

中温协同超高压处理对椰肉原浆品质影响和杀菌效果的研究

万斌¹, 段振华^{1,2}, 罗姗姗¹, 罗伟¹, 胡静¹

(1. 海南大学食品学院, 海南海口 570228) (2. 海南大学热带生物资源教育部重点实验室, 海南海口 570228)

摘要: 研究了中温协同超高压处理对椰肉原浆的杀菌工艺, 设计了一种间歇施压的组合方式, 研究了不同压力组合、保压时间、协同温度对椰肉原浆菌落总数、非酶褐变指数、过氧化值、pH值、色泽等指标的影响。采用正交试验优化杀菌工艺条件, 并与巴氏杀菌工艺进行比较, 分析了杀菌前后椰肉原浆杀菌效果及感官品质的变化。结果表明, 中温协同超高压处理具有很好的杀菌效果, 可以抑制椰肉原浆的非酶褐变, 且对椰肉原浆的色泽具有很好的保护作用。椰肉原浆超高压最佳杀菌工艺参数为: 先低压 200 MPa/5 min, 再高压 500 MPa/5 min, 协同温度 35 °C, 此工艺下菌落总数为 63 cfu/g, 杀菌率达 99.9%。与巴氏杀菌处理相比, 中温协同超高压处理很好的保持了椰肉原浆原有的色、香、味。该杀菌工艺的研究为椰肉原浆的贮藏保鲜提供了理论依据。

关键词: 椰肉原浆; 超高压; 品质; 中温

文章编号: 1673-9078(2014)9-222-229

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.09.037

Effect of Ultrahigh-pressure and Mild-temperature Processing on Quality and Sterility of Coconut Puree

WAN Bin¹, DUAN Zhen-hua^{1,2}, LUO Shan-Shan¹, LUO Wei¹, HU Jing¹

(1. College of Food Science, Hainan University, Haikou 570228, China)

(2. Key Laboratory of Tropical Biological Resources, Ministry of Education, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: The sterilization process for coconut puree was studied using ultrahigh-pressure and mild-temperature processing. A combination mode was developed, which applied pressure intermittently to study the effect of different pressure combinations, holding time, and processing temperatures on the colony count, non-enzymatic browning degree, peroxide value, pH value, and color of coconut puree. The sterilization conditions were optimized by orthogonal experimentation. In addition, the process was compared to pasteurization; the sterilization effect and changes in sensory characteristics of the coconut puree were analyzed before and after sterilization. The results indicated that ultrahigh pressure treatment at mild temperature had a very good sterilization effect, inhibited non-enzymatic browning, and protected the color of coconut puree. The optimized sterilization process was as follows: low-pressure treatment (200 MPa at 35 °C) for 5 min followed by high pressure (500 MPa at 35 °C) for another 5 min. Under these conditions, the colony count was 63 cfu/g, and the sterilization rate was up to 99.9%. Compared to pasteurization, the ultrahigh-pressure processing at mild temperature preserved the original color, aroma, and flavor of coconut puree to a greater extent. This study thus provides a theoretical basis for storage and preservation of coconut puree.

Key words: coconut puree; ultrahigh pressure; quality; mild temperature;

椰子 (*Cocos nucifera* L) 属于棕榈科椰子属, 是热带地区典型的木本油料作物和食物能源作物之一。椰子由外果皮、中果皮、内果皮、种皮、椰肉、椰子水等部分构成。椰肉亦称固体胚乳, 是椰子的主要组成部分。新鲜椰肉中含有 35.2% 脂肪、3.8% 蛋白质和

收稿日期: 2014-04-10

作者简介: 万斌 (1989-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 高新技术在食品加工贮藏中的应用

通讯作者: 段振华 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品新技术研究与开发

40% 水分, 以及少量 VB₁、VA、Vc、VE、β-胡萝卜素和多酚类物质, 具有降血脂、降低胆固醇、抑制高血脂症等保健功能^[1-2]。由于椰肉在加工过程中, 不可避免的受到微生物的侵染, 导致椰肉腐败变质。因此, 开发更为节能、高效的新型杀菌技术其意义重大。

与传统杀菌方法相比, 超高压杀菌技术目前作为商业化应用程度较高的一种新型非热杀菌技术, 具有瞬时、高效、耗能低、污染少等优点。超高压处理能保留食品原有的色香味, 杀菌后维生素、色素和风味物质等低分子化合物含量无明显变化, 具有热加工无

法比拟的特点。近年来国内外有不少研究利用超高压对果蔬汁进行杀菌,如苹果汁^[3]、橘汁^[4]等,均得到良好的杀菌效果。但也有研究表明单独超高压处理的杀菌效果并不理想。由于芽孢类细菌极其耐压,而芽孢的萌发、生长会导致食品腐败。为了克服该缺点,彻底杀灭细菌芽孢,众多学者研究提出超高压技术与其它杀菌技术结合使用的方法,如热处理、添加化学防腐剂等,可有效提高杀菌效果、降低所需工作压力^[5-9]。此外,施压方式对芽孢菌的杀灭效果也起着至关重要的作用^[10]。而大多研究采用连续式超高压处理,间歇式超高压杀菌处理的研究还很少。为此,本文采用中温协同超高压间歇杀菌的非热力技术手段,对椰肉原浆进行杀菌处理,为椰肉原浆的加工利用和贮藏保鲜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

椰子,购于海口市新港椰子批发市场,选取椰子为“响水”较小,椰壳颜色较深的成熟适中的椰子。

牛肉浸膏,广东环凯微生物科技有限公司;无水葡萄糖,国药集团化学试剂有限公司;细菌学蛋白胨,广东环凯微生物科技有限公司;琼脂粉,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

HPP.L3-600/0.6 超高压设备,天津华泰森森有限公司;SW-CJ-1FD 型无菌操作台,苏州安泰空气技术有限公司;DZ-500/2S 型真空包装机,山东诸城领先机械有限公司;IKA A11 Basic 分析用研磨机,德国仪科公司;AL-204 电子分析天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;分光测色计 CM-700d, KONICA MINOLTA; ZEALWAYGR60DA 高压灭菌器,厦门致微仪器有限公司;101-2 型电热鼓风干燥箱,常州市华普达教学仪器有限公司;电热蒸馏水器 YNZD-20,宁波江南仪器厂;LRH-150B 生化培养箱,广东省医疗器械厂;WYT 型手持折光仪,成都兴晨光学仪器有限公司;UV-2450 型紫外分光光度计,日本岛津公司。

1.3 试验方法

1.3.1 椰肉原浆的制备

参照文献^[1]报道的方法制备椰肉原浆。

1.3.2 不同压力组合对椰肉原浆微生物和品质的影响

将真空包装好的椰肉原浆置于超高压容器的传压介质中,在 20 °C 下,分别于 100 MPa~500 MPa, 200 MPa~400 MPa, 200 MPa~500 MPa, 300 MPa~500 MPa, 300 MPa~600 MPa 不同压力组合下处理 10 min,其中,低、高压各施压 5 min。

1.3.3 不同保压时间对椰肉原浆微生物和品质的影响

将真空包装好的椰肉原浆置于超高压容器的传压介质中,在 20 °C, 200 MPa~500 MPa 压力组合下,分别选取保压时间为 5 min、10 min、15 min、20 min 进行超高压处理,其中 200 MPa 和 500 MPa 施压时间均为保压时间的一半。

1.3.4 不同协同温度对椰肉原浆微生物和品质的影响

将真空包装好的椰肉原浆置于超高压容器的传压介质中,在 200 MPa~500 MPa 压力组合下,分别于 25 °C、35 °C、45 °C、55 °C 协同处理 10 min,其中 200 MPa 和 500 MPa 施压时间各为 5 min。

1.3.5 微生物菌落总数的测定

依照国标 GB 4789.2-2010(食品微生物学检验 菌落总数测定)进行测定。

1.3.6 非酶褐变指数(A₄₂₀)的测定

取 2 g 椰肉原浆加入 5 mL 无水乙醇,混合摇匀,转速 4000 r/min 离心 20 min,取上清液,用 2 cm 比色皿在 420 nm 处测定吸光度,根据吸光度值的大小确定褐变程度^[12]。

1.3.7 可溶性固形物(TSS)、pH 值的测定

分别采用手持折光仪、PHS-3C 型实验室 pH 计进行测定。

1.3.8 色差值的测定

采用 CM-700d 型分光测色计进行测定。分别记录椰肉原浆的 L*、a*、b* 值。其中亮度 L* 表示样品偏白(+)或偏黑(-)的程度,色度 a* 表示样品偏红(+)或偏绿(-)的程度,色度 b* 表示样品偏黄(+)或偏蓝(-)的程度。每个样品测定三次,取其平均值。总色差 ΔE^* 按下式计算:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

1.3.9 过氧化值、蛋白质含量的测定

采用国标 GB/T 5009.6-2003 对椰肉原浆进行提油,然后采用 GB/T 5009.37-2003 测定椰肉原浆过氧化值;采用国标 GB/T 5009.5-2010 凯氏定氮法测量蛋白质含量。

1.3.10 巴氏杀菌对椰肉原浆微生物和品质的影响

将真空包装好的椰肉原浆置于 85 °C 的水浴中,

处理 10 min。

1.4 数据处理

所有实验数据均进行三次重复,测定结果以平均值±标准偏差(SD)表示。不同平均值的比较采用Duncan 式新复极差法,采用 SPSS Statistics 19.0 统计分析软件。结果的显著性为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同压力组合对椰肉原浆微生物和品质的影响

2.1.1 不同压力组合对椰肉原浆微生物的影响

由图 1 可知,相同保压时间(10 min)和协同温度(20℃)的条件下,随着处理压力组合的不断增大,其菌落总数明显减少。其中,300 MPa~600 MPa 压力组合下,椰肉原浆中菌落总数减少 99.99%,杀菌效果最好。这是因为,压力的增加和间歇式施压方式强化了升压和降压过程中对微生物的特殊胁迫作用,而这一胁迫作用主要体现在高压引起的细菌细胞膜不可逆破损。压力越高,胁迫作用越强,微生物的致死率越

高^[11]。处理压力为 200 MPa~500 MPa 压力组合时,菌落总数下降 4 个数量级,当压力组合大于 200 MPa~500 MPa 时,单纯的增加压力对于菌落总数数量级变化影响不大,菌落总数的对数曲线也逐渐趋于平缓。这是由于每种菌都有自身的耐压阈值,高压处理后,大部分压力敏感菌灭亡,而少部分耐压菌由于压力远未达到其压力阈值,在有限的范围内即使再升高压力,菌落总数也几乎不会减少。

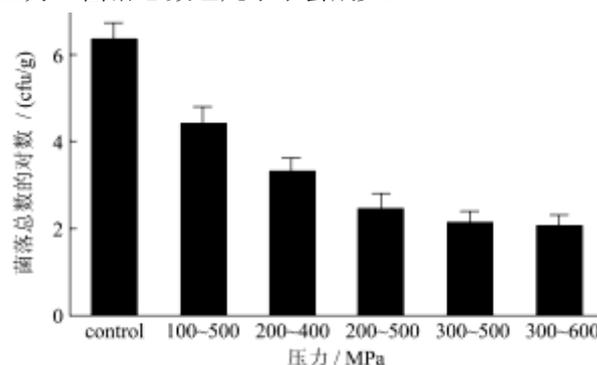


图 1 处理压强对椰肉原浆杀菌效果的影响

Fig.1 Effect of pressure on sterilizing of coconut puree

2.1.2 不同压力组合对椰肉原浆非酶褐变指数、可溶性固形物、过氧化值、pH 值的影响

表 1 不同压力组合对椰肉原浆非酶褐变指数、可溶性固形物、过氧化值、pH 值的影响

Table 1 Effect of different pressure combinations on non-enzymatic browning degree, soluble solids, peroxide value and pH of coconut puree

不同压力组合	非酶褐变指数 A_{420}	可溶性固形物	过氧化值/(mmol/kg)	pH 值
对照	0.18±0.05 ^a	10.58±0.022 ^d	0.86±0.0066 ^c	6.85±0.015 ^c
100 MPa~500 MPa	0.14±0.0015 ^c	10.60±0.032 ^d	0.87±0.0053 ^d	6.86±0.010 ^c
200 MPa~400 MPa	0.15±0.009 ^b	10.66±0.020 ^c	0.88±0.0047 ^c	6.87±0.015 ^{bc}
200 MPa~500 MPa	0.17±0.005 ^b	10.75±0.035 ^b	0.89±0.0047 ^c	6.87±0.010 ^{bc}
300 MPa~500 MPa	0.18±0.007 ^a	10.81±0.031 ^a	0.91±0.0068 ^b	6.89±0.015 ^{ab}
300 MPa~600 MPa	0.17±0.014 ^a	10.85±0.015 ^a	0.94±0.0057 ^a	6.89±0.012 ^a

注:同一列中数值上不同的小写字母上标说明其差异性显著 ($P < 0.05$)。

非酶褐变指数 (A_{420}) 是衡量果蔬汁在杀菌过程中褐变程度的指标, A_{420} 越大,表示褐变反应越严重, A_{420} 越小,表示褐变程度越小。从表 1 可知,经不同压力组合处理后,椰肉原浆的非酶褐变指数较对照组有所降低,对照组为新鲜椰肉。其中 100 MPa~500 MPa 压力组合处理非酶褐变指数最小,较好的保证了椰肉原浆的营养品质,减少了因温度作用而导致椰肉原浆发生褐变效应。冀晓龙^[12]等人对不同杀菌方式对梨枣汁杀菌效果及理化性质的影响进行了研究,结果表明,超高压处理显著降低了梨枣汁的非酶褐变指数,可达到抑制褐变的效果。

椰肉原浆可溶性固形物较对照组有所升高。这可能是由于超高压作用使椰肉组织破碎,内容物溶出,

使其 Brix 增大,并随压力升高破碎作用增强。当压力组合大于 200 MPa~500 MPa 时,可溶性固形物变化不大。这可能由于当压力升高到一定程度时,造成部分易凝聚成分如蛋白、果胶物质凝聚包裹部分溶出物,与压力的破碎作用相抵消, Brix 无明显变化^[12]。

超高压处理组过氧化值较对照组也有所升高,这可能是由于高压可致色素蛋白变性释放出金属离子,而金属离子可以促进脂肪氧化,或是高压使肌纤维系统破坏导致易氧化的脂类物质暴露,从而加速氧化^[13]。当压力大于 200 MPa~500 MPa 时,脂肪氧化程度明显增加。而椰肉原浆的 pH 值较对照组变化不大,无显著性差异。

2.1.3 不同压力组合对椰肉原浆色泽的影响

表 2 不同力组合对椰肉原浆 L*、a*、b*和ΔE*的影响

Table 2 Effect of different pressure combinations on L*, a*, b*,

Δ E value of coconut puree				
不同压力组合/MPa	L*	a*	b*	ΔE
对照	92.62±0.20 ^{bc}	1.13±0.0058 ^b	2.10±0.066 ^{ab}	
100~500	92.84±0.16 ^b	1.12±0.012 ^b	2.11±0.035 ^{ab}	0.18±0.21 ^c
200~400	93.06±0.27 ^b	1.15±0.031 ^{ab}	1.88±0.10 ^c	0.53±0.41 ^{bc}
200~500	94.76±0.16 ^a	1.14±0.01 ^b	2.21±0.23 ^a	2.15±0.14 ^a
300~500	92.20±0.46 ^c	1.18±0.026 ^a	1.71±0.18 ^c	0.69±0.46 ^{bc}
300~600	92.04±0.55 ^c	0.89±0.02 ^c	1.27±0.16 ^d	1.15±0.40 ^b

注：同一列中数值上不同的小写字母上标说明其差异性显著 (P<0.05)。

由表 2 可知，与对照组相比，经超高压处理后椰肉原浆的亮度值 (L*) 有所增加，整体上随压力的增加呈先增大后减小的趋势，而红度值 (a*)、黄度值 (b*) 与 L* 变化相似，即超高压处理能显著增加椰肉原浆的 L*、a* 和 b* 值，这可能是因为超高压处理对椰肉原浆内源酶的钝化作用及高压的均质作用使椰肉原浆细胞内的呈色物质溶出^[13-14]。其中以 200 MPa~500 MPa 处理椰肉原浆的颜色变化最为显著。

因此，综合考虑菌落总数、非酶褐变指数、可溶性固形物、过氧化值、pH 值以及色差值的变化选取 200 MPa~500 MPa 作为最佳处理压力组合。

2.2 不同保压时间对椰肉原浆微生物和品质的影响

表 3 不同保压时间对椰肉原浆非酶褐变指数、可溶性固形物、过氧化值、pH 值的影响

Table 3 Effect of different pressure-holding time on non-enzymatic browning degree, soluble solids, peroxide value and pH of coconut puree

不同保压时间/min	非酶褐变指数 A ₄₂₀	可溶性固形物	过氧化值/(mmol/kg)	pH 值
对照	0.18±0.005 ^a	10.58±0.22 ^c	0.86±0.0066 ^d	6.85±0.015 ^c
5	0.14±0.004 ^d	10.69±0.03 ^d	0.87±0.0043 ^c	6.86±0.015 ^{bc}
10	0.15±0.0066 ^{cd}	10.83±0.031 ^c	0.89±0.0048 ^b	6.88±0.015 ^{ab}
15	0.16±0.01 ^{bc}	10.85±0.036 ^b	0.91±0.0030 ^a	6.89±0.010 ^a
20	0.17±0.0098 ^{ab}	10.91±0.02 ^a	0.92±0.0042 ^a	6.89±0.0058 ^a

注：同一列中数值上不同的小写字母上标说明其差异性显著 (P<0.05)。

由表 3 可知，经不同保压时间处理后，随着保压时间的延长，非酶褐变指数逐渐增大，这可能是因为超高压处理对椰肉原浆中 Vc 和酚类物质的含量有一定的影响，而过长的保压时间会伴随 Vc 的氧化和酚类物质的氧化聚合。可溶性固性物含量有一定的增加，这可能是由于超高压作用使椰肉组织破碎，内容物溶出，使其 Brix 增大。过氧化值也较对照组有所升高，这可能是因为压力组合的作用下，随着保压时间的

2.2.1 不同保压时间对椰肉原浆微生物的影响

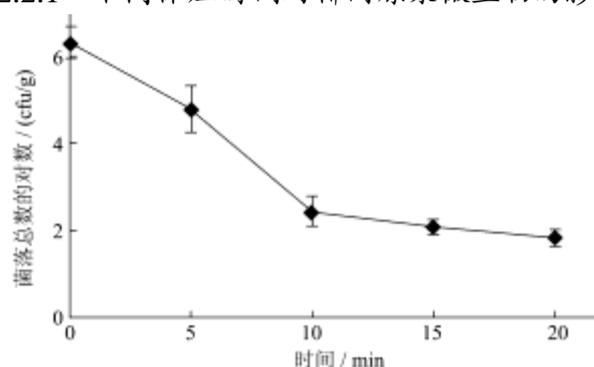


图 2 保压时间对椰肉原浆的杀菌效果影响

Fig.2 Effect of pressure-holding time on the sterilizing of coconut puree

由图 2 可知，相同压力组合 (200 MPa~500 MPa) 和协同温度 (20 °C) 的条件下，随着保压时间的延长，其菌落总数均明显减少。在最初的 10 min 之内，随着保压时间的延长，菌落总数下降速率变大。这是因为，保压时间的延长和间歇式施压方式强化了升压和降压过程中对微生物的特殊胁迫作用，时间越长，胁迫作用越强，微生物的致死率越高。保压时间 10 min 时，菌落总数下降 4 个数量级。当保压时间大于 10 min 时，单纯的延长保压时间对菌落总数的数量级变化不大，菌落总数的对数曲线也趋于平缓。这是因为，大量的压力敏感菌在低压时即可很快被杀灭，剩余的耐压菌在加压压力未达到阈值时，保压时间的延长只能杀灭少量微生物。

2.2.2 不同保压时间对椰肉原浆非酶褐变指数、可溶性固形物、过氧化值、pH 值的影响

不断延长，释放出的金属离子或是暴露出的脂类物质加速氧化。而 pH 值较对照组变化不大，无显著性差异。

2.2.3 不同保压时间对椰肉原浆色泽的影响

由表 4 可知，与对照组相比，经超高压处理后椰肉原浆的亮度值 (L*) 有所增加，但随着保压时间的不断增加呈先增大后减小的趋势，而红度值 (a*)、黄度值 (b*) 与 L* 变化相似，这可能是因为超高压处理对

椰肉原浆内源酶的钝化作用及高压的均质作用使椰肉原浆细胞内的呈色物质溶出,但随着保压时间的延长,未被完全钝化的内源酶可引起酶促反应,从而导致椰肉原浆色泽发生变化^[14]。当保压时间 20 min 时,对椰肉原浆色泽影响最大。

表 4 不同保压时间对椰肉原浆 L*、a*、b*和ΔE的影响
Table 4 Effect of different pressure-holding time on L*, a*, b*, ΔE value of coconut puree

不同保压时间/min	L*	a*	b*	ΔE
对照	92.62±0.20 ^a	1.13±0.0058 ^b	2.10±0.066 ^{ab}	
5	93.00±0.27 ^a	1.16±0.020 ^a	1.84±0.10 ^{bc}	0.54±0.33 ^b
10	92.91±0.16 ^a	1.00±0.017 ^d	2.23±0.12 ^a	0.41±0.26 ^b
15	92.86±0.74 ^a	1.16±0.012 ^a	1.64±0.0058 ^c	0.87±0.22 ^b
20	91.12±0.16 ^b	1.09±0.025 ^c	1.65±0.34 ^c	1.60±0.31 ^a

注:同一列中数值上不同的小写字母上标说明其差异性显著(P<0.05)

因此,综合考虑菌落总数、非酶褐变指数、可溶性固形物、过氧化值、pH 值以及色差值的变化选取 10 min 作为最佳保压时间。

2.3 不同协同温度对椰肉原浆微生物和品质的影响

2.3.1 不同协同温度对椰肉原浆微生物的影响

表 5 不同协同对椰肉原浆非酶褐变指数、可溶性固形物、过氧化值、pH 值的影响

Table 5 Effect of different processing temperatures on non-enzymatic browning degree, soluble solids, peroxide value and pH of coconut puree

不同协同温度/℃	非酶褐变指数 A ₄₂₀	可溶性固形物	过氧化值/(mmol/kg)	pH 值
对照	0.18±0.005 ^a	10.58±0.022 ^e	0.86±0.0066 ^e	6.85±0.015 ^c
25	0.18±0.0075 ^a	10.63±0.02 ^d	0.89±0.0086 ^d	6.86±0.0058 ^{bc}
35	0.19±0.0042 ^a	10.72±0.03 ^c	0.93±0.0046 ^c	6.88±0.0058 ^{ab}
45	0.19±0.0061 ^a	10.78±0.03 ^b	0.98±0.0039 ^b	6.89±0.010 ^a
55	0.19±0.0045 ^a	10.83±0.02 ^a	1.02±0.0028 ^a	6.89±0.0072 ^a

注:同一列中数值上不同的小写字母上标说明其差异性显著(P<0.05)。

由表 5 可知,随着协同温度的升高,非酶褐变指数有一定的增加但变化不明显。这可能是因为温度的升高,加快了部分 Vc 的氧化和酚类物质的氧化聚合。此外,随着温度的升高椰肉原浆中的可溶性固形物含量也不断增大,其中,协同温度 55℃时,可溶性固形物最大。这可能是因为温度的升高对椰肉原浆组织内容物质溶出有一定的促进作用。过氧化值与可溶性固形物变化相似,这可能是因为因为在一定压力作用下,随着温度的升高,加剧了脂肪的氧化程度。而 pH 值较

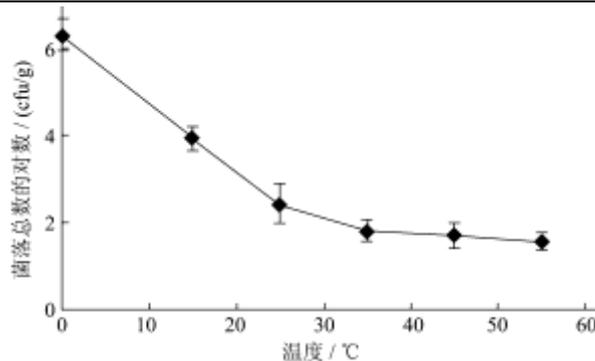


图 3 协同温度对椰肉原浆杀菌效果的影响

Fig.3 Effect of processing temperature on the sterilizing of coconut puree

由图 3 可知,相同压力组合(200 MPa~500 MPa)和保压时间(10 min)的条件下,随着协同温度的不断升高,椰肉原浆的菌落总数也在不断下降。协同温度 35℃时,菌落总数下降 5 个数量级。这是因为,温度的升高和间歇式施压方式强化了升压和降压过程中对微生物的特殊胁迫作用,增大了芽孢细胞壁内外的压力差,加快了水分向细胞壁和细胞膜的渗透,并导致水分粘度与表面张力的下降及其它物理变化,从而强化了对芽孢的破坏能力。当协同温度大于 35℃时,椰肉原浆的菌落对数曲线也趋于平缓,微生物存活量不再随温度的升高而发生显著变化。

2.3.2 不同协同温度对椰肉原浆非酶褐变指数、可溶性固形物、过氧化值、pH 值的影响

2.3.3 不同协同温度对椰肉原浆色泽的影响

由表 6 可知,与对照组相比,随着协同温度的不断升高椰肉原浆的亮度值(L*)有所下降,而红度值(a*)、黄度值(b*)变化相似,这可能是因为超高压处理使椰肉原浆原本被区域化的酶和底物接触,导致与颜色变化相关的酶促反应的发生^[13-14]。而温度的升高又会加剧椰肉原浆的非酶褐变。其中,以 55℃处理椰肉原浆的颜色变化最为显著。

表 6 不同协同温度对椰肉原浆 L*、a*、b*和ΔE的影响

Table 6 Effect of processing temperatures on L*, a*, b*, ΔE value of coconut puree

不同协同温度/°C	L*	a*	b*	ΔE
对照	92.62±0.20 ^a	1.13±0.0058 ^{ab}	2.10±0.066 ^a	
25	92.45±0.37 ^b	1.12±0.046 ^b	1.88±0.082 ^b	1.69±0.17 ^c
35	90.04±0.44 ^c	1.07±0.053 ^{bc}	2.15±0.082 ^a	2.58±0.61 ^b
45	89.68±0.24 ^c	1.18±0.026 ^a	1.27±0.15 ^c	3.04±0.38 ^b
55	88.85±0.46 ^d	1.01±0.039 ^c	1.16±0.03 ^c	3.88±0.42 ^a

注：同一列中数值上不同的小写字母上标说明其差异性显著

著 (P<0.05)。

因此，综合考虑菌落总数、非酶褐变指数、可溶性固形物、过氧化值、pH 值以及色差值的变化选取 35 °C 作为最佳协同温度。

2.4 椰肉原浆超高压杀菌条件的优化

由 2.1.1~2.1.3 单因素试验确定对超高压杀菌效果影响显著的因素及水平值，以菌落总数、非酶褐变指数、可溶性固形物、色泽以及过氧化值为检测指标，设计 3 因素 3 水平正交试验。正交试验因素水平与直观分析表见 7。

表 7 正交实验因素水平与直观分析表

Table 7 The orthogonal factors level and intuitive analysis table

实验号	因素			菌落总数 (CFU/g)	褐变指数 A ₄₂₀	可溶性 固形物	色差值 ΔE	过氧化值 (mmol/kg)
	A(压力组合 /MPa)	B(协同温 度/°C)	C(保压时 间/min)					
1	1 (200~450)	1(30)	1(8)	2.82×10 ³	0.15	10.69	0.21	0.87
2	1	2(35)	2(10)	1.43×10 ³	0.16	10.74	0.52	0.89
3	1	3(40)	3(12)	6.02×10 ²	0.17	10.80	1.10	0.93
4	2(200~500)	1	2	1.12×10 ²	0.15	10.76	0.087	0.88
5	2	2	3	5.70×10	0.17	10.78	0.34	0.91
6	2	3	1	7.00×10	0.17	10.81	0.96	0.94
7	3(200~550)	1	3	1.07×10 ²	0.16	10.79	0.84	0.90
8	3	2	1	8.50×10	0.17	10.83	0.68	0.92
9	3	3	2	5.90×10	0.17	10.85	1.34	0.96

菌落总数	k ₁	1617.30	1013.00	991.70				
	k ₂	79.70	524.00	533.70				
	k ₃	83.70	243.70	255.30	A>B>C			
	R ₁	1527.60	769.30	736.40				

褐变指数	k ₁	0.16	0.15	0.17				
	k ₂	0.16	0.16	0.16				
	k ₃	0.17	0.17	0.17	B>A=C			
	R ₂	0.010	0.020	0.010				

可溶性固形物	k ₁	10.74	10.75	10.77				
	k ₂	10.78	10.79	10.78				
	k ₃	10.82	10.82	10.79	A>B>C			
	R ₃	0.080	0.070	0.020				

色差值	k ₁	0.61	0.38	0.62				
	k ₂	0.46	0.51	0.65				
	k ₃	0.95	1.13	0.76	B>A>C			
	R ₄	0.49	0.75	0.14				

过氧化值	k ₁	0.90	0.88	0.90				
	k ₂	0.91	0.91	0.91				
	k ₃	0.93	0.94	0.92	B>A>C			
	R ₅	0.03	0.06	0.02				

由表 7 极差 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_5 可知, 压力组合、协同温度、保压时间对椰肉原浆的杀菌效果及感官品质都有影响, 其中压力组合对菌落总数、可溶性固形物影响显著, 其次是协同温度, 保压时间影响最小, 菌落总数最佳工艺为 $A_2B_3C_3$, 可溶性固形物最佳工艺为 $A_1B_1C_1$ 。协同温度对非酶褐变指数影响显著, 其次是保压时间和压力组合, 而压力组合中 A_1 、 A_2 作用效果相同, 且对非酶褐变指数影响较小, 从低耗角度考虑非酶褐变指数最佳工艺为 $A_1B_1C_2$ 。此外, 协同温度对色差值、过氧化值影响也最为显著, 其次是压力组合, 保压时间影响最小, 色差值最佳工艺为 $A_2B_1C_1$, 过氧化值最佳工艺为 $A_1B_1C_1$ 。

压力组合和协同温度对椰肉原浆杀菌效果和品质影响显著, 从表 7 可以看出, 杀菌效果方面 200 MPa~550 MPa, 40 °C, 10 min 杀菌效果最好, 但品质影响较大; 200 MPa~450 MPa, 30 °C, 8 min 品质最优, 但杀菌效果不显著, 而 200 MPa~500 MPa, 35 °C, 12 min 杀菌效果虽不及 200 MPa~550 MPa, 但品质方面与 200 MPa~450 MPa 相比变化不大。考虑到保压时间对椰肉原浆的杀菌效果和品质影响相对不明显, 从低耗高效角度选择 10 min 作为最优保压时间。

因此, 从杀菌效果和感官品质方面综合分析, 椰肉原浆中温协同超高压处理的最佳因素水平组合为 $A_2B_2C_2$, 即先低压 200 MPa/5 min, 再高压 500 MPa/5 min, 协同温度 35 °C。

2.5 椰肉原浆中温协同超高压处理最佳条件

验证

表 8 不同处理方式对椰肉原浆品质的影响

Table 8 Effect of different treatments on the quality of coconut puree

指标	不同处理方式		
	新鲜椰肉	中温协同超高压处理 $A_2B_2C_2$	巴氏杀菌
菌落总数/(CFU/g)	1.02×10^5	6.30×10^3	5.10×10^3
非酶褐变指数 A_{420}	0.18	0.16	0.23
可溶性固形物	10.58	10.76	9.94
色差值 ΔE	0.00	0.35	2.43
pH 值	6.85	6.88	6.91
过氧化值/(mmol/kg)	0.86	0.89	1.01
蛋白质含量/(10^{-2} g/g)	3.61	3.58	3.50

按照正交试验所得的最佳因素水平组合 $A_2B_2C_2$ 进行平行试验, 并从杀菌效果和感官方面与巴氏杀菌工艺 (85~90 °C 水浴处理 10 min) 进行比较。结果如表 8。

由表 8 可知, 中温协同超高压处理最佳因素水平组合 $A_2B_2C_2$ 进行平行试验, 测得菌落总数为 6.3×10^3 cfu/g, 与巴氏杀菌相比, 具有很好的杀菌效果。在感官品质方面, 经中温协同超高压处理的椰肉原浆的非酶褐变指数、总色差 ΔE 、pH 值、过氧化值、蛋白质含量的变化幅度较巴氏杀菌变化幅度低, 保持了椰肉原浆原有的色香味及品质。

3 结论

3.1 中温协同超高压处理对椰肉原浆中的微生物具有明显的杀灭作用, 且间歇式施压方式强化了升压、降压过程中对微生物的特殊胁迫作用, 压力越高, 时间越长, 温度越高, 微生物的致死率越大。

3.2 中温协同超高压处理对椰肉原浆的非酶褐变指数, 可溶性固形物, 过氧化值、pH 值以及色差值的影响均很小, 与对照组无显著性差异 ($P > 0.05$), 有效地避免了椰肉原浆中营养成分的破坏。

3.3 椰肉原浆超高压最佳杀菌工艺参数为: 先低压 200 MPa/5 min, 再高压 500 MPa/5 min, 协同温度 35 °C。此工艺下, 不仅可有效杀灭椰肉原浆中的腐败微生物, 同时对椰肉原浆的风味、色泽及营养等感官品质指标影响较小, 为椰肉原浆的贮藏保鲜提供理论依据, 促进椰肉加工产业的多元化发展。

参考文献

- [1] 康蕊, 段振华, 高祥雁, 等. 超高压处理对椰肉原浆保鲜的影响 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(7): 134-136
KANG Rui, DUAN Zhen-hua, GAO Xiang-yan, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on fresh-keeping of coconut puree [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(7): 134-136
- [2] 金蓓, 黄梅芳, 何梓鹏, 等. 椰肉蛋白酶解及其产物的抗氧化活性研究 [J]. 现代食品科技, 2013, (8): 1826-1831
JIN Bei, HUANG Mei-fang, HE Zi-peng, et al. Enzymatic hydrolysis of coconut protein and antioxidant activity of the hydrolysates [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, (8): 1826-1831
- [3] 杨晓苗, 阮美娟. 超高压对澄清苹果汁杀菌效果的研究 [J]. 现代食品科技, 2012, (9): 1170-1172
YANG Xiao-miao, RUAN Mei-juan. Bactericidal effect of ultra-high pressure on the clarified apple juice [J]. Modern Food

- Science and Technology, 2012, (9): 1170-1172
- [4] R M Velázquez-Estrada, M. M Hernández-Herrero, B Guamis-López. Impact of ultra high pressure homogenization on pectin methyl esterase activity and microbial characteristics of orange juice: A comparative study against conventional heat pasteurization [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2012, 13: 100-106
- [5] Dong Chen, Huping Xi, Xing feng Guo, et.al. Comparative study of quality of cloudy pomegranate juice treated by high hydrostatic pressure and high temperature short time [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2013, 19: 85-94
- [6] 章中,胡小松,廖小军,等.温压结合超高压处理对芽孢杀灭作用的研究进展[J].*高压物理学报*,2013,27(1):147-152
ZHANG Zhong, HU Xiao-song, LIAO Xiao-jun, et al. Review on sterilization effect of high pressure thermal sterilization on bacterial spores [J].*Chinese journal of high pressure physics*, 2013, 27(1): 147-152
- [7] Francesca Patrignani, Giulia Tabanelli, Lorenzo Siroli, et al. Combined effects of high pressure homogenization treatment and citral on microbiological quality of apricot juice [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2013, 160: 273-281
- [8] Filipa V M Silva, Eng Keat Tan, Mohammed Farid. Bacterial spore inactivation at 45-65 °C using high pressure processing: Study of *Alicyclobacillus acidoterrestris* in orange juice [J]. *Food Microbiology*, 2012, 32: 206-211
- [9] M Igual, F Sampedro, N Martínez-Navarrete. Combined osmodehydration and high pressure processing on the enzyme stability and antioxidant capacity of a grapefruit jam [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 114: 514-521
- [10] Anne Vercammen, Bram Vivijs, Ine Lurquin. Germination and inactivation of *Bacillus coagulans* and *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores by high hydrostatic pressure treatment in buffer and tomato sauce [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2012, 152: 162-167
- [11] 胡菲菲,朱瑞,杨楠,等.胡萝卜中大肠杆菌脉冲式超高压杀菌动力学研究[J].*农业机械学报*,2014,45(1):178-183
HU Fei-fei, ZHU Rui, YANG Nan, et.al. Pulse mode high-pressure destruction kinetics of *E. coli* in carrot juice [J]. *Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(1): 178-183
- [12] 冀晓龙,王猛,李环宇,等.不同杀菌方式对梨枣汁杀菌效果及理化性质的影响[J].*食品与发酵工业*,2013,39(4):91-95
JI Xiao-long, WANG Meng, LI Huan-yu, et.al. Effect of different sterilization methods on physicochemical properties and sterilizing results of pear jujube juice [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2013, 39(4): 91-95
- [13] 刘安军,尚校兰,郑捷,等.超高压与温度协同处理海鲈鱼鱼肠的工艺优化[J].*现代食品科技*,2011,27(9):1090-1094
LIU An-jun, SHANG Xiao-lan, ZHENG Jie, et.al. Optimization of combined processes of ultrahigh pressure and heat sea bass sausages by response surface method [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2011, 27(9): 1090-1094
- [14] Netsanet Shiferaw Terefe, Kerstin Matthies, Lloyd Simons, et.al. Combined high pressure-mild temperature processing for optimal retention of physical and nutritional quality of strawberries (*Fragaria × ananassa*) [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2009, 10: 297-307