

低温和中温协同超高压对鲜榨荔枝汁灭酶处理和色泽影响的研究

李汭生^{1,2}, 朱悦夫¹, 张微¹, 梅灿辉¹, 阮征^{1,2}

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

(2. 广东省天然产物绿色加工与产品安全重点实验室, 广东广州 510640)

摘要: 为探讨超高压处对鲜榨荔枝汁中过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)活性的影响, 对鲜榨荔枝汁进行了单独超高压处理(300~450 MPa, 10~40 min)及低温(10 °C)、中温(40~70 °C)协同超高压(450 MPa, 20 min)处理, 通过对荔枝汁品质指标测定, 探讨了温度协同超高压对荔枝汁品质的影响。试验结果表明: 在室温、保压时间为 20 min 的条件下, 300~450 MPa 压力范围内荔枝汁中 POD 酶被激活, 在 300 MPa 时活性最高; PPO 酶在此压力范围内则随着压力的升高而降低; POD 比 PPO 酶更耐压; 450 MPa 压力条件下, 随着保压时间的延长, POD、PPO 酶的活性减小; 低温和中温协同超高压处理对荔枝汁中 POD、PPO 酶的钝化存在一定的协同效应, 且中温范围内(40~70 °C)温度越高, 协同抑制效应越明显; 中温协同超高压处理后的荔枝汁的 L^* 值显著升高, 果汁的亮度增加, 但是随着协同温度的升高, 总色差 ΔE^* 逐渐增大, 果汁的色泽变化增大。

关键词: 温度协同超高压; 荔枝汁; 过氧化物酶; 多酚氧化酶; 品质

文章编号: 1673-9078(2017)7-151-156

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.022

Effect of High Pressure Processing (HPP) Combined with Low and Moderate Temperature Treatments on the Color and Enzyme Inactivation in Freshly Squeezed Lychee Juice

LI Bian-sheng^{1,2}, ZHU Yue-fu¹, ZHANG Wei¹, MEI Can-hui¹, RUAN Zheng^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Guangdong Province Key Laboratory for Green Processing of Natural Products and Product Safety, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In order to investigate the effects of high pressure processing (HPP) on the activities of peroxidase (POD) and polyphenol oxidase (PPO) in the freshly squeezed lychee juice, HPP (300~450 MPa, 10~40 min) alone and treatments of HPP (450 MPa, 20 min) combined with low (10 °C) and moderate temperatures (40~70 °C) were conducted on fresh lychee juice, respectively. Physicochemical properties and sensory quality of lychee juice were measured to explore the combination of HPP and temperature on the quality of lychee juice. The results showed that POD was activated only when HPP was carried out under pressure between 300~450 MPa at 25 °C for 20 min. The POD activity reached the maximal level after 300 MPa treatment. Below the aforementioned pressure range, the PPO activity decreased with increasing pressure. PPO was less pressure-resistant than POD. At the pressure of 450 MPa, the activities of POD and PPO decreased with increasing pressure-holding time. HPP combined with low and moderate temperatures had a certain degree of synergistic effect on the POD and PPO inactivation. In the moderate temperature range (40~70 °C), the synergistic inhibitory effect was more significant with higher temperatures. Upon combining the treatment of HPP with moderate temperature, the L^* value of lychee juice was significantly increased and the brightness of the juice was enhanced. However, with increasing temperature in the HPP and temperature combined treatment, the total color difference ΔE^* value and the change in color of the juice gradually increased.

Key words: combined ultra high pressure (UHP)/temperature; lychee juice; peroxidase; polyphenol oxidase; quality

收稿日期: 2016-12-01

基金项目: 省级现代农业产业技术研发中心建设项目(校内项目编号 B2152840)资助

作者简介: 李汭生(1962-), 男, 博士, 教授, 主要从事食品科学与工程, 食品加工与保藏等方面研究

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)属无患子科植物,是一种珍贵的亚热带水果,其形、色、香、味俱佳,味鲜美、清甜,香味浓郁,营养丰富,深受广大消费者的喜爱。

目前荔枝原果汁及其加工产品如荔枝罐头等均采用热处理杀菌灭酶,该方法虽然能延长产品的货架期,但在不同程度上破坏了食品中热敏性营养成分,导致果汁色泽褐变、风味劣变和产生其他一些难以控制的非期望变化,影响产品质量。超高压杀菌技术是一种新兴的冷加工技术,它是指将食品物料装入软包装后,放入液体的介质中,在100~1000 MPa的压力范围内进行处理,不仅可以有效杀灭食品物料中的微生物和钝化多种酶,而且可以较好地保持食品固有的营养、品质、风味、色泽和新鲜程度,符合消费者对果汁营养和风味的要求^[1-3]。过氧化物酶 peroxidase (POD)及多酚氧化酶 polyphenol oxidase (PPO)是引起食品褐变的两种主要酶类,近年来超高压加工对其的影响引起了许多研究者的重视,如何在水果加工中尽量降低其的活性为研究的重点,国内外很多研究是关于热处理和非热处理方式对于POD和PPO酶活力的影响^[4-7]。超高压对果蔬的影响研究中,单纯的超高压处理很难对果蔬中的酶类进行有效的灭活,因此更多的研究者将热处理和超高压处理两者结合起来协同对果蔬制品进行灭酶等处理,如Terefe等^[5]人探究了超高压协同热处理对草莓酱PPO和POD的影响,研究发现热压结合的方式能够有效抑制POD的活性,而对PPO酶活的抑制效果有限;Chakraborty^[6]在研究中发现,当压力大于400 MPa,协同温度在50~70℃可以降低菠萝中PPO和POD的酶活力,并抑制褐变;Liang fang等人^[7]研究超高压对奇异果POD酶的影响,发现当压力大于400 MPa时,协同温和的热处理(≤50℃)能够加速对酶活的抑制作用。

以上这些研究对热压协同处理果蔬进行了探讨,有些探讨了抑制的机理,有些建立的相应的动力学模型进行分析,但较少有文献结合色泽、感官评价等方面综合评价热压结合对荔枝制品的影响。

本文主要研究不同温度协同超高压处理鲜榨荔枝汁后其POD、PPO酶活性的变化,同时对荔枝汁进行色差分析和感官评价,将灭酶效果与护色效果两者结合起来,探讨不同温度协同高压处理对鲜榨荔枝汁品质的影响,以便确定较合适的协同处理条件。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器设备

原料:市售新鲜荔枝,“淮枝”品种(*Litchi chinensis* Sonn. cv. Huaizhi)。

试剂:愈创木酚、邻苯二酚、无水乙酸钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、2,6-二氯靛酚、草酸、抗坏血酸(Vc)、碘酸钾、碘化钾等试剂均为分析纯。

试验仪器、设备:HR2826型飞利浦榨汁机(珠海飞利浦家用电器有限公司);TDL-40B离心机(上海安亭科学仪器厂);GL-20B冷冻离心机(上海安亭科学仪器厂);抽滤脱气装置;FR-600自动薄膜封口机(东莞市金桥科技电器制造有限公司);UUPF/5 L/800 MPa超高压设备(内蒙古包头科发新型高技术食品机械有限责任公司,传压介质为水);超级恒温水浴锅;721分光光度计(上海精密科学仪器有限公司);CR-400便携式色差计(日本柯尼卡美能达公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 鲜榨荔枝汁制备工艺流程

原料选择(八九成熟)→去皮、去核→榨汁→过120目筛→离心(4000 r/min, 5 min)→脱气(真空脱气机/抽滤装置)→定量、封袋(50 mL/袋)→灭酶(超高压/温度协同高压处理)→POD、PPO酶活测定、理化指标测定及感官评定。

1.2.2 超高压处理条件

待处理样品采用聚乙烯塑料袋(10×13 cm²)两层密封(不留顶隙),放入特制聚四氟乙烯套筒材质的保温夹套内,按照实验设计,通过改变压力(300~450 MPa)和保压时间(10~30 min)以及压力腔中夹套内水介质的温度(10~70℃)实施不同条件的超高压单独处理或温度协同超高压处理。

保压时间从压力上升到设定值开始计算,升压时间约1~3 min。

实验中的为了准确地评价荔枝汁在不同温度协同过程中的受热程度,在包装容器的热中心(冷点)放置一个热电偶,测定处理前后的温度,计算平均温度。

试验空白对照(CK)为常压(0.1 MPa)下未经处理的鲜榨荔枝汁,所有样品于4℃下进行贮藏,尽快完成各项指标检测。

1.2.3 酶活性的检测

1.2.3.1 粗酶液的制备

取5 mL样品(经超高压处理的或未处理的对照样),于4℃条件下,12000 r/min离心20 min,取上清液即为粗酶液,冷藏待测过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)活性。

1.2.3.2 POD活性的检测

按文献^[8]方法,反应体系:0.01 mol/L pH值为6.0的醋酸钠缓冲溶液2.15 mL(该缓冲溶液内含0.5%愈

创木酚)+0.1%过氧化氢溶液 0.25 mL+粗酶提取液 0.1 mL, 然后于 470 nm 波长下记录吸光度 (OD) 的变化值, 反应时间至少 5 min。

1.2.3.3 PPO活性的检测

按文献^[8]方法, 反应体系: 0.1 mol/L pH 值为 6.5 的磷酸缓冲溶液 2.2 mL+0.2 mol/L 邻苯二酚溶液 0.25 mL+粗酶提取液 0.05 mL, 然后于 420 nm 波长下记录吸光度 (OD) 的变化值, 反应时间至少 5 min。

酶活性的定义: 单位时间内, 每毫升酶液, 吸光度变化 0.001 定义为 1 个酶活性单位。

相对酶活性的定义: 相对残留活性=(处理样品活性/未处理对照样品活性)×100%。

1.2.4 色差分析^[9]

采用 CR-400 便携式色差仪测定。L*值表亮度, L*值越大亮度越大; a*值表示有色物质的红绿偏向, 正值越大偏向红色的程度越大, 负值绝对值越大偏向绿色的程度越大; b*值表示有色物质的黄蓝偏向, 正值越大偏向黄色的程度越大, 负值绝对值越大偏向蓝色的程度越大。

1.3 数据处理

本试验所得数据采用软件 Excel 和 SPSS 13.0 系统进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 压力对荔枝汁过氧化物酶、多酚氧化酶活性的影响

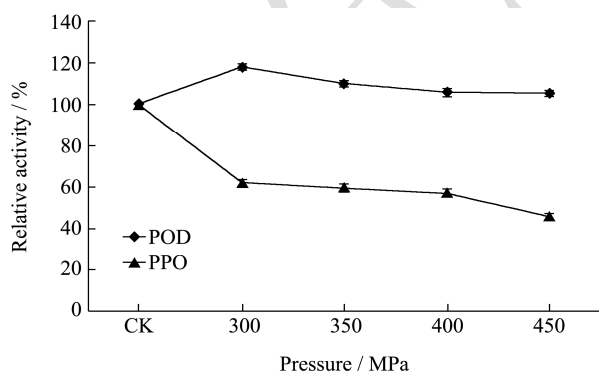


图 1 压力对荔枝汁 POD、PPO 酶活性的影响

Fig.1 Effect of pressure on the POD and PPO activities of lychee juice

注: 不同标注差异性不同 ($p < 0.05$)。

为了考察荔枝汁中过氧化物酶 (POD)、多酚氧化酶 (PPO) 在高压下的变化特性, 于室温 (28 °C) 条件下, 选用 4 种压力 (300、350、400 和 450 MPa)

对荔枝汁进行保压 20 min 的超高压处理。压力对荔枝汁 POD、PPO 酶活性影响如图 1 所示。

由图 1 可知, 荔枝汁经 300~450 MPa 的超高压处理后, POD 酶相对残留活性显著升高, 其中 300 MPa 高压处理后, POD 酶活性表现最高, 相对残留活性达 118.1%; 随着压力升高, 酶的活性逐渐下降, 但仍比对照样的酶活性高, 当压力大于 400 MPa 以后, 继续增大压力对降低酶的相对残留活性的效果不明显。许多研究发现, POD 是一种非常耐压的食品品质酶, Arroyo^[10]等人发现在 300~350 MPa 下处理 30 min 会使洋葱的 POD 活性上升, 而在 400 MPa 压力下活性下降不显著; Prestamo^[11]等人发现, 在 600~800 MPa 下处理 15 min 会使苹果切片的 POD 活性上升, 而在 1000 MPa 下活性下降 40% 左右。酶是一种特殊的蛋白质, 其活性主要取决于它的三维空间构象和活性位点, 任何对结构和位点的轻微改变都有可能影响酶的活性 (增强或降低), POD 是一种单体酶, 研究表明超高压处理可以激活单体酶的活性, 超高压处理会破坏果蔬中完整的细胞结构, 促进胞内的 POD 及其同工酶释放, 充分与底物接触, 而 POD 酶类具有的耐压特性可以保持其自身的活力, 从而增大了制品中的酶数量, 提高了酶活力^[12]。

超高压对 PPO 酶活性的影响与 POD 酶有所不同, 随着压力的升高, PPO 酶活性相对于对照样均有不同程度的下降, 300 MPa 时 PPO 酶相对残留活性显著下降, 压力越大, 相对残留活性越低, 但即使压力达到 450 MPa 也不能使荔枝汁中的 PPO 酶完全失活, 相对残留活性仍有 45.5%。

通过对比可以看出, POD 比 PPO 更耐压, 常温下超高压处理无法对这两种酶起到很好的灭酶效果。Kaushik^[13]对荔枝研究也发现即使采用很高的超高压处理条件 (600 MPa, 45 min) 也难以对这两种酶灭活, 同时还指出采用多种形式的超高压处理 (脉冲、静压和循环) 均无法对荔枝中的这两种酶达到很好的灭活效果。

2.2 保压时间对荔枝汁过氧化物酶、多酚氧化酶活性的影响

为了考察超高压处理的保压时间对荔枝汁中 POD、PPO 活性的影响, 于室温 (28 °C) 下, 选用 4 种保压时间 (10、20、30 和 40 min) 对荔枝汁进行 450 MPa 的超高压处理。

由图 2 可知, 荔枝汁经不同保压时间的超高压处理后, POD 酶相对残留活性相对于对照样均有增加,

保压 10 min 的相对残留活性最高, 而保压 40 min 后相对残留活性依然有 101.4%, 说明延长保压时间无法有效抑制 POD 酶活力。对 PPO 酶而言, 经 10 min 的保压处理后, 酶相对残留活性迅速降至 62.3%; 而保压时间超过 20 min 后, 酶活性下降速率变得缓慢, 受保压时间影响变小, 保压 40 min 后相对残留活性依然有 38.5%, 表明延长保压时间对 PPO 酶活抑制作用有一定的增效, 但其提升效果只在一定范围内有效, 进一步延长保压时间对酶的活性影响甚微。

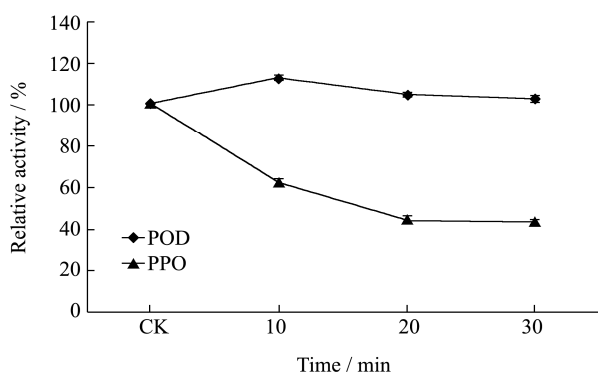


图2 保压时间对荔枝汁 POD、PPO 酶活性的影响

Fig.2 Effect of pressure-holding time on the POD and PPO activities in lychee juice

注: 不同标注差异性不同 ($p < 0.05$)。

2.3 不同温度协同超高压处理对荔枝汁过氧化物酶、多酚氧化酶活性的影响

温度升高会弱化酶蛋白质的一些氢键、疏水键、离子键和静电相互作用, 而超高压处理会增强这种弱化作用的效果, 使酶的三维构象受到破坏, 加速酶的失活^[4]。由 2.2 可知我们无法依靠单纯的高压处理来彻底钝化 POD、PPO 酶, 以下将结合热处理对荔枝汁中 POD、PPO 酶进行研究。

为了考察不同条件的热压结合对 POD 和 PPO 活性影响的变化特性, 于 450 MPa 压力条件下, 选用 5 种协同温度(10、25、40、55 和 70 °C)对荔枝汁进行 20 min 的超高压处理, 实验过程采用特制的夹套进行保温。为了准确地评价压力腔中夹套内的荔枝汁软罐头在热协同过程中的受热程度, 作者对夹套内的荔枝汁软罐头中心温度随时间的变化进行了测定: 协同温度分别为 10、25、40、55、70 °C 处理 20 min 条件下, 实验中, 夹套内的温度变化基本上呈线性变化, 因此我们测得保温夹套内的平均中心温度(冷点温度)分别为 13.45、26.50、37.43、48.36 和 59.81 °C。

不同协同温度对荔枝汁 POD、PPO 酶活性影响如图 3 所示。在 10 °C 协同超高压处理时, POD 的相对

活性为 95.3%, 略有下降, 说明低温有助于促进超高压处理的灭酶效果; 25 °C 协同超高压处理, POD 活性被激活, 上升到了 103.7%; 采用 40~70 °C 协同超高压处理时, 酶活性随温度升高而降低, 且温度越高, POD 活性的抑制效果越显著。

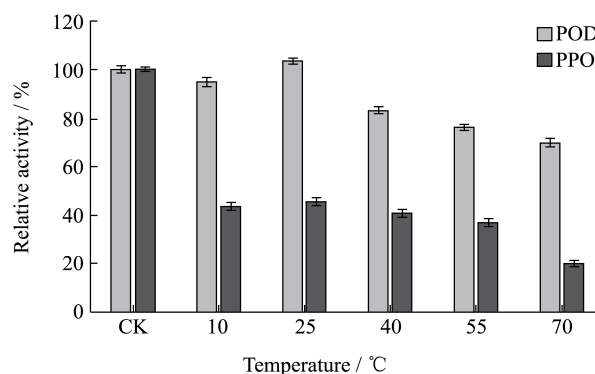


图3 不同温度协同 450 MPa 压力处理 20 min 对荔枝汁 POD、PPO 酶活性的影响

Fig.3 Effect of treatments of HPP (450 MPa) combined with different temperatures for 20 min on the POD activity in lychee juice

注: 不同标注差异性不同 ($p < 0.05$)。

经超高压处理后, 在不同的温度(10~70 °C)条件下, 荔枝汁 PPO 酶活性均显著下降, 相比于常温处理, 低温(10 °C)和中温(40~70 °C)协同超高压处理对 PPO 相对活性的抑制效果更好, 中温协同超高压处理时, 酶活性随温度升高而降低, 且温度越高, PPO 相对活性的抑制效果越显著。

综上所述, 采用低温和中温协同超高压处理对两种酶均有协同增效作用。

2.4 温度协同高压处理对荔枝汁色泽的影响

2.4.1 感官评价

对照样具有天然荔枝汁的色泽, 为乳白色至浅黄色均匀半透明液体。刚处理完的样品的色泽均有不同程度的改变, 温度为 10 °C 和 25 °C 时, 处理样的色泽和对照样较为接近, 与对照样之间差异不明显, 随着温度的升高(40~70 °C), 荔枝汁亮度虽有少许增加, 但是荔枝汁自然的色泽却较对照样有明显改变, 协同温度越高, 色泽变化越明显, 同时处理样的均匀性与对照样相比均有所下降。在 4 °C 下储藏 7 d 后, 低温和常温下处理的样品色泽变化明显, 出现一定程度的褐变; 40 °C 协同处理的样品也出现轻微的褐变, 但变化程度较低温和常温处理的要低; 55 °C 和 70 °C 的色泽则保留较好, 无明显的褐变。

从感官上看, 刚处理完的样品对比, 低温和常温协同处理的样品能更好地保留原有荔枝汁的色泽, 中

温协同的样品色泽变化较明显,说明较高的协同温度会对荔枝汁的色泽造成更大的破坏;但储藏7 d后中温协同处理的样品色泽变化程度反而小于低温和常温处理的样品,这可能与不同温度下灭酶的效果不同造成的。

2.4.2 色差分析

由表1可知,在450 MPa压力条件下荔枝汁 L^* 值随着协同温度的升高逐渐增大,特别是在55℃及70℃下,处理样 L^* 值比对照样的 L^* 值显著升高($p<0.05$),褐变减轻,这主要是由于随着协同温度的升

高,POD、PPO酶活力逐渐降低。荔枝汁 a^* 值则随着协同温度的升高逐渐降低,同样是在55℃及70℃协同温度下,荔枝汁比对照样的 a^* 值显著降低($p<0.05$)。 b^* 值也随着协同温度的增加逐渐下降。

通过分析计算,随着协同温度的升高, ΔE^* 值逐渐增大,说明各处理样品与对照样的颜色变化差距逐渐增大,其中协同温度为10℃和25℃时,两组样品的 ΔE^* 值差异不显著($p>0.05$),即颜色差异不显著。协同温度为40℃、55℃和70℃时,样品与对照样颜色差异显著($p<0.05$),这与感官评定结果相一致。

表1 热协同450 MPa压力处理20 min对荔枝汁色泽的影响

Table 1 Effect of treatments of HPP (450 MPa) combined with different temperatures for 20 min on the color characteristics of lychee juice

juice				
Temperature/℃	L^* value	a^* value	b^* value	ΔE^* value
CK(28)	33.22±0.08 ^d	-0.57±0.05 ^a	0.09±0.02 ^a	-
10	33.96±0.04 ^c	-0.67±0.04 ^b	-0.33±0.02 ^b	0.85±0.03 ^d
25	34.00±0.04 ^c	-0.72±0.01 ^{cb}	-0.44±0.09 ^c	0.96±0.05 ^d
40	35.12±0.15 ^b	-0.78±0.04 ^{cd}	-0.59±0.02 ^d	2.03±0.03 ^c
55	35.27±0.15 ^{ab}	-0.81±0.02 ^d	-0.67±0.04 ^{de}	2.19±0.03 ^b
70	35.41±0.02 ^a	-0.89±0.05 ^e	-0.70±0.04 ^e	2.35±0.01 ^a

注: 1.数据: Mean value ±S. D (n=3); 2.图表中不同字母表示有显著差异 ($p<0.05$)。

表2 热协同450 MPa压力处理20 min对荔枝汁4℃下储藏7 d后色泽的影响

Table 2 Effect of treatments of HPP (450 MPa) combined with different temperatures for 20 min on the color characteristics of lychee juice after being stored under 4℃ for seven days

juice after being stored under 4℃ for seven days				
Temperature/℃	L^* value	a^* value	b^* value	ΔE^* value
CK(28)	33.22±0.08 ^e	-0.57±0.07 ^a	0.09±0.01 ^a	-
10	36.73±0.03 ^d	-1.02±0.03 ^b	0.87±0.02 ^b	3.62±0.02 ^e
25	38.00±0.06 ^c	-1.16±0.04 ^c	1.30±0.04 ^c	4.97±0.03 ^d
40	35.98±0.10 ^b	-0.99±0.04 ^d	-0.31±0.03 ^d	2.82±0.05 ^c
55	34.95±0.12 ^a	-0.95±0.02 ^d	-0.48±0.04 ^e	1.86±0.01 ^b
70	34.67±0.05 ^a	-0.96±0.05 ^d	-0.55±0.04 ^e	1.63±0.01 ^a

注: 1.数据: Mean value ±S. D (n=3); 2.图表中不同字母表示有显著差异 ($p<0.05$)。

表2表示经不同温度协同450 MPa处理20 min的荔枝汁在4℃下储藏7 d后的色泽变化,从中可以看出处理样的色泽变化有明显的差异,在10℃、25℃及40℃下,荔枝汁的 L^* 值有上升的趋势,而在55℃和70℃下, L^* 值则出现轻微的下降;处理样的 a^* 值出现轻微的下降, b^* 值表现出上升的情况,其中在10℃、25℃及40℃下,样品的 b^* 值上升幅度较大,因此呈现出较为明显的褐变,55℃和70℃下样品的 b^* 值上升幅度较小,无明显褐变,可见较高温度的协同处理能够更好地保持荔枝汁在储藏过程中的色泽。

不同协同温度处理的样品在储藏7 d后颜色差异显著($p<0.05$),可以看出协同温度为25℃时,荔枝

汁的 ΔE^* 值最大,随后依次是10℃、40℃、55℃和70℃下处理的样品。这与不同热协同温度处理对酶活的影响结果相符合,中温协同超高压处理能够达到较好地灭酶护色效果。

综上所述,随着协同温度的升高,刚处理完的荔枝汁的 L^* 值显著提高,荔枝汁的色泽得以改善,同时与对照样的颜色差距也逐渐增大。储藏7 d后,受灭酶效果影响的差异,不同样品的色泽变化有较为明显的差异。

3 结论

本实验采用不同温度(10~70℃)协同高压对荔枝汁进行处理,研究了处理压力、温度、保压时间对

POD 和 PPO 两种酶活性的影响,并测定荔枝汁品质指标,探讨温度协同高压对鲜榨荔枝汁品质的影响,得出如下结论。

3.1 在室温(28 °C)下、保压时间为 20 min, 300~450 MPa 压力范围内荔枝汁中 POD 酶被激活,活性增加,在 300 MPa 时活性表现最高,相对残留活性达 118.1%。PPO 酶在此压力范围内则随着压力的升高而降低,在 450 MPa 压力下,PPO 酶相对残留活性为 45.5%。POD 比 PPO 酶更耐压。

3.2 在 450 MPa 压力条件下,随着保压时间的延长,荔枝汁中 POD、PPO 酶的活性减小;20 min 以前下降速度较快,20 min 以后下降速度变缓慢。

3.3 常温下采用超高压处理不能使 POD 酶活性显著下降。低温和中温协同超高压处理对荔枝汁中 POD、PPO 酶的钝化存在一定的协同效应,且在 40~70 °C 范围内,温度越高,协同效应越明显。

3.4 感官评价发现,低温和常温协同对荔枝汁处理后色泽影响程度要小于中温协同处理对色泽的影响,但样品在 4 °C 下储藏 7 d 后,中温处理对荔枝汁的护色效果更好,低温和常温协同处理的样品出现了一定程度褐变。

3.5 色差分析发现,随着协同温度的升高,荔枝汁的 L^* 值显著升高,荔枝汁亮度增加,各处理样与对照样之间的颜色差异也越来越显著($p < 0.05$)。处理后的样品在 4 °C 下储藏 7 d 后,协同温度为 70 °C 的处理样品色泽变化最小,其次分别是 55 °C、40 °C 和 10 °C 的样品,25 °C 的样品色泽变化最大,与灭酶的结果相符合。

参考文献

- [1] Barba F J, Terefe N S, Buckow R, et al. New opportunities and perspectives of high pressure treatment to improve health and safety attributes of foods. a review [J]. Food Research International, 2015, 77: 725-742
- [2] Chen X, Qin W, Ma L, et al. Effect of high pressure processing and thermal treatment on physicochemical parameters, antioxidant activity and volatile compounds of green asparagus juice [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 927-933
- [3] Zhao L, Wang Y, Hu X, et al. Korla pear juice treated by ultra filtration followed by high pressure processing or high temperature short time [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65(1): 283-289
- [4] Wang Jun, Fang Xiao-Ming, Mujumdar Arun S, et al. Effect of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) pretreatment on drying characteristic and quality attributes of red pepper (*Capsicum annum L.*) [J]. Food Chemistry, 2017, 220: 145-152
- [5] Terefe N S, Yang Y H, Knoerzer K, et al. High pressure and thermal inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in strawberry puree [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(1): 52-60
- [6] Chakraborty S, Rao P S, Mishra H N. Kinetic modeling of polyphenol oxidase and peroxidase inactivation in pineapple (*Ananas comosus L.*) puree during high-pressure and thermal treatments [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015, 27: 57-68
- [7] Fang L, Jiang B, Zhang T. Effect of combined high pressure and thermal treatment on kiwifruit peroxidase [J]. Food Chemistry, 2008, 109(4): 802-807
- [8] C Phunchaisri, A Apichartsrangkoon. Effects of ultra-high pressure on biochemical and physical modification of lychee (*litchi chinensis sonn.*) [J]. Food Chemistry, 2005, 93: 57-64
- [9] Watanabe Y, Yoshimoto K, Okada Y, et al. Effect of impregnation using sucrose solution on stability of anthocyanin in strawberry jam [J]. LWT-Food Science And Technology, 2011, 44(4): 891-895
- [10] Arroyo G, Sanz P D, Prestamo G. Response to high-pressure, low-temperature treatment in vegetables: determination of survival rates of microbial populations using flow cytometry and detection of peroxidase activity using confocal microscopy [J]. Applied Microbiology, 1999, 86(3): 544-556
- [11] Prestamo G, Arabas J, Broczek M F, et al. Reaction of *B. cereus* bacteria and peroxidase enzymes under pressure >400 MPa [J]. J. Agric. Food Chem., 2001, 49(6): 2830-2834
- [12] Hendrickx M, Ludikhuyze L, Van den Broeck I, et al. Effects of high pressure on enzymes related to food quality [Z]. Elsevier Ltd, 1998
- [13] Kaushik N, Kaur B P, Rao P S. Inactivation of polyphenol oxidase and peroxidase enzymes during pulsed, static and cyclic pressurization of litchi (*Litchi chinensis*) juice [J]. Food and Bioproducts Processing, 2016, 100: 412-423
- [14] Knorr D. Effects of high-hydrostatic pressure processes on food safety and quality [J]. Food Technology, 1993, 47(6): 156-161