

香蕉皮热烫防褐变工艺条件的研究

葛 鸽, 徐姗姗, 李江雪, 杨一涵, 王建中*

(北京林业大学生物科学与技术学院, 北京林业大学林业食品加工与安全北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要:采用 $L_9(3^4)$ 正交实验研究了热烫处理中热烫温度、热烫时间、热烫固液比以及柠檬酸添加量对香蕉皮浆液褐变度和皮中多酚氧化酶(PPO)活性的影响。正交实验结果表明,香蕉皮热烫处理的优化条件为:热烫温度为 100℃、热烫时间为 5min、热烫固液比为 1:6、加酸量为 0.6%。在此条件下对香蕉皮进行热烫处理验证实验,测得香蕉皮浆液褐变度为 0.117,香蕉皮中 PPO 酶活为 16U,对香蕉皮的加工过程中控制褐变有明显效果。

关键词:香蕉皮,褐变,护色,多酚氧化酶,热烫

Study on technology conditions of anti-browning in banana peel blanching process

GE Ge, XU Shan-shan, LI Jiang-xue, YANG Yi-han, WANG Jian-zhong*

(Beijing Key Laboratory of Forest Food Processing and Safety, College of Biological Sciences and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The effect of different blanching temperature, blanching time, solid-to-liquid ratio and citric acid addition on the PPO (polyphenoloxidase) activity and browning degree of banana peel serous were studied through a $L_9(3^4)$ orthogonal test. The results indicated that the optimal condition to carry out a banana peel heat treatment required a heating duration of 5min, 100℃'s heating temperature, a 1:6 solid-liquid ratio and 0.6%'s citric acid addition. Under such conditions, the polyphenoloxidase activity was 16U and the browning degree of banana serous was only 0.117, the color protection of banana peel and its freshness were efficiently enhanced in banana peel processing.

Key words: banana peel; browning; color protection; polyphenoloxidase; blanching

中图分类号: TS201.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2014)23-0235-04

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2014.23.041

香蕉 (*Musa nana Lour*) 属芭蕉科 (*Musaceae*) 芭蕉属 (*Musa*), 香甜可口营养丰富, 是广受欢迎的热带水果。香蕉属肉质浆果, 果皮较厚, 约占果实重量的 30%^[1], 但长期以来人们只生食果肉, 每年伴随香蕉加工有数百吨香蕉皮被遗弃, 造成了严重经济损失和资源浪费^[2]。既往研究发现, 香蕉皮中富含膳食纤维、酚类、油脂类、鞣质、有机酸、蛋白质和糖类, 还含有多种维生素、无机盐和矿质元素等, 其营养价值比香蕉果肉还高, 具有一定的应用价值^[3-6]。但香蕉皮相比香蕉果肉在加工过程中更易发生褐变, 其组织中的多酚氧化酶与酚类物质接触, 会催化多酚类物质氧化成邻醌, 进一步氧化聚合成黑色素^[7-8], 此类反应影响了产品的外观品质, 降低了产品的经济价值, 使香蕉皮加工开发止步不前。本文以香蕉皮浆液褐变度和 PPO 活性作为判定指标, 研究香蕉皮加工中的热烫条件, 最

后找出防止香蕉皮褐变的最优条件组合, 为香蕉皮的综合利用提供理论与技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

海南香蕉、香牙蕉果皮 北京市售; 无水乙醇、柠檬酸、聚乙烯吡咯烷酮 (PVP)、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、邻苯二酚 均为分析纯, 北京化工厂。

苏泊尔 SG280C1 家用小型榨汁机 浙江苏泊尔有限公司; D-37520 高速冷冻离心机 Osterode Kendro Laboratory; T6 新世纪紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司; IC-KH2001 电磁炉 江苏松桥电器有限公司; ME204E 电子分析天平 上海皖衡电子仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料处理 选择表皮金黄, 无机械损伤, 成熟度不小于 8 成的海南香蕉。用水洗净表面杂质, 将香蕉皮剥下, 用不锈钢刀切成 2cm × 2cm 大小均匀的块状, 立即放入热水中进行热烫处理, 快速冷却后均匀打浆。

1.2.2 褐变度测定 取打浆后的香蕉皮浆液, 加入三分之一体积的无水乙醇, 在转速 9000r/min, 温度

收稿日期: 2014-03-27

作者简介: 葛鸽 (1992-), 女, 本科, 研究方向: 食品科学与工程。

* 通讯作者: 王建中 (1952-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏工程。

基金项目: 北京林业大学国家级大学生科研训练项目 (201310022023)。

2~4℃条件下冷冻离心30min,取离心后的上层清液,测定其在420nm波长处吸光度^[7,9-11]。

1.2.3 粗酶液提取 取适当香蕉皮浆过滤液,加入二分之一体积的1%PVP的0.05mol/L磷酸缓冲液,在转速9000r/min,温度2~4℃条件下离心30min,离心后上清液为粗酶液^[12-13]。

1.2.4 酶活测定 用移液管取1mL粗酶液,加入3mL 0.16mol/mL邻苯二酚溶液,室温下静置2min,在420nm波长下连续测定6min内吸光度变化,每隔30s记录数据。定义1mL酶液在1min内OD_{420nm}值变化0.01为一个酶活力单位(U)。

1.3 单因素实验条件设置

根据樊志勇等^[9]的研究及前期实验结果,设定下列单因素实验条件。

1.3.1 热烫温度对褐变的影响 采用40、50、60、70、80、90、100℃七个水平,在固液比1:4,柠檬酸添加量为0.3%的条件下热烫处理5min。

1.3.2 热烫时间对褐变的影响 采用2、3、4、5、6、7、8min七个水平,在温度为100℃,固液比1:4,柠檬酸添加量为0.3%的条件下热烫处理。

1.3.3 热烫固液比对褐变的影响 采用1:2、1:3、1:4、1:5、1:6、1:7、1:8七个水平,在温度为100℃,柠檬酸添加量为0.3%的条件下热烫处理5min。

1.3.4 柠檬酸添加量对褐变的影响 采用0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%七个水平,在温度为100℃,固液比1:4的条件下热烫处理5min。

1.4 正交实验设计

在单因素实验的基础上,发现温度为100℃时,香蕉皮浆褐变度最低,操作易于控制,护色效果最佳,故不再将热烫温度作为正交实验的考虑因素。选取热烫时间、热烫固液比、柠檬酸添加量组成复合热烫条件,每个因素设置三个水平,以香蕉皮浆褐变度及PPO酶活为考察指标,采用L₉(3⁴)正交实验。各因素水平的选取如表1所示。

表1 正交实验因素水平设计表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiments

水平	因素		
	A 柠檬酸添加量 (%)	B 热烫时间 (min)	C 热烫固液比
1	0.4	5	1:4
2	0.5	6	1:5
3	0.6	7	1:6

1.5 数据分析

采用Microsoft Excel(Office2010)软件整理数据,正交设计助手II V3.1软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 热烫温度对香蕉皮热烫效果的影响

从图1可知,随着热烫温度的上升,香蕉皮中PPO酶活性不断下降。温度在50℃以上,香蕉皮中的PPO开始钝化,活性降低,可能是由于较高温度下,本质为蛋白质的PPO发生了变性和不可逆的失活。温度对多酚氧化酶的影响是双重的,一方面温

度升高能加快酶催化反应速度进程,另一方面促使酶蛋白变性,它是两种对抗效应的综合反应^[14]。温度在60~70℃内,PPO活性继续下降;当温度达到100℃时,PPO几乎不再变化($p < 0.05$)。

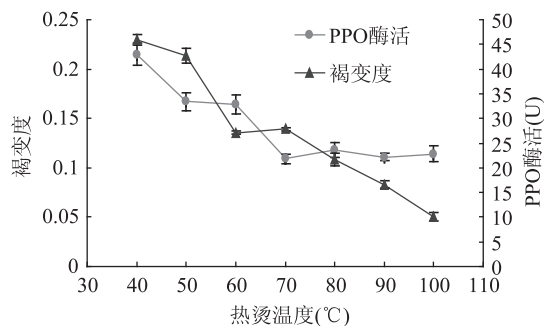


图1 热烫温度对香蕉皮热烫效果的影响

Fig.1 The effect of blanching temperature on the banana peel heat treatment

香蕉皮浆液的褐变度随着热烫温度的升高而不断降低。热烫温度在40~60℃内时,褐变度下降很快,是由于较高温度下PPO活性部位发生变性,引起酶促褐变的能力受抑制;热烫温度大于70℃时,香蕉皮浆的褐变度再次下降。因为香蕉皮中含有黄色素、原花色素等^[15-16],其中黄色素最大吸收波长为440nm,可能对检测结果造成一定影响,使褐变度不趋于0;在100℃左右,褐变度几乎不再变化($p > 0.05$)。

综上所述,热烫温度为100℃时,在实际操作中易于控制,香蕉皮浆褐变度较低,香蕉皮颜色呈接近新鲜状态的金黄色,护色效果最佳,故选择100℃。

2.2 热烫时间对香蕉皮热烫效果的影响

由图2可知,香蕉皮中PPO酶活性随着热烫时间的增加而降低,后趋于平缓,但总体来说,热烫时间对PPO酶活性的影响较小。热烫时间在2~5min时,香蕉皮中PPO酶活性下降较快,说明该阶段内热烫处理对PPO酶活的影响较显著($p < 0.05$);5~6min时,香蕉皮中PPO酶活性下降速度较上一阶段变慢;在6~8min内,酶活的下降趋势逐渐呈现平缓状态,香蕉皮中PPO酶活不再随着热烫时间的增加而有明显改变($p > 0.05$)。

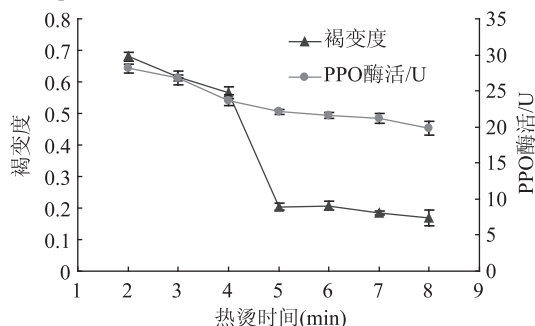


图2 热烫时间对香蕉皮热烫效果的影响

Fig.2 The effect of blanching time on the banana peel heat treatment

延长热烫时间可以降低香蕉皮浆的褐变程度。热烫时间在2~4min内,香蕉皮浆的褐变度下降较

快;在4~5min内,褐变度有一个陡降变化;5~6min内,褐变度几乎没有变化;7min后,随着热烫时间的增加,褐变度也不再有明显下降,说明此时已经达到了香蕉皮防褐变的目的($p > 0.05$)。

综上所述,热烫时间对香蕉皮的色泽影响显著,热烫时间为5min时,就可以对PPO酶活性起很好的抑制效果,香蕉皮浆褐变度较低,护色效果较佳。

2.3 热烫固液比对香蕉皮热烫效果的影响

从图3可知,随着热烫固液比的增加香蕉皮中PPO活性不断下降,即增大热烫处理的固液比对钝化香蕉皮中的PPO有显著效果($p < 0.05$)。固液比在1:3~1:4内,香蕉皮中PPO的活性下降趋势明显,随固液比增加抑制酶活效果增强;固液比在1:4~1:7之间,PPO的活性几乎不再变化;固液比在1:8时,PPO的酶活力已经很低,继续增大固液比对活性降低的作用不大($p > 0.05$)。

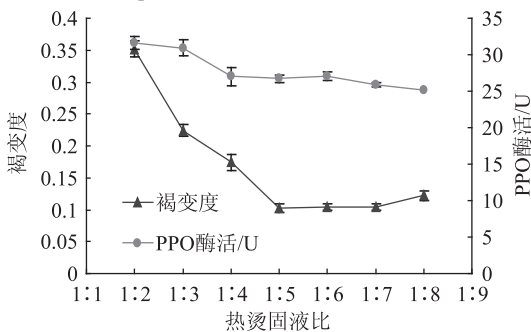


图3 热烫固液比对香蕉皮热烫效果的影响

Fig.3 The effect of solid-to-liquid ratio on the banana peel heat treatment

随着热烫固液比的增加香蕉皮浆的褐变度不断下降。固液比在1:2~1:5内,香蕉皮浆褐变度下降很快,说明在此阶段内增大固液比对降低香蕉皮浆褐变度有很大作用;固液比在1:5~1:7内,香蕉皮浆的褐变度几乎无变化;固液比为1:8时,褐变度反而略有上升。

综上所述,适当增大固液比能有效降低香蕉皮的褐变度,综合热烫处理效果和工艺成本考虑,选择固液比为1:5,护色效果最好。

2.4 柠檬酸添加量对香蕉皮热烫效果的影响

从图4可知,随着热烫柠檬酸量的增加,香蕉皮中PPO的活性下降。热烫加酸量在0.1%~0.4%内时,随酸量不断增加PPO的活性持续降低,呈现明显的线性关系,在加酸量为0.4%时,有最低的PPO酶活;加酸量大于0.4%后,香蕉皮中PPO的活性几乎无变化,此后继续增加酸量对降低PPO活性无明显作用($p > 0.05$)。

随柠檬酸添加量的增加,香蕉皮浆的褐变度持续下降。热烫加酸量在0.1%~0.4%时,香蕉皮浆的褐变度下降明显,说明增大酸量对降低香蕉皮的褐变程度十分有效;加酸量大于0.4%以后,香蕉皮浆的褐变度几乎持平,继续增大柠檬酸的量褐变度也不再明显降低($p > 0.05$)。

综上所述,从香蕉皮浆液的褐变度和热烫处理后香蕉皮的色泽考虑,选择添加0.5%柠檬酸的热烫

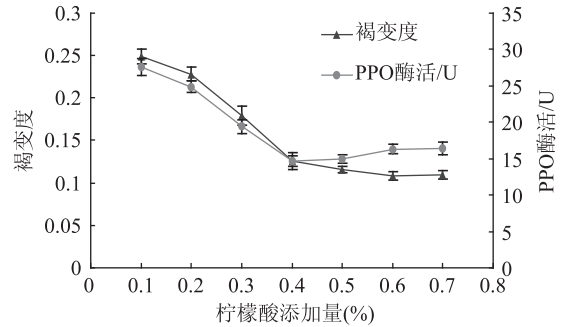


图4 柠檬酸添加量对香蕉皮热烫效果的影响

Fig.4 The effect of citric acid content on the banana peel heat treatment

条件,可以获得较好的护色效果。

2.5 正交实验分析

从表2、表3和表4可以看出,柠檬酸添加量和热烫固液比在热烫过程中对PPO酶活和褐变度有显著影响($p < 0.05$),而热烫时间在热烫过程中对PPO酶活和褐变度无明显的影响。三个因素对香蕉皮热烫过程中PPO酶活的影响从大到小为:热烫固液比(C) > 柠檬酸添加量(A) > 热烫时间(B),三个因素对香蕉皮热烫过程中浆液褐变度的影响大小为:热烫固液比(C) > 柠檬酸添加量(A) > 热烫时间(B)。

由表2,通过比较柠檬酸添加量(A)和热烫固液比(C)的 K_1 、 K_2 、 K_3 ,可确定最佳水平分别为 A_3 和 C_3 ,因为热烫时间(B)对实验结果影响较小,从节约时间和成本的方面考虑,故选择 B_1 。综上所述,热烫处理的最优条件为: $A_3B_1C_3$,即柠檬酸添加量为0.6%,热烫时间为5min,热烫固液比为1:6。经过实验验证,此条件下香蕉皮浆液褐变度仅为0.117,香蕉皮中PPO酶活为16U。

表2 正交实验结果分析

Table 2 Results of orthogonal experiment

实验号	A	B	C	残留 PPO 酶活(U)	褐变度
1	1	1	1	35	0.359
2	1	2	2	22	0.126
3	1	3	3	24	0.188
4	2	1	2	28	0.248
5	2	2	3	27	0.232
6	2	3	1	35	0.308
7	3	1	3	16	0.117
8	3	2	1	24	0.174
9	3	3	2	25	0.191
K_1	27	26.3	31.3		
K_2	30	24.3	25		
K_3	21.7	28	22.3		
R	8.3	3.7	9		
K_1	0.224	0.241	0.28		
K_2	0.263	0.177	0.188		
K_3	0.161	0.229	0.179		
R	0.102	0.064	0.101		

PPO 酶活性分析

褐变度分析

表3 褐变度方差分析

Table 3 Analysis results of variance of the browning degree

因素	偏差平方和	自由度	F 比 _{0.05}	p 值
A	0.016	2	1.231	<0.05
B	0.007	2	0.538	>0.05
C	0.019	2	1.462	<0.05
误差	0.05	8		

表4 PPO 酶活性方差分析

Table 4 Analysis results of variance of the polyphenoloxidase

因素	偏差平方和	自由度	F 比 _{0.05}	p 值
A	106.889	2	1.466	<0.05
B	20.222	2	0.277	>0.05
C	128.222	2	1.759	<0.05
误差	291.56	8		

注: $F_{0.05}(2,2) = 19.0$, $F_{0.01}(2,2) = 99.0$ 。

3 结论

综合实验结果,香蕉皮热烫防褐变的优化工艺条件为:热烫温度为 100℃、热烫时间为 5min、热烫固液比为 1:6、柠檬酸添加量为 0.6%。在此条件下对香蕉皮进行热烫防褐变处理,测得香蕉皮浆液褐变度仅为 0.117,香蕉皮中 PPO 酶活为 16U。

参考文献

- [1] 闫文杰,李鸿玉,艾秋实,等.香蕉和香蕉皮的加工利用[J].中国食物与营养,2009(12):31-33.
- [2] 桑利伟,李琳,郑服丛.香蕉茎叶和皮的综合利用研究[J].黑龙江农业科学,2006(4):96-98.
- [3] 李仁茂,陈蓉.粤西地区四种香蕉皮的成份分析[J].湛江

(上接第 234 页)

表5 不同 pH 对萃取长鱼蛋白酶的影响

Tabel 5 Effect of pH on extraction of protease from *Monopterus albus*

pH	上相		酶活回收率 (η , %)
	PF	SA	
6.0	3.63	976	74.8
7.0	4.40	1185	90.5
7.5	3.53	922	89.9
9.0	2.54	669	50.4
10.0	2.32	602	46.0

3 结论

通过考察影响 PEG/盐双水相系统分离纯化长鱼肠道蛋白酶的因素,确定了适宜的双水相体系为 25% PEG1000、20% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 pH7.0。长鱼肠道蛋白酶主要富集在上相中,在最佳的双水相体系中,酶活回收率 90.5%,上相纯化倍数为 4.40。

参考文献

- [1] 胡学智,王俊.蛋白酶生产和应用的进展[J].工业微生物,2008,38(4):49-61.
- [2] Nielsen P K, Foltmann B. Purification and characterization of

师范学院学报,2001,22(6):42-45.

- [4] 欧阳若,陈厚彬.香蕉栽培实用技术[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [5] 赵肃清,蔡燕飞.香蕉皮黑色素的鉴定及其抗氧化作用研究[J].中草药,2002,33(6):496-498.
- [6] 严义芳,周立邦,梁燕.香蕉皮多酚提取工艺条件的研究[J].农业机械,2011(8):156-158.
- [7] 赵立.香蕉皮中多酚氧化酶性质的研究[J].湖北农业科学,2009,48(12):3117-3119.
- [8] 张洪,黄建韶.马铃薯中多酚氧化酶的酶学特性研究[J].食品工业科技,2002(4):6-8.
- [9] 樊志勇,徐青艳,朱瑞倩,等.热烫条件对香蕉浆褐变的影响[J].食品工业科技,2013,34(16):318-321.
- [10] 杨志娟,雷晓凌,孔嘉碧.降低香蕉浆褐变度的工艺条件研究[J].现代食品科技,2010,26(9):962-964.
- [11] 张墨英,滕玉萍.草莓酚类和褐变度的研究[J].食品科学,1992(9):9-13.
- [12] 庄远红,刘静娜,林娇芬,等.护色处理对冻藏香蕉片多酚氧化酶活性的影响[J].食品工业科技,2012,33(3):77-80.
- [13] Rocha AMCN, Morais AMMB. Characterization of polyphenoloxidase(PPO) extracted from 'Jonagored' apple [J]. Food Control,2001,12(2):85-90.
- [14] 袁振远.食品酶学导论[M].北京:中国轻工出版社,1989,128-130.
- [15] 赵立.香蕉皮黄色素稳定性研究[J].安徽农业科学,2008,36(29):12548-12549.
- [16] 贾宝珠,鲍金勇,郑晓仪,等.香蕉皮原花色素提取工艺的研究[J].食品工业科技,2014,35(6):251-255.

porcine pepsinogen B and pepsin B[J].Arch Biochem Biophys,1995,322(2):417-422.

- [3] 江信红,唐云明.黄鳝肠道蛋白酶的分离纯化及其性质[J].中国水产科学,2005,12(3):329-334.
- [4] 江信红,唐云明.黄鳝蛋白酶的化学修饰[J].西南师范大学学报,2005,30(2):346-349.
- [5] 冯自立,马娜.无花果蛋白酶在 PEG/ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 双水相体系中的分配行为[J].食品科学,2010,31(19):67-70.
- [6] 张儒,张变玲,谢涛,等.聚乙二醇/硫酸铵双水相萃取猪胃蛋白酶工艺研究[J].食品工业科技,2012,33(15):245-246.
- [7] Shahbaz Mohammadi H, Omidinia E, Taberkhani H. Rapid one-step separation and purification of recombinant phenylalanine dehydrogenase in aqueous two-phase systems[J].Iran Biomed J,2008,12(2):115-122.
- [8] 粟桂娇,阎欲晓,陈春宁.双水相萃取分离米曲霉中性蛋白酶[J].食品科技,2012,37(1):9-12.
- [9] 魏群.基础生物化学实验(第三版)[M].北京:高等教育出版社,2009:129-131.
- [10] 赵新颖,屈锋,董敏,等.双水相萃取结合液相色谱法分离蛋白质[J].分析化学,2012,40(1):38-41.