

食品包装

## 鲜切山药保鲜护色研究

杜运鹏, 杨福馨, 陈基玉, 王海丽, 魏丽娟  
(上海海洋大学, 上海 201306)

**摘要:** **目的** 利用家用调味剂(蔗糖、食盐、白醋)对鲜切山药保鲜护色进行研究。**方法** 利用 $L_9(3^4)$ 正交试验配置一定浓度的蔗糖、食盐、食醋复合浸渍液,并用聚乙烯薄膜进行包装,得出比较理想的鲜切山药贮藏方法。**结果** 蔗糖、食盐、白醋都有很好的保鲜护色效果,单因素试验表明,当采用蔗糖、食盐、食醋(质量浓度分别为3, 1, 3 g/L)浸泡鲜切山药10 min后,其褐变度的减缓和PPO活性的抑制最为明显。正交试验结果表明,采用蔗糖、食盐、白醋质量浓度分别为4, 2, 3 g/L混合处理液浸泡10 min后,护色保鲜效果最好。**结论** 经过特定浓度复配的蔗糖、食盐、白醋溶液能有效抑制鲜切山药的酶促褐变,起到保鲜护色的作用。

**关键词:** 鲜切山药; 家用调味剂; 护色

**中图分类号:** TS255 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)01-0087-05

### Preservation and Color-Protection of Fresh-Cut Yam

DU Yun-Peng, YANG Fu-Xin, CHEN Ji-Yu, WANG Hai-Li, WEI Li-Juan  
(Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**ABSTRACT:** The work aims to research the preservation and color protection of fresh-cut yams with domestic favoring agents (cane sugar, salt and white vinegar).  $L_9(3^4)$  orthogonal test was used to prepare the composite impregnation liquid of cane sugar, salt and white vinegar of a certain concentration. Polyethylene films were used to wrap yams to find an ideal way of preserving fresh-cut yams. The cane sugar, salt and white vinegar had a good preservation and color-protection effect. The single-factor experiment showed that after the fresh-cut yams were soaked by the compound of cane sugar, salt and white vinegar (respective mass concentrations were 3, 1 and 3 g/L), the browning degree slowed down and the PPO activity was inhibited dramatically. Results from orthogonal test showed that preservation and color-protection effect would be the best after being soaked by the compound treating fluid of cane sugar, salt and white vinegar with the respective mass concentrations of 4, 2 and 3 g/L. The composite impregnation liquid composed of the cane sugar, salt and white vinegar of a certain concentration can prevent fresh-cut yams from enzymatic browning effectively; and as a result, it can preserve and protect the color of yams.

**KEY WORDS:** fresh-cut yam, domestic flavoring agents, color protection

我国是世界上重要的山药种植国,无论是种植面积、产量还是在消费量上都是世界上最大的国家<sup>[1]</sup>,研究表明山药有非常高的营养价值和药用价值<sup>[2]</sup>,含有丰富的维生素,如钙、磷、铁、以及多种营养成分,比如蛋白质、胡萝卜素及等。鲜切山药作为一种新式

山药加工产品<sup>[3]</sup>能够便捷地供广大食客食用,但是,山药在切开后非常容易褐变,由于在多酚氧化酶的催化下,酚类物质转化成了醌类物质,随着醌类物质不断增多积累形成了黑色物质<sup>[4]</sup>,并且由于暴露在空气中也极易被微生物所污染<sup>[5-7]</sup>,黑色物质的积累以及

收稿日期: 2016-08-31

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2012AA0992301); 上海市科委工程中心建设项目(11DZ2280300); 上海市助推计划(2013CL1312HY); 上海高校一流学科项目

作者简介: 杜运鹏(1991—),男,上海海洋大学硕士生,主攻食品包装工程技术。

通讯作者: 杨福馨(1958—),男,博士,上海海洋大学教授、硕导,主要研究方向为包装机械、包装工程理论与技术。

微生物的污染导致山药的食用价值和营养价值急剧下降,甚至会造成安全隐患,由此可见,控制并防止山药发生褐变是非常有必要的,是保证山药食用价值及营养价值的关键所在<sup>[8]</sup>。

据文献调查,大部分鲜切果蔬浸渍液的制备主要集中在化学添加剂上,如亚硫酸盐、柠檬酸、抗坏血酸等<sup>[9-10]</sup>。实验利用厨房常见的3种食品调味剂(蔗糖、食盐、白醋)复配成鲜切山药浸渍液对鲜切山药进行浸泡,结合PE包装薄膜<sup>[10]</sup>研究鲜切山药的保鲜效果,该实验结果不仅可直接用于家庭鲜切山药护色保鲜当中,还可以为如何改善并保持鲜切山药的品质提供可以参考的方法及依据。

## 1 实验

### 1.1 材料

市售山药:选择新鲜、直径和长度基本一致的无病害果实,2016年7月20日备货,21日早购于上海临港农工商超市。市售蔗糖、食盐、食醋(白);吹塑自制PE薄膜(厚度:34~36 μm)。主要化学试剂:磷酸氢二钠,分析纯,购至国药集团化学试剂有限公司;磷酸二氢钠,分析纯,购至国药集团化学试剂有限公司;邻苯二酚,化学纯,购至国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 主要仪器设备

分析天平,BSM-220.3型,上海卓精电子科技有限公司;酶标仪,Synergy 2型,美国博腾仪器有限公司;色差仪,CM-700d/600d型,日本美能达仪器有限公司;离心机,5810/5810R型,深圳市赛亚泰科仪器设备有限公司;多功能自动塑料薄膜封口机,DBF-1000型,永康市源高包装机械有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 不同浸渍液保鲜鲜切山药的效果

鲜切山药的工艺流程:原料→筛选→清洗→去皮→切片→浸渍→沥干→包装→贮藏。将新鲜山药清洗后,沥干并迅速在超净台上切分,每片厚度在10 mm左右,直径为3~4 cm,将切分后的山药用不同质量浓度的蔗糖溶液、食盐溶液和白醋溶液浸泡,每种溶液的质量浓度均为1,3,5 g/L三水平,浸泡时间为10 min,同时用蒸馏水浸泡一部分鲜切山药作为对照组,浸泡时间相同。固液比为1:5,浸泡完后沥干、称质量,并用PE薄膜包装,每袋质量为20 g,常温保存(温度为20~25 ℃,相对湿度为80%)。

#### 1.3.2 复合浸渍液保鲜鲜切山药的效果

根据不同浸渍液抑制鲜切山药褐变的效果,选择蔗糖、食盐、食醋最佳质量浓度区间以及浸泡时间做

四因素三水平即 $L_9(3^4)$ 的正交试验。8 d后评价各处理的保鲜效果。

表1 正交试验设计  
Tab.1 Orthogonal test design

水平	因素			
	A 蔗糖质量浓度 (g·L <sup>-1</sup> )	B 食盐质量浓度 (g·L <sup>-1</sup> )	C 食醋质量浓度 (g·L <sup>-1</sup> )	D 时间 /min
1	2	0	2	2
2	3	1	3	6
3	4	2	4	10

### 1.4 质量指标测定

1) 色差。色差即2种颜色的差别,这种差别大小用色差值 $\Delta E$ 和 $L^*$ 来表示, $L^*$ 和 $\Delta E$ 综合表示其褐变程度, $L^*$ 易受切面水分含量影响,故对样品双面多点测量求平均值<sup>[15]</sup>。 $\Delta E^*a^*b^*=[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{0.5}$ ( $\Delta E^*a^*b^*$ 值越小,表示护色效果越好)。式中: $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ 分别为物体表面的明度差和色品坐标差。

2) 多酚氧化酶(Polyphenoloxidase, PPO)活性的测定。PPO活性测定采用邻苯二酚法(Aquino-Bolaños和Mercado-Silva, 2004<sup>[11]</sup>)。采用酶标仪进行测定,总反应体积为200 μL,反应液的体积与粗酶液的体积需要做相应的调整。175 μL反应液(用50 mmol/L, pH=6.4的PBS配制,内含100 μmol/L邻苯二酚)中加入25 μL的粗酶液,待反应平衡1 min后测定398 nm吸光度的连续变化。以1 min内398 nm吸光度上升0.01为一个酶活性单位,结果以U/g表示。

### 1.5 数据处理

每个所测数据均采用3次平行试验取平均值,采用EXCEL, SPSS对数据进行分析。结果以平均值±标准偏差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浸渍液对鲜切山药褐变程度的影响

蔗糖浸渍液对鲜切山药褐变程度的影响见图1a。由图1a可知鲜切山药的褐变度变化是很大的,鲜切山药褐变度从0到第2天变化幅度巨大,随着贮藏时间的延长,褐变度变化幅度减缓,但整体都呈上升趋势,空白组和经过蔗糖处理液浸泡的山药样品的褐变度显著性差异明显( $P<0.05$ ),褐变度明显低于空白组(CK),这说明糖既可以作为鲜切山药所需的营养来源<sup>[14]</sup>,也可以通过调节水分平衡和渗透势,抑制山药褐变从而保持山药新鲜,从曲

线图可知蔗糖处理液的质量浓度为 3, 5 g/L 时, 样品褐变度相对较低。

食盐浸渍液对鲜切山药褐变程度的影响见图 1b。由图 1b 可知, 随着储藏天数的增加, 对照组鲜切山药样品的褐变度明显高于处理组样品的褐变度 ( $P < 0.05$ ), 这说明食盐是维持细菌细胞和培养基渗透压的主要物质, 文献[12]表明, 当食品食盐质量浓度为 5 g/L 时, 已有明显的抑菌保鲜效果, 能有效防止霉变带来的颜色反应, 从图 1b 中可以看出当用质量浓度为 3 g/L 和 5 g/L 的食盐溶液处理鲜切山药后, 其褐变度变化相对空白对照组较缓慢, 另外, 食盐质量浓度为 3 g/L 时, 浸渍液抑制褐变的效果最好。

食醋浸渍液对鲜切山药褐变程度的影响见图 1c。由图 1c 可知, 食醋浸渍后鲜切山药样品的褐变度变化幅度不是太大, 1 g/L 和 5 g/L 食醋保鲜液同 CK 组变化趋势较为相近, 3 g/L 的食醋保鲜液相对于 CK 组有效果差异明显 ( $P < 0.05$ ), 说明食醋对鲜切山药褐变度有抑制效果。3 g/L 食醋保鲜液从 0~8 d 效

果都优于其他组, 所以 3 g/L 食醋处理液对鲜切山药褐变度抑制效果最好。

## 2.2 不同浸渍液对鲜切山药 PPO 的影响

蔗糖浸渍液对鲜切山药 PPO 的影响见图 2a。由图 2a 可知, PPO 活性曲线整体呈先上升后下降趋势, 各个样品在第 2 天时 PPO 活性达到峰值, 随后处理组 PPO 活性出现巨幅下降, 且整体低于对照组, 显著性差异明显 ( $P < 0.05$ ), 这说明蔗糖浸渍液一定程度上抑制了鲜切山药 PPO 活性。从图 2a 中可以看出质量浓度为 1 g/L 和 3 g/L 的蔗糖溶液对鲜切山药 PPO 活性的抑制效果相近, 且到第 8 天时 PPO 活性都相对较低。

食盐浸渍液对鲜切山药 PPO 的影响见图 2b。食盐浸渍液对鲜切山药 PPO 的活性影响较为明显 ( $P < 0.05$ ), 各个样品每个时间点的 PPO 活性都不同程度的低于空白对照组, 这说明食盐浸渍液一定程度上抑制了鲜切山药 PPO 活性, 从图 2b 可知, PPO 活性整体都在第 2 天达到峰值, 随后出现下降, 到最后一天又出现上升, 1 g/L 和 5 g/L 的食盐浸渍液对鲜切山药 PPO 活性抑制效果基本相同, 考虑到高浓度食盐溶液容易破坏细胞渗透比, 所以选用 1 g/L 食盐处理液最为合适。

食醋浸渍液对鲜切山药 PPO 的影响见图 2c。由图 2c 可知, 除了 5 g/L 食醋浸渍液组 PPO 活性到第 4 天到达峰值且高于对照组, 其它处理组从第 2 天开始 PPO 活性成下降趋势且明显低于对照组 ( $P < 0.05$ ), 到第 8 天时 3 g/L 食醋浸渍液组 PPO 活性达到最低值, 所以 3 g/L 食醋浸渍液对新鲜山药切片的 PPO 活性有最佳抑制效果。实验结果也印证了有机酸可以阻止真菌孢子的虫长和延缓污染, 同时, 它还抑制果蔬呼吸途径中的酶的活性, 这是由于呼吸速度降低, 其他相关的代谢过程包括成熟过程受到了阻碍<sup>[13]</sup>。

## 2.3 家用保鲜液复合处理鲜切山药品质保持效果

由正交试验结果表 2 可看出, 复配组整体优于空白组, 由于用 SPSS 统计软件对  $L_9(3^4)$  的正交试验结果进行方差分析时误差项自由度为 0, 需要把极差最小的因素作为误差项进行分析, 由表 3 可知极差  $R$  最小因素为 D, 所以这里只对 A, B, C 三因素进行方差分析, 由方差分析结果表 4 可知, 因素 A 对鲜切山药褐变度和 PPO 活性有显著影响, B 因素对其影响较小, C 因素无显著性影响。即综合分析 4 个因素的主次关系为  $A > B > C > D$ 。

由表 5 可以看出 3 个因素的最好水平为  $A_3B_3C_3$  或  $A_3B_3C_2$ , 相较于褐变度, C 因素对于 PPO 活性显著性更高, 所以取  $C_2$  最好, D 因素为最小影响因素,

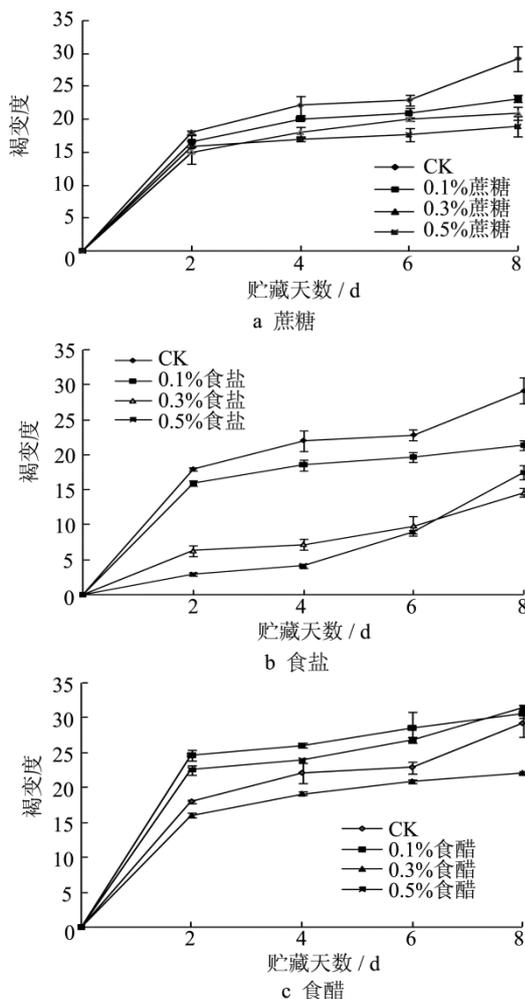


图 1 不同处理液对鲜切山药褐变度影响  
Fig.1 Effect of different solution on the browning of fresh cut yam

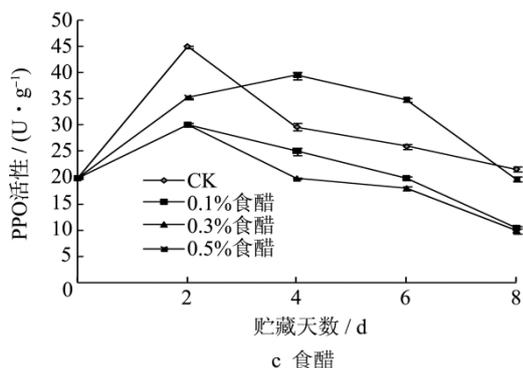
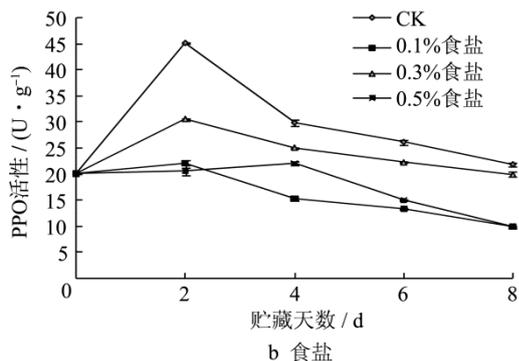
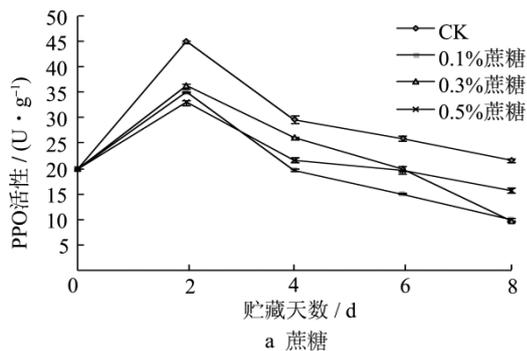


图2 不同处理液对鲜切山药 PPO 活性影响  
Fig.2 Effect of different solution on fresh cut yam PPO activity

表2 正交设计试验结果  
Tab.2 The result of orthogonal test

试验序号	A 蔗糖	B 食盐	C 食醋	D 时间	PPO 活性	褐变度
1	3	2	3	1	7.57	10.46
2	3	3	1	2	6.29	7.16
3	2	1	3	2	14.31	20.62
4	2	3	2	1	10.67	18.26
5	2	2	1	3	12.65	19.73
6	1	3	3	3	18.55	25.32
7	1	1	1	1	20.73	30.54
8	3	1	2	3	8.16	11.13
9	1	2	2	2	20.16	27.57
CK	—	—	—	—	21.73	30.69

表3 正交设计试验结果分析  
Tab.3 The analysis of orthogonal design results

K 值	PPO 活性				褐变度			
	A	B	C	D	A	B	C	D
$K_1$	28.17	38.97	34.28	40.38	38.24	59.26	46.91	57.76
$K_2$	41.87	27.1	37.12	45.57	63.31	38.02	52.99	63.02
$K_3$	49.05	53.02	47.69	33.14	69.24	73.51	70.89	50.01
$k_1$	9.39	12.75	11.43	13.46	12.75	19.75	15.64	19.25
$k_2$	13.96	9.03	12.37	15.19	21.1	12.67	17.66	21.01
$k_3$	16.35	17.67	15.89	11.05	23.08	24.05	23.63	16.67
R	6.96	8.64	4.46	4.14	10.33	11.38	7.99	4.34
主次关系	B>A>C>D				B>A>C>D			

注： $K_i$ 为在每个因素下对应水平为*i*的实验结果的和， $k_i$ 为*i*水平数据的综合平均= $K_i$ /水平*i*的重复次数。

表4 主体间效应的检验  
Tab.4 Test of inter subjective effect

因变量	变异来源	III型平方和	自由度	均方	F 值	显著性
褐变度	校正模型	522.484	6	87.081	61.557	0.016
	截距	3241.025	1	3241.025	2291.071	0.000
	A	499.728	2	249.864	176.628	0.006
	B	22.578	2	11.289	7.980	0.111
	C	0.177	2	0.089	0.063	0.941
	误差	2.829	2	1.415	—	—
PPO 活性	校正模型	245.947	6	40.991	138.791	0.007
	截距	1575.825	1	1575.825	5335.551	0.000
	A	235.512	2	117.756	398.707	0.003
	B	10.089	2	5.045	17.081	0.055
	C	0.346	2	0.173	0.586	0.631
	误差	0.591	2	0.295	—	—

表5 褐变度与 PPO 活性估算边际均值  
Tab.5 Marginal mean value of browning degree and PPO

水平	褐变度			PPO 活性		
	A 蔗糖	B 食盐	C 食醋	A 蔗糖	B 食盐	C 食醋
1	26	20.9	19.1	20	14.4	13.2
2	20	19	19	12.5	13.5	13
3	10	16.5	18.7	7.5	12	13.5

考虑到浸泡时间越长试验误差越小，所以取  $D_3$  为宜，综上得到的最佳组合为  $A_3B_3C_2D_3$ ，即蔗糖、食盐、食醋质量浓度分别为 4, 2 和 3 g/L，浸泡时间 10 min。

### 3 结语

实验利用家用常见调味试剂研究其对鲜切山药的保鲜护色效果,由实验结果可以看出,经过复合使用的蔗糖、食醋、食盐浸渍液护色保鲜效果很明显,实验结果对于鲜切山药家庭简易保鲜及快餐企业短时间保藏保鲜有很好的参考价值,并且对其他保鲜实验前期处理提供理论依据。综上可知,可以得出以下结论:保鲜液浸泡过的鲜切山药在护色效果上明显优于CK组,单因素实验时,蔗糖浸渍液的质量浓度为3 g/L、食盐浸渍液的质量浓度为1 g/L,以及食醋浸渍液质量浓度为3 g/L时,鲜切山药护色效果最好;对复配实验的数据进行分析后得出最佳复配组为A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>2</sub>D<sub>3</sub>,即用蔗糖、食盐、食醋质量浓度分别为4,2和3 g/L的混合处理液浸泡10 min后,护色保鲜效果最好。

#### 参考文献:

- [1] 何海玲,单承莺,张卫明,等. 山药研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2006, 25(6): 1—6.  
HE Hai-ling, SHAN Cheng-ying, ZHANG Wei-ming, et al. Research Progress of Yam[J]. Chinese Wild Plant Resources 2006, 25(6): 1—6.
- [2] BHANDARI M R, KASAI T, KAWABATA J. Nutritional Evaluation of Wild Yam(*Dioscorea* spp.) Tubers of Nepal[J]. Food Chemistry, 2003, 82(4): 619—623.
- [3] 向洋. 鲜切山药保鲜技术研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.  
XIANG Yang. Study on Fresh-keeping Technology of Fresh-cut Yam[D]. Chongqing: Southwest University, 2009.
- [4] 王涵. 多酚氧化酶的固定化及其对酚类化合物催化氧化性能研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.  
WANG Han. Preparation, Characterization and Adsorption Properties of Chitosan/Montmorillonite Intercalation Composites[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
- [5] 黄艳斌,李星琪,张洵,等. 鲜山药片干制过程中的无硫护色剂配方优化[J]. 食品工业科技, 2014, 35(12): 324—329.  
HUANG Yan-bin, LI Xing-qi, ZHANG Xun, et al. Optimization of Non-sulfur Color-preservation Formulation in the Process of the Fresh Yam Slices Dried[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(12): 324—329.
- [6] 赵喜亭,王会珍,李明军,等. 无硫护色剂对鲜切铁棍山药片酶促褐变的影响及其 PPO 特性研究[J]. 食品工业科技, 2008(2): 125—128.  
ZHAO Xi-ting, WANG Hui-zhen, LI Ming-jun, et al. Effect of Antibrowning Reagent without Sulfite on Enzymatic Browning of *Dioscorea Opposita* Thunb cv Tiegun Fresh-cut Slices and Research of Its PPO Characteristic[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008(2): 125—128.
- [7] 黄绍华,胡晓波,王震宙. 山药中多酚氧化酶的活性测定及其护色研究[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(6): 27—29.  
HUANG Shao-hua, HU Xiao-bo, WANG Zhen-zhou. Measurement of PPO Activity and the Prevention of Discoloration of Yam[J]. Food and Fermentation Industries, 2005, 31(6): 27—29.
- [8] 李红涛,袁书林. 山药加工无硫护色方法研究[J]. 食品科技, 2010(4): 81—83.  
LI Hong-tao, YUAN Shu-lin. Research on the Technology of Browning Inhibition without Sulfiteagents in Yam Processing[J]. Food Science and Technology, 2010(4): 81—83.
- [9] 张钟,冯丽娇. 鲜切淮山片护色工艺与无硫护色剂的研究[J]. 包装与食品机械, 2015(6): 12—16.  
ZHANG Zhong, FENG Li-jiao. Study on Anti-browning Technology and Reagents Without Sulfite of Fresh-cut Chinese Yam[J]. Packaging and Food Machinery, 2015(6): 12—16.
- [10] 张燕,杨福馨,蒋硕,等. 聚乙烯醇柠檬酸改性薄膜对鲜切苹果保鲜性能的影响[J]. 包装工程, 2014, 35(9): 32—35.  
ZHANG Yan, YANG Fu-xin, JIANG Shuo, et al. Preservation Effects of Citric Acid Modified Polyvinyl Alcohol Film on Fresh-cut Apples[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 32—35.
- [11] BUTA J G, ABBOTT J A. Browning Inhibition of Fresh-cut 'Anjou', 'Bartlett', and 'Bosc' Pears[J]. Hortscience A Publication of the American Society for Horticultural Science, 2000, 35(9): 32—35.
- [12] 陈炳卿. 营养与食品卫生学(第三版)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1997.  
CHEN Bin-qin. Nutrition and Food Hygiene (Third Edition)[M]. People's Medical Publishing House, 1997.
- [13] 张超英,鲁晓晴,滕洪松. 食醋杀灭细菌的性能及效果观察[J]. 齐鲁医学杂志, 2007, 22(3): 196—198.  
ZHANG Chao-ying, LU Xiao-qing, TENG Hong-song. Edible Vinegar: Its Bactericidal Action and Efficacy[J]. Medical Journal of Qilu, 2007, 22(3): 196—198.
- [14] 李昌宝,孙健,吴建永,等. 壳聚糖复合保鲜剂在荔枝冷藏中的应用[J]. 食品科学, 2013(4): 241—244.  
LI Chang-bao, SUN Jian, WU Jian-yong, et al. Application of Complex Fresh-keeping Agent for Chitosan Cold-stored Litchi[J]. Food Science, 2013(4): 241—244.
- [15] 王武,陈从贵,张莉,等. 鲜切莴苣护色处理的试验研究[J]. 食品科技, 2004, 32(3): 33—35.  
WGAN Wu, CNHE Cong-gui, et al. Experimental Study of Protecting the Fresh Cut Lettuce's Color[J]. Journal of Food Science and Technology, 2004, 32(3): 33—35.