

褐变抑制剂对菊芋切片防褐变效果的研究

王蕊

(江苏食品药品职业技术学院 江苏省食品加工工程技术研究开发中心, 江苏 淮安 223003)

摘要: 为了提高菊芋加工产品质量, 采用单因素和正交试验对菊芋切片褐变抑制剂进行褐变抑制效果研究。结果表明, 柠檬酸、抗坏血酸、EDTA-2Na、CaCl₂、NaCl、植酸、醋酸、乳酸、乙醇及泡菜腌制液对菊芋切片褐变均有一定的抑制作用, 其中柠檬酸、抗坏血酸、EDTA-2Na、CaCl₂、植酸抑制效果较好; 复合抑制剂 4 g/L 柠檬酸+1.5 g/L 抗坏血酸+4 g/L CaCl₂+3 g/L EDTA-2Na+0.7% 植酸对菊芋切片褐变抑制效果最佳, 其总色差(DE)值(4)比未经褐变抑制剂处理的菊芋切片 DE 值(42)降低了 90.48%。

关键词: 菊芋切片; 防褐变; 复合抑制剂

中图分类号: TS202.3 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2013)09-0128-05

Anti-browning Effects of Browning Inhibitors on Jerusalem Artichoke Slices

WANG Rui

(Jiangsu Engineering Research & Development Center for Food Processing, Jiangsu Food & Pharmaceutical Science College, Huai'an 223003, China)

Abstract: In order to improve the quality of Jerusalem artichoke products, browning inhibitors of Jerusalem artichoke slices were studied by the single factor and orthogonal experiments. The results showed that citric acid, ascorbic acid, EDTA-2Na, calcium chloride, sodium chloride, phytic acid, acetic acid, lactic acid, ethanol and pickle juice had some inhibitory effects on browning of Jerusalem artichoke slices, especially the inhibitory effects of citric acid, ascorbic acid, EDTA-2Na, calcium chloride, phytic acid were better; the optimum composite browning inhibitor was 4 g/L citric acid + 1.5 g/L ascorbic acid + 4 g/L calcium chloride + 3 g/L EDTA-2Na + 0.7% phytic acid, the treatment with which significantly inhibited the browning of Jerusalem artichoke slices, maintained lower DE value(4) compared to the control(42) without browning inhibitor.

Key words: Jerusalem artichoke slices; anti-browning; composite inhibitor

菊芋(*Helianthus tuberosus* L.)又名洋姜、鬼子姜, 是菊科向日葵属多年生草本植物。菊芋质地致密、脆嫩, 其腌制品具有清脆爽口、香、甜、嫩的特点, 深受消费者喜爱。菊芋在加工过程中, 褐变现象非常严重, 极大地降低了其商品价值和经济效益。菊芋多酚氧化酶(PPO)是引起褐变的主要因素, 因此, 抑制多酚氧化酶活性可有效控制菊芋泡菜的褐变。二氧化硫及亚硫酸盐(分解产生二氧化硫)是 PPO 的强抑制剂, 但二氧化硫是容易导致过敏的防腐剂,

即使极微量亦可诱发哮喘病复发, 严重时可导致窒息, 很多国家已禁止其在食品中使用; 胡建锋等^[1]在菊芋粗酶液中添加 0.4 g/L 抗坏血酸有效抑制了 PPO 的活性; 钱斯日古楞等^[2]在菊芋酶反应体系中加入 1.5 g/L 抗坏血酸、1.5 g/L NaCl, 在 pH 值 7.8、35℃条件下, 对 PPO 活性均有较强的抑制作用; 罗勤贵等^[3]用 0.3 g/L 的柠檬酸浸泡 5 mm 厚的菊芋切片 5 min 与用 0.1 g/L 的 NaHSO₃ 浸泡抑制褐变效果相同; 杨水政等^[4]研究结果表明, 3 g/L

收稿日期: 2013-03-20

基金项目: 企业横向合作课题(SSYH10040)

作者简介: 王蕊(1967-), 女, 云南曲靖人, 教授, 硕士, 主要从事食品生物技术方面的研究。E-mail: wangr6711@163.com

柠檬酸+0.15 g/L 抗坏血酸+3 g/L EDTA-2Na+3 g/L CaCl_2 +30 g/L NaCl 的抑制剂组合对 PPO 引起的菊芋酶促褐变控制效果最佳。除此之外,也有关于植酸、苹果酸、草酸抑制果蔬 PPO 引起的酶促褐变的相关报道^[5-7]。但对柠檬酸、抗坏血酸、EDTA-2Na、 CaCl_2 、NaCl、植酸等常见抑制剂组成的复合抑制剂及醋酸、乳酸、乙醇、泡菜腌制液对菊芋酶促褐变抑制效果的研究尚未见报道。鉴于此,采用单因素和正交试验对菊芋切片褐变抑制剂进行研究,以期筛选出经济、无毒的菊芋泡菜褐变复合抑制剂。

1 材料和方法

1.1 材料

新鲜菊芋块茎由徐州市金地杰农业发展有限公司提供。抗坏血酸、EDTA-2Na、 CaCl_2 、柠檬酸、植酸、NaCl、醋酸、乳酸、乙醇等均为分析纯;TC-P II G 全自动测色色差计购自北京光学仪器厂。

1.2 方法

1.2.1 菊芋切片褐变抑制剂的单因素试验 取新鲜菊芋块茎先后用自来水、蒸馏水清洗后擦干,削去厚度约 1 mm 的外皮和机械损伤处后,切成厚度为 3 mm 的薄片,长、宽保持在 3~5 cm,置于 30 ℃ 不同质量浓度(表 1)的抑制剂溶液中浸泡 30 min,取出沥干表面水分,常温下放置 2 h,以抑制剂质量浓度为 0 的处理为对照。菊芋切片表面色泽通过全自动色差计测量,正反两面各测 3 个点,每组样品测定 3 次,取平均值。以标准白板($L^* = 95.09$, $a^* = 0.36$, $b^* = -228.52$)为参照物,以总色差(DE)值表示菊芋切片的褐变程度,DE 值越小表示褐变程度越轻,反之越严重。

1.2.2 菊芋切片褐变抑制剂的正交试验 在单因素试验结果的基础上,对柠檬酸、抗坏血酸、 CaCl_2 、EDTA-2Na、植酸 5 种褐变抑制剂进行五因素四水平的 $L_{16}(4^5)$ 正交试验(试验设计见表 2),分析 DE 值以确定最佳抑制剂组合。

表 1 菊芋切片褐变抑制剂的单因素试验设计

抑制剂	处理浓度								
柠檬酸/(g/L)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
抗坏血酸/(g/L)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
EDTA-2Na/(g/L)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
CaCl_2 /(g/L)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
NaCl/(g/L)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
植酸/%	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
醋酸/%	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
乳酸/%	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
乙醇/%	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
腌制液/%	0	5	10	15	20	25	30	35	40

表 2 菊芋切片褐变抑制剂的正交试验设计

水平	因素				
	柠檬酸(A)/(g/L)	抗坏血酸(B)/(g/L)	CaCl_2 (C)/(g/L)	EDTA-2Na(D)/(g/L)	植酸(E)/%
1	3	0.5	2	2	0.4
2	4	1.0	3	3	0.5
3	5	1.5	4	4	0.6
4	6	2.0	5	5	0.7

2 结果与分析

2.1 菊芋切片褐变抑制剂的单因素试验结果

菊芋发生的褐变为 PPO 引起的酶促褐变,酶促褐变发生必须具备 3 个条件,即酶、底物和氧,控制其中的任何一个因素就可以达到控制褐变的目的。在菊芋产品加工过程中,底物无法除去,因此,只能通过控制酶促褐变体系中的氧气和 PPO 活性来控制菊芋褐变。

2.1.1 螯合剂(EDTA-2Na)对菊芋切片褐变的抑制效果 EDTA-2Na 是重要的螯合剂,可螯合菊芋 PPO 中的铜离子,使其丧失催化活性,从而阻止 PPO 引起酶促褐变。EDTA-2Na 无毒、无副作用,被广泛应用于食品工业及果蔬保鲜中。由图 1 可以看出,当 EDTA-2Na 质量浓度为 0~3 g/L 时,随着 EDTA-2Na 质量浓度的升高,其对菊芋切片的褐变抑制效果增强,当 EDTA-2Na 质量浓度等于 3 g/L 时,菊芋切片的褐变抑制效果基本达到最强,DE 值

为 24, 比对照降低 42.86%; 当 EDTA-2Na 质量浓度超过 3 g/L 时, 其对菊芋切片的褐变抑制效果趋于稳定。因此, EDTA-2Na 质量浓度以 3 g/L 为佳。单独使用 EDTA-2Na, 其对菊芋切片褐变抑制效果不理想, 故需与其他褐变抑制剂配合使用。

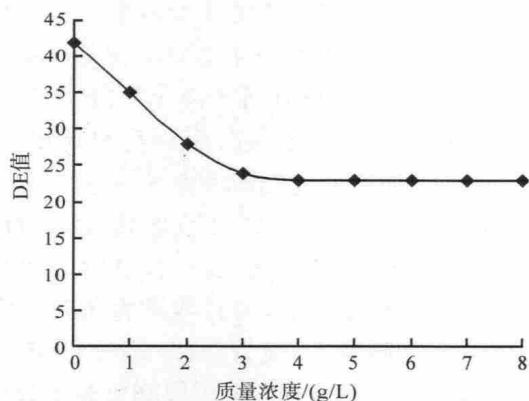


图 1 螯合剂(EDTA-2Na)对菊芋切片褐变的抑制效果

2.1.2 封闭氨基化合物(CaCl_2)对菊芋切片褐变的抑制效果 PPO 是一种蛋白质, 含有多个氨基和羧基, CaCl_2 可以通过封闭 PPO 的氨基, 并与具有 α -氨基羧基的有机化合物形成螯合物, 从而阻止 PPO 参加酶促褐变反应。由图 2 可以看出, CaCl_2 对菊芋切片褐变具有较强的抑制作用。当 CaCl_2 质量浓度为 0~4 g/L 时, 随着 CaCl_2 质量浓度的升高, 其对菊芋切片的褐变抑制效果增强, 4 g/L 时, 抑制效果最强, DE 值最小, 为 10, 与对照相比, 76.19% 的褐变受到了抑制; 当其质量浓度大于 4 g/L 时, 抑制作用趋于稳定。因此, CaCl_2 质量浓度以 4 g/L 为佳。 CaCl_2 不仅是菊芋切片良好的 PPO 抑制剂, 在果蔬加工中还具有保脆作用, 因而被广泛使用。

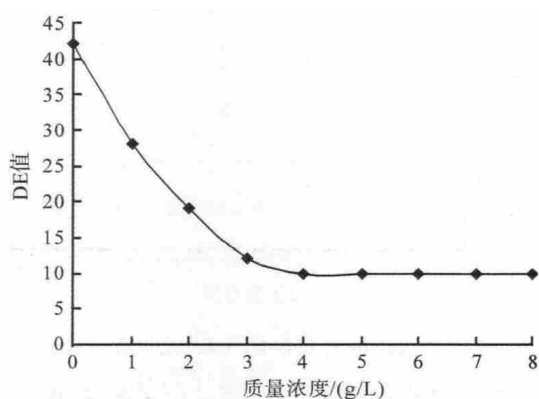


图 2 封闭氨基化合物(CaCl_2)对菊芋切片褐变的抑制效果

2.1.3 降氧物质(抗坏血酸、NaCl)对菊芋切片褐变的抑制效果 抗坏血酸与 NaCl 常常作为降氧物质被用于抑制果蔬褐变。抗坏血酸是一种还原剂, 抗坏血酸氧化后变成脱氢抗坏血酸(DHAA), 其可

通过自身氧化减少体系中的含氧量。氯化钠可降低氧在 PPO 酶促褐变体系中的溶解度, 从而起到抑制褐变的作用^[8]。由图 3 可以看出, 抗坏血酸对菊芋切片酶促褐变抑制效果较强。当抗坏血酸质量浓度介于 0~1.5 g/L 时, 随着抗坏血酸质量浓度的升高, 其抑制效果不断加强, 1.5 g/L 时, 抑制效果最强, DE 值最小, 为 10, 76.19% 的褐变受到了抑制; 当抗坏血酸质量浓度大于 1.5 g/L 时, 随着质量浓度升高, 抑制效果减弱。抗坏血酸不仅是一种降氧物质, 还可降低体系的 pH 值和螯合 PPO 中的铜离子, 因此, 抑制效果较好。但抗坏血酸添加过量时, 多余的抗坏血酸被氧化产生多余的 DHAA, 可与氨基酸反应产生新的褐变, 导致褐变程度加深^[9]。因此, 抗坏血酸质量浓度以 0.15 g/L 为佳。另外, 抗坏血酸氧化后会失效, 故不能长时间暴露在空气中, 用于护色有自身的局限性。

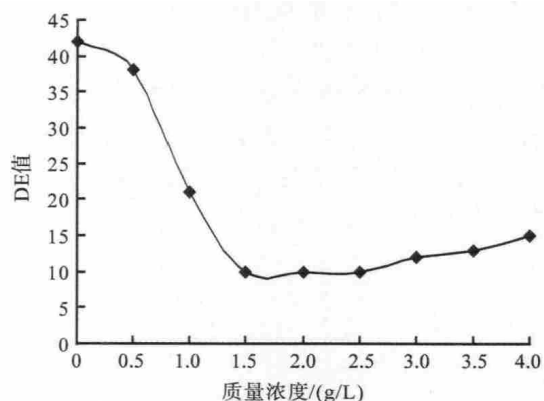


图 3 降氧物质(抗坏血酸)对菊芋切片褐变的抑制效果

由图 4 可以看出, 低质量浓度的 NaCl 对抑制菊芋酶促褐变有一定的效果, 但与抗坏血酸相比差很多, 由于菊芋泡菜在加工过程中, 通过改进工艺, 采用先腌制后切片的方法, 因此一般不推荐使用 NaCl 护色。

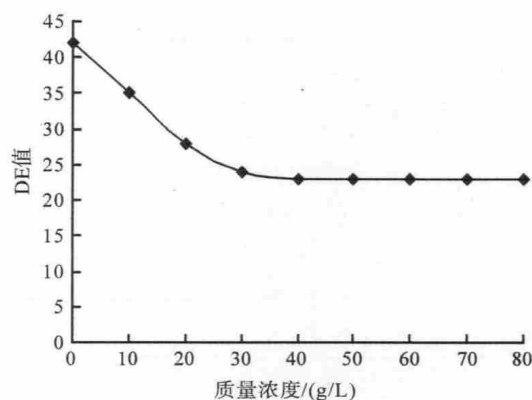


图 4 降氧物质(NaCl)对菊芋切片褐变的抑制效果

2.1.4 酸性物质(柠檬酸、植酸、醋酸、乳酸)对菊芋切片褐变的抑制效果 菊芋 PPO 活性的最适 pH 值约为 7.5, 偏离这一 pH 值 PPO 活性将受到不同程度的抑制, 因此, 果蔬切片常常使用改变体系的 pH 值达到抑制褐变的目的。这是由于 PPO 是一种含铜蛋白质, 在酸性条件下, 辅基铜以 Cu^{2+} 形式解离出来, 从而使 PPO 失去活性; 在碱性条件下, 辅基会解离生成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$, 使 PPO 活性显著降低。由图 5 和图 6 可以看出, 酸性物质柠檬酸、植酸、醋酸、乳酸对菊芋切片褐变具有不同程度的抑制作用, 低浓度时效果较为明显, 当浓度达到一定程度后, 抑制效果趋于稳定。在 4 种有机酸抑制剂中, 柠檬酸抑制褐变效果最显著, 当其质量浓度达到 4 g/L 时, DE 值最小, 为 8, 与对照相比降低 80.95%; 另外 3 种酸相比, 其抑制效果大小为植酸 > 乳酸 > 醋酸。植酸的抑制褐变效果次于柠檬酸, 在生产上也有应用; 乳酸在菊芋泡菜加工过程中会自然产生不需要添加; 醋酸除具有抑制褐变作用以外, 还具有保脆作用, 在拌料时可以适当添加。柠檬酸不仅能够有效降低体系的 pH 值, 还是较强的金属螯合剂, 从而起到降低体系中金属离子浓度的作用, 达到有效抑制 PPO 引起的酶促褐变的目的, 在生产上可推荐使用, 其最佳质量浓度为 4 g/L。

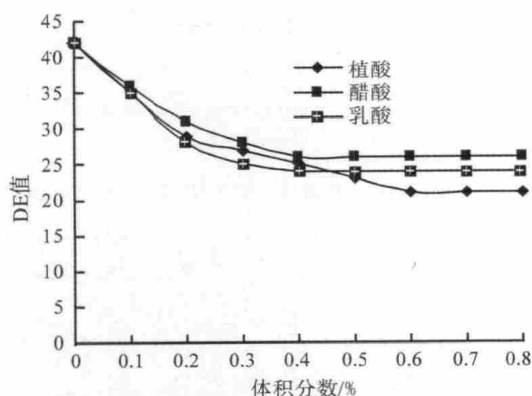


图5 酸性物质(植酸、醋酸、乳酸)对菊芋切片褐变的抑制效果

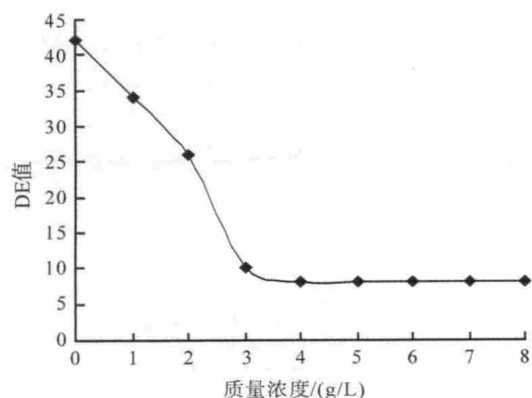


图6 酸性物质(柠檬酸)对菊芋切片褐变的抑制效果

2.1.5 其他抑制剂(乙醇、腌制液)对菊芋切片褐变的抑制效果 由图 7 和图 8 可以看出, 乙醇、泡菜腌制液对菊芋切片褐变也具有不同程度的抑制作用, 且随着体积分数的增大, 抑制作用基本呈增强趋势, 但增强的幅度不大。与柠檬酸、抗坏血酸、EDTA-2Na、 CaCl_2 等抑制剂相比, 其抑制效果不明显。乙醇体积分数为 0.7% 时, DE 值达到最小, 为 32, 与对照相比降低 24%, 乙醇抑制褐变可能是由于其引起酶的变性、失活, 腌制菊芋泡菜时可添加 0.5%~1.0% 的曲酒(酒精度 65%), 起到抑制酶促褐变、抑制杂菌繁殖、与酸生成酯改善风味等多种作用。腌制液体积分数为 30% 时, DE 值达到最小, 为 34, 与对照相比降低 19.05%, 腌制液抑制褐变可能是由于发酵过程中产生乳酸, 引起体系的 pH 值下降, 同时, 腌制液的含氧量较低, 阻止了酶促褐变的发生。腌制液可以在菊芋切片前浸泡, 避免菊芋暴露在空气中, 有效降低菊芋褐变。

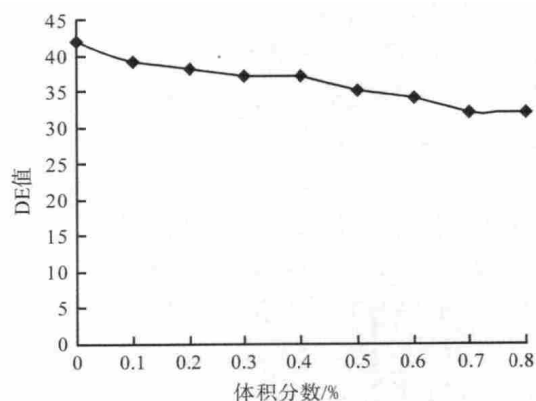


图7 乙醇对菊芋切片褐变的抑制效果

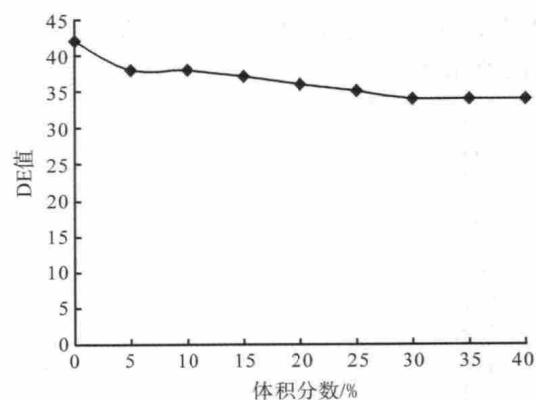


图8 腌制液对菊芋切片褐变的抑制效果

2.2 菊芋切片褐变抑制剂的正交试验结果

由表 3 可以看出, 各因素对菊芋切片褐变抑制效果的主次顺序为柠檬酸 > 抗坏血酸 > EDTA-2Na > CaCl_2 > 植酸, 通过正交试验筛选的抑制剂组合有 4 个, 分别为 $\text{A}_2\text{B}_2\text{C}_3\text{D}_2\text{E}_4$ 、 $\text{A}_2\text{B}_3\text{C}_3\text{D}_2\text{E}_4$ 、

$A_2B_2C_4D_2E_4$ 和 $A_2B_3C_4D_2E_4$ 。对 4 个抑制剂组合进行验证试验,从表 4 可以看出,最佳抑制剂组合为 $A_2B_3C_3D_2E_3$,即 4 g/L 柠檬酸+1.5 g/L 抗坏血酸+4 g/L $CaCl_2$ +3 g/L EDTA-2Na+0.7%植酸,其 DE 值为 4,与对照相比降低 90.48%,小于表 3 中所有结果,此时菊芋切片的褐变基本得到抑制。由表 5 方差分析可知,柠檬酸、抗坏血酸对菊芋切片褐变影响显著。

表 3 菊芋切片褐变抑制剂的正交试验结果

试验号	因素					DE 值
	A	B	C	D	E	
1	1	1	1	1	1	21
2	1	2	2	2	2	14
3	1	3	3	3	3	13
4	1	4	4	4	4	19
5	2	1	2	3	4	11
6	2	2	1	4	3	8
7	2	3	4	1	2	6
8	2	4	3	2	1	7
9	3	1	3	4	2	14
10	3	2	4	3	1	9
11	3	3	1	2	4	8
12	3	4	2	1	3	18
13	4	1	4	2	3	13
14	4	2	3	1	4	13
15	4	3	2	4	1	17
16	4	4	1	3	2	25
K_1	67	59	62	58	54	
K_2	32	44	60	42	59	
K_3	49	44	47	58	52	
K_4	68	69	47	58	51	
k_1	16.75	14.75	15.50	14.50	13.50	
k_2	8.00	11.00	15.00	10.50	14.75	
k_3	12.25	11.00	11.75	14.50	13.00	
k_4	17.00	17.25	11.75	14.50	12.75	
R	9.00	6.25	3.75	4.00	2.00	

表 4 菊芋切片最佳褐变抑制剂组合的验证试验结果

项目	抑制剂组合			
	$A_2B_2C_3D_2E_4$	$A_2B_3C_3D_2E_4$	$A_2B_2C_4D_2E_4$	$A_2B_3C_4D_2E_4$
DE 值	6	4	6	5

表 5 方差分析结果

变异来源	偏差平方和	自由度	F 值
A	218.500	3	23.000*
B	112.500	3	11.842*
C	49.500	3	5.211
D	48.000	3	5.053
E	9.500	3	1.000
误差	9.500		

注: * 表示在 0.05 水平上差异显著。

3 结论

菊芋切片褐变抑制单因素试验结果表明,柠檬酸、抗坏血酸、EDTA-2Na、 $CaCl_2$ 、NaCl、植酸、醋酸、乳酸、乙醇及泡菜腌制液(澄清或过虑)对褐变均有一定的抑制效果,其中柠檬酸、抗坏血酸、EDTA-2Na、 $CaCl_2$ 、植酸抑制效果较好。菊芋泡菜在腌制过程中,腌制液及腌制液中的 NaCl、乳酸、乙醇对抑制褐变有利,生产中应加以利用,泡菜加工中添加适量的醋,不仅可以抑制褐变、改善风味,还可以提高泡菜的脆度。

由正交试验和验证试验结果表明,最佳褐变抑制剂组合为 4 g/L 柠檬酸+1.5 g/L 抗坏血酸+4 g/L $CaCl_2$ +3 g/L EDTA-2Na+0.7%植酸,其 DE 值为 4,与对照相比降低 90.48%,菊芋切片褐变基本得到抑制。

参考文献:

- [1] 胡建锋,邱树毅,胡秀沂,等. 菊芋多酚氧化酶的酶学特性研究[J]. 食品科技,2007(9):22-25.
- [2] 钱斯日古楞,耿金峰,王红英,等. 菊芋块茎多酚氧化酶特性及抑制因素的研究[J]. 中成药,2007,29(9):1363-1365.
- [3] 罗勤贵,陈锦屏. 菊芋腌制护色技术研究[J]. 西北农林科技大学学报,2002,30(增刊):57-59.
- [4] 杨水政,黄静. 菊芋多酚氧化酶特性研究[J]. 食品研究与开发,2006,27(2):24-25.
- [5] 汤凤霞,陈发河,郭进文. 枇杷果浆多酚氧化酶活性抑制的研究[J]. 食品工业科技,2004,25(4):54-57.
- [6] 胡云峰,胡明,邢亚阁,等. 雪莲果汁褐变抑制条件的优化研究[J]. 食品科学,2009,30(6):92-96.
- [7] 宋莲军,杨月,唐贵. 复合抑制剂对苹果汁防褐变效果的影响[J]. 河南农业大学学报,2010,44(5):585-590.
- [8] 杨政水,罗显华. 菊芋酶促褐变抑制剂的筛选[J]. 食品科技,2006(4):82-84.
- [9] 王相友,石启龙,王娟,等. 双孢蘑菇护色保鲜技术研究[J]. 农业工程学报,2004,20(6):205-208.