植酸、EDTA-2Na、*D*-异抗坏血酸钠),选择较优的3个水平,以褐变抑制率为响应值,所得结果见表4,利用 Design-expert 8.0 进行多元回归拟合分析,建立二次多项式模型为:

$$Y = -227.40 + 377.58A + 87.63B + 209.68C + 39.05D + 119.13AB - 191.8AC + 81.75AD - 22.44BC + 15.58BD - 35.86CD - 1497.1A^2 - 38.72B^2 - 35.85C^2 + 4.71D^2 \quad (R^2 = 0.9500, R^2_{Adj} = 0.9000)$$

从表5可以得出,回归方程极显著($P < 0.0001$),失拟项不显著($P = 0.0571 > 0.05$),预测值与实验值具有高度相关性($R^2 = 0.9500$)。拟合程度低,说明模型不能反映响应值的变化,但本实验拟合

程度高达95%,说明模型能反映响应值的变化,可用这套模型对速冻香蕉护色剂配方的褐变抑制率进行特别好的分析和预测。从表5中还可以了解到因素A、B、D、CD、B²、C²对速冻香蕉褐变抑制率有极显著影响($P < 0.01$),AC、BC、A²对速冻香蕉褐变抑制率有显著影响($P < 0.05$),A与C、B与C的交互作用对速冻香蕉的褐变抑制率有显著影响,C与D的交互作用对速冻香蕉的褐变抑制率有极显著影响。

表4 响应面及实验结果

Table 4 The response surface and the experimental results

实验号	A	B	C	D	褐变抑制率/%
1	-1	0	0	1	57.83
2	0	0	0	0	46.22
3	-1	-1	0	0	40.98
4	1	0	0	1	52.10
5	1	0	-1	0	31.99
6	0	-1	0	-1	32.13
7	0	1	0	-1	21.01
8	0	1	0	1	53.99
9	-1	1	0	0	32.01
10	0	-1	0	1	55.14
11	0	0	0	0	47.20
12	0	0	1	1	35.18
13	1	1	0	0	29.61
14	-1	0	1	0	44.21
15	0	0	0	0	45.07
16	0	1	-1	0	30.96
17	0	1	1	0	22.43
18	1	0	0	-1	26.87
19	0	0	-1	-1	19.76
20	0	0	0	0	42.57
21	0	-1	-1	0	32.23
22	1	0	1	0	21.35
23	0	0	0	0	45.33
24	0	0	-1	1	56.18
25	1	-1	0	0	29.05
26	-1	0	-1	0	35.67
27	0	0	1	-1	27.45
28	0	-1	1	0	41.65
29	-1	0	0	-1	39.14

2.3.2 速冻香蕉护色剂配方响应面分析与优化

从图7中可以看出,*L*-半胱氨酸与EDTA-2Na两种护色剂的交互作用显著(等高线呈椭圆状),EDTA-2Na的曲面相对于*L*-半胱氨酸的曲面较陡,且等高线沿EDTA-2Na轴比较密集,沿*L*-半胱氨酸轴稀疏。说明EDTA-2Na对速冻香蕉褐变抑制率的影响比较大。从图7中得到,EDTA-2Na与植酸对速冻香蕉的褐变抑制率影响都很显著(曲面弯曲程度比较大);等高线沿植酸轴比EDTA-2Na的轴密集,说明植酸的

表5 回归系数显著性

Table 5 Regression coefficient significance

方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	p 值	显著性
模型	14	3361.81	258.05	16.22	<0.0001	**
A	1	288.81	288.81	25.5	0.0003	**
B	1	141.25	141.25	15.22	0.0048	**
C	1	17.57	17.57	1.34	0.2580	
D	1	1729.44	1729.44	107.23	<0.0001	**
AB	1	22.71	22.71	0.091	0.2014	
AC	1	91.97	91.97	5.78	0.0173	*
AD	1	10.69	10.69	0.49	0.3732	
BC	1	80.55	80.55	5.14	0.0243	*
BD	1	24.85	24.85	1.59	0.1826	
CD	1	205.78	205.78	11.55	0.0012	**
A ²	1	90.86	90.86	10.48	0.0179	*
B ²	1	248.96	248.96	22.79	0.0006	**
C ²	1	520.92	520.92	28.78	<0.0001	**
D ²	1	3.68	3.68	0.29	0.5978	
残差	14	176.90	12.64			
失拟项	10	164.94	16.49	5.52	0.0571	
净误差	4	11.96	2.99			
总和	28	3538.71				

注 “**” ($P < 0.01$) 为极显著, “*” ($P < 0.05$) 为显著。

护色效果比 EDTA-2Na 的护色效果好。图 8 中等高线的形状比较特殊,说明 CD 的交互作用是极显著的。当 EDTA-2Na 浓度低时,随着 D-异抗坏血酸钠浓度的增加,护色效果越来越好。当 D-异抗坏血酸钠浓度低时,随着 EDTA-2Na 浓度的增加,褐变抑制率是先增大后减小的(图 9)。

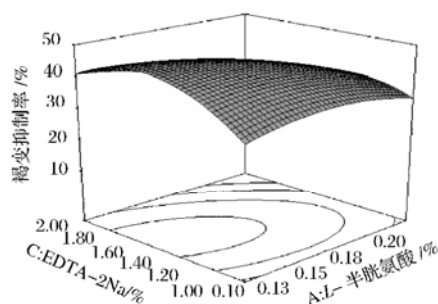


图7 EDTA-2Na 与 L-半胱氨酸的交互作用对褐变抑制率的影响

Fig. 7 EDTA-2Na and the interaction of L-cysteine on the browning inhibition rate

2.3.3 速冻香蕉最佳护色剂配方的确定和验证实验

根据响应面实验所得的数据和回归方程,利用 Design-Expert 8.0 软件处理所得的数据,选择的最佳的速冻香蕉护色剂配方是:L-半胱氨酸添加量为 0.14%,植酸添加量为 1.32%,EDTA-2Na 添加量为 1.28%,D-异抗坏血酸钠添加量为 1.70%,在此配方

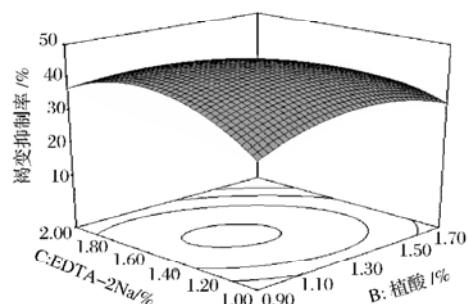


图8 EDTA-2Na 与植酸的交互作用对褐变抑制率的影响

Fig. 8 D-sodium erythorbate the interaction of phytic acid on the browning inhibition rate

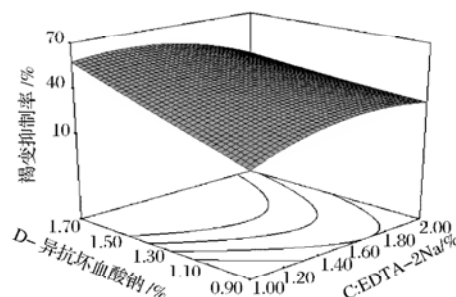


图9 D-异抗坏血酸钠与 EDTA-2Na 的交互作用对褐变抑制率的影响

Fig. 9 EDTA-2Na and the interaction of EDTA-2Na on the browning inhibition rate

下预测速冻香蕉褐变抑制率为 60.099 4%。为了验证此响应面模型的可行性,选用软件处理得到的最佳护色剂配方进行验证性实验,通过 3 组平行实验得到褐变抑制率分别为 61.172 2%、61.172 2%、61.172 2%,取平均值为 61.172 2%,预测值与实际值的吻合率达到了 98.246 3%,说明响应面法具有较高的预测能力,可以准确的预测护色剂配方的褐变抑制率。

3 结论

(1) 通过对不同浓度单一护色剂对香蕉护色的效果确定了,每一种护色剂较好的护色浓度,L-半胱氨酸较好的护色浓度为 0.10%,0.15%,0.20%;植酸较好的护色浓度为 0.9%,1.3%,1.7%;EDTA-2Na 较好的护色浓度为 1.0%,1.5%,2.0%;D-异抗坏血酸钠较好的护色浓度为 0.9%,1.3%,1.7%。

(2) 通过六因素两水平正交实验确定了不同单一护色剂对速冻香蕉褐变抑制率影响主次顺序:植酸 > EDTA-2Na > D-异抗坏血酸钠 > L-半胱氨酸 > 氯化钙 > 柠檬酸。

(3) 在单因素实验和正交实验的基础上,采用响

应面法对速冻香蕉护色剂配方建立了回归模型,确定了最佳的护色剂配方:*L*-半胱氨酸添加量为 0.14%,植酸添加量为 1.32%,EDTA-2Na 添加量为 1.28%,*D*-异抗坏血酸钠添加量为 1.70%,在此配方下预测速冻香蕉褐变抑制率为 60.099 4%,而经验证实验得到的速冻香蕉褐变抑制率为 61.172 2%,预测值与实际值的吻合率达到了 98.246 3%,说明实验结果与所建立的回归模型符合良好,优化后的护色剂配方合理可行。

参 考 文 献

- [1] 陈振东,郑涛,林秀香. 香蕉采后生理及贮藏保鲜研究综述 [J]. 中国农学通报,2013,29(7):61-64.
- [2] 黄宏云. 浅谈果蔬速冻加工技术 [J]. 广西轻工业,2010(9):13-14.
- [3] 杨公明,余铭,陈海强,等. 利用液浸式超速冷冻制备天然冰晶香蕉的方法 [P]. CN,102613282A. 2012-08-01.
- [4] 杨公明,叶琼娟,张全凯. 一种利用超速冷冻制作香蕉浆的方法 [P]. CN,102871072A. 2013-01-16.
- [5] 庄远红,吴桂花,黄育辉. 不同护色剂对冻藏香蕉片护色效果及品质的影响 [J]. 漳州师范学院学报:自然科学版,2010,23(1):110-114.
- [6] 蒋萌蒙,田呈瑞,孙俊. 不同食品添加剂抑制双孢菇褐变的研究 [J]. 安徽农业科学,2007,35(18):553-555.
- [7] 舒念辉. 果汁褐变及控制研究 [J]. 食品与发酵科技,2011,47(5):59-61.
- [8] 赵喜亭,赵月丽,王苗,等. 铁棍山药 POD 特性及褐变抑制研究 [J]. 河南农业科学,2011,40(1):107-111.
- [9] 程建军,任运宏. 果蔬酶褐变控制的研究进展 [J]. 东北农业大学学报,2000,31(4):406-410.
- [10] Duangmal K, Owusu Apenten R K. A comparative study of polyphenoloxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano) [J]. Food Chemistry, 1999, 64(3):351-359.
- [11] Marshall M R, Kim J, Wei C. Enzymatic browning in fruits, vegetables and seafoods [J]. FAO, Rome, 2000:49.
- [12] Bell D J, Blake J D, Prazak M, et al. Studies on yeast differentiation using organic acid metabolites part 1. development of methodology using high performance liquid chromatography [J]. Journal of the Institute of Brewing, 1991, 97(4):297-305.
- [13] Richard-Forget F C, Goupy P M, Nicolas J J. Cysteine as an inhibitor of enzymic browning. 2. Kinetic studies [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(11):2108-2113.
- [14] Robert C, Richard-Forget F, Rouch C, et al. A kinetic study of the inhibition of palmito polyphenol oxidase by *L*-cysteine [J]. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 1996, 28(4):457-463.

The response surface method optimization quick-frozen banana color fixative research

LIU Jun-wei, WANG Wei-min, CHEN Su-hua, ZHONG Sai-yi, SHANG Chao-jie,
LIU Yan-chun, BAO Yu-ting, ZHONG Si-yan, XU Kai-song

(College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

ABSTRACT To inhibit browning of quick-frozen bananas, prior to quick-frozen, choosing browning inhibition rate as the index, based on the results of single factor experiment, six factors and two levels of orthogonal experiment were performed, Range analysis was applied to select four single color fixatives which highly impacted on the browning: *L*-cysteine, phytic acid, *D*-sodium erythorbate, EDTA-2Na. The results were optimized and analyzed by response surface regression with Design-expert 8.0. The best compound inhibitors were as follows: *L*-cysteine dosage 0.14%, phytic acid dosage 1.32%, EDTA-2Na dosage 1.28%, *D*-sodium erythorbate dosage 1.70%. Under these conditions, the predicted browning inhibition rate was 60.0994%, the actual value was 61.1722%, the accuracy between actual value and predicted value reached to 98.2463%.

Key words bananas; browning inhibition rate; quick-frozen; color fixative