

# 超高压处理对鲜切莲藕品质及其贮藏性的影响

汪 薇<sup>1</sup> 李 晓<sup>1</sup> 杨 宏<sup>1,2,3</sup> 严守雷<sup>1,3</sup>

1. 华中农业大学食品科技学院, 武汉 430070;

2. 湖南文理学院水产高效健康生产湖南省协同创新中心, 常德 415000;

3. 华中农业大学环境食品学教育部重点实验室, 武汉 430070

**摘要** 以鲜切莲藕为载体, 研究超高压处理对鲜切莲藕的 Vc、可溶性固形物、菌落总数、质构、多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 活性等各项品质指标及其在贮藏过程中的影响。结果表明: 随着处理压力的增大和保压时间的延长, 莲藕中可溶性固形物、总酚含量基本保持不变 ( $P > 0.05$ ); 还原型 Vc、PPO 的活性、脆度均呈下降趋势 ( $P < 0.05$ )。压力对微生物的影响效果比较显著 ( $P < 0.05$ ); 随着压力的增加, 灭菌效果越好, 但延长保压时间, 杀菌效果并没有进一步提升。在贮藏期间, 与未经超高压处理的对照组相比, 超高压处理后的鲜切莲藕 Vc 损失程度较小, 可溶性固形物损失逐渐增大, 总酚含量逐渐降低, 而 PPO 活性变化趋势则是先降低后升高, 再逐渐降低; 并且随着贮藏时间的延长, 莲藕的脆度值呈下降趋势,  $L^*$  值下降,  $a^*$  值上升, 总体色差增大。整个贮藏期间 500 MPa 处理的莲藕色差变化最小。总菌落数随贮藏时间的增加而不断增加, 但总体来说压力越大, 微生物增长速度越慢。对超高压处理后莲藕细胞结构进行显微观察, 发现高压处理可以破坏细胞结构, 并且压力越大对细胞结构的破坏作用越明显。

**关键词** 鲜切果蔬; 莲藕; 鲜切莲藕; 超高压处理; 贮藏; 品质

**中图分类号** TS 254.58 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)02-0101-07

随着人们生活水平的提高, 传统的食品热加工方法已经不能完全满足人们对食品高品质的要求。高静压、脉冲电场、紫外、辐照等非热加工技术具有杀菌温度低、能较好地保留食品原有的品质、对环境污染小等优点, 成为食品科学与工程领域的研究热点之一<sup>[1]</sup>。其中, 高静压技术 (high hydrostatic pressure, HHP), 又称超高压 (ultra high pressure, UHP) 技术, 是指在常温或指定温度下, 将经预处理后密封的食品置于压力系统中, 以水或者其他液体作为传压介质, 通常经过 100 MPa 以上压力处理而达到杀菌、灭酶并改善食品的功能特性等效果的食品加工技术, 已被美国农业部食品安全与检查局 (USDA-FSIS) 认证并为消费者接受<sup>[2]</sup>。国外已有很多关于超高压处理对果蔬和果蔬汁品质影响的研究, 日本和欧美等发达国家已有超高压果汁、果酱等高压产品上市<sup>[3-10]</sup>。国内一些研究机构也逐渐开始对这一领域的研究。Neetoo 等<sup>[9]</sup>利用超高压技术处理洋葱, 能有效抑制洋葱中沙门氏菌和大肠杆菌

O157:H7 两种食源性病菌的生长。周春丽等<sup>[11]</sup>研究发现 550 MPa、10 min 的超高压条件处理鲜切南瓜, 可将其中的细菌、霉菌和酵母全部杀死, 且该处理前后鲜切南瓜中的可溶性固形物、总酚含量、特征风味等指标均无显著性差异。朱云龙等<sup>[12]</sup>探究了超高压处理莲藕短时间贮藏品质的变化。但关于超高压技术应用于鲜切莲藕及其在长期贮藏过程中的长程、系统的研究鲜有报道。

鲜切果蔬又称最小加工果蔬 (minimally processed fruits and vegetables), 其生产过程一般要经过分级、清洗、切分、包装、杀菌等工序, 最终产品可供消费者直接食用<sup>[13]</sup>。莲藕 (*Nelumbo nucifera* Gaertn), 睡莲科莲属, 是一种受大众喜爱的水生蔬菜, 具有很高的营养价值和经济价值。中国是世界上莲藕栽培最多的国家, 在我国南方, 特别是湖北、江苏、安徽等地种植面积较大, 目前估计全国栽培面积在 50 万 ~ 70 万  $\text{hm}^2$ , 湖北省的栽培面积在 9 万  $\text{hm}^2$  左右。但由于莲藕自身的生理结构特点,

收稿日期: 2015-08-31

基金项目: “十二五”科技支撑计划项目 (2012BAD27b03); 中央高校基本科研业务费专项 (2013PY096)

汪 薇, 博士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏。E-mail: wangweiwww@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 杨 宏, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工。E-mail: yangh@mail.hzau.edu.cn

如易褐变、不易清洗等,其采后处理与深加工技术成为了制约莲藕产业进一步发展的瓶颈。因此,加强莲藕采后加工处理,提高产品附加值,对于提高莲藕的商品价值以及进一步推进莲藕及其相关制品的产业化发展都有很重要的现实价值。本试验通过测定鲜切莲藕在超高压处理前后维生素 C、固形物含量、PPO 活性、色泽、质构及细菌菌落总数等指标的变化,旨在探寻超高压杀菌技术应用于加工莲藕类产品中的可行性,为该技术的实际应用提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

莲藕(*Nelumbo nucifera* Gaertn),购于华中农业大学农贸市场。草酸、2,6-二氯酚靛酚、没食子酸、乙醇、邻苯二酚、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ 等试剂购自国药集团化学试剂有限公司,分析纯。

### 1.2 仪器与设备

HPP-600Mpa-3L 超高压处理装置,包头科发高压科技有限公司;DZD-400/2S 真空包装机,江苏腾通包装机械有限公司;AB204-S 型分析天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;722 型可见分光光度计,上海光谱仪器有限公司;LB50T 手持糖度计,广州市铭睿电子科技有限公司;UltraScan XE 型色度分析仪,美国 Hunter Lab 公司;Avanti J-E 高速冷冻离心机,美国 Beckman Coulter 公司;TA-XT Plus 质构仪,英国 Stable Micro System 公司;HH-8 数显恒温水浴锅,常州市国华电器有限公司;Leica DME 光学显微镜,上海徕卡显微系统有限公司。

### 1.3 试验方法

1)超高压处理。莲藕试样前处理:莲藕经过清洗、去皮、切片(厚度约 1 cm),沥干后用聚乙烯塑料袋真空密封包装。将样品浸泡于超高压容器的传压介质水中,密闭,分别在 100、200、300、400、500 MPa 压力下处理 10 min,并在 300 MPa 的压力下分别维持 5、10、15、20 min。超高压设备有效容积为 3.0 L,升压速度为 100 MPa/min,解压时间 3 s,压力腔夹套温度设置为 14 °C。将超高压处理前后的样品置于 4 °C 冰箱中贮藏 15 d,每隔 2 d 测定其品质指标的变化情况。

2)营养成分测定。还原型 Vc 含量采用 2,6-二氯酚靛酚法测定;可溶性固形物含量采用折光法测定;总酚含量及多酚氧化酶(PPO)活性采用分光光度法测定<sup>[14]</sup>。

3)色度测定。以色度仪测定藕片的  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$ 。

4)质构测定。采用 TA-XTPlus 质构仪测定超高压处理后藕片中心无空部位的质构。样品的脆度为探头第 1 次下压冲向样品过程中坐标图上的第 1 个明显压力峰值处。质构仪参数设定如下:探头:P/6;实验模式:TPA;测前速度:1.0 mm/s;测中速度:1.0 mm/s;测后速度:5.0 mm/s;压缩比:30%;触发力:5 g。每组平行测定 10 次,取平均值。

5)微生物指标的测定。菌落总数按 GB/T 4789.2—2010 中的方法进行检测。

6)莲藕细胞的显微结构。参考钱文文等<sup>[15]</sup>的方法,并加以改善。取经过不同压力处理过的莲藕组织,用番红固绿进行染色,在光学显微镜( $\times 100$ )下观察,拍照。

### 1.4 数据分析

试验重复 3 次,应用 SAS 9.0 软件和 GraphPad Prism 5 对试验数据进行分析,采用最小显著极差法或 Duncan's 多重进行各数据之间的显著性对比,当  $P < 0.05$ ,为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理压力对鲜切莲藕品质的影响

由表 1 可知,随着处理压力的增大,莲藕中还原型 Vc 的保持率呈现下降趋势但仍维持在较高的水平,可溶性固形物含量基本保持不变( $P > 0.05$ ),总酚含量变化不显著( $P > 0.05$ )。超高压处理后样品 PPO 的活性显著降低( $P < 0.05$ )。经超高压处理后的莲藕,脆度随着压力的升高呈下降趋势。压力对微生物的影响效果比较显著( $P < 0.05$ )。随着压力的增加,灭菌效果越好。当压力增加到 200 MPa(处理 10 min)时,灭菌率达到 95.59%;当压力增加到 400 MPa 以上时,灭菌率达到 99%以上。

### 2.2 不同保压时间对鲜切莲藕品质的影响

由表 2 可知,不同保压时间对于莲藕中还原型 Vc 含量影响不显著( $P > 0.05$ ),还原型 Vc 的保持率均在 85%左右。延长保压时间对莲藕可溶性固形物含量和总酚含量的影响甚微( $P > 0.05$ )。随着保压时间的延长,PPO 活性逐渐降低;但 10 min 后酶活降低幅度减少。保压时间对脆度没有显著性影响( $P > 0.05$ )。超高压处理 5 min 后,总细菌数明显减少,灭菌率高达 96.73%;但延长保压时间,杀菌效果并没有进一步提升。这也说明超高压灭菌主

表 1 不同处理压力对鲜切莲藕品质的影响

Table 1 Effect of different pressures on the quality of fresh-cut lotus root

处理压力/MPa UHP treatment pressure	Vc 保存率/% Vc content	可溶性固形物/ °Brix Soluble solids content	总酚/( $\mu\text{g/g}$ ) Total phenolic content	PPO 活性/U PPO activity	脆度/g Frangibility	总菌落数/(cfu/g) Colonies number
0	100.00 $\pm$ 0.00c	6.93 $\pm$ 0.21a	52.96 $\pm$ 1.79a	28.84 $\pm$ 2.46d	6 412.02 $\pm$ 280.20c	3.7 $\times$ 10 <sup>4</sup> $\pm$ 355e
100	91.99 $\pm$ 15.60b	6.83 $\pm$ 0.35a	50.91 $\pm$ 1.33a	6.00 $\pm$ 0.51b	5 727.45 $\pm$ 520.29b	9.2 $\times$ 10 <sup>3</sup> $\pm$ 143d
200	92.32 $\pm$ 10.64b	7.07 $\pm$ 0.26a	46.22 $\pm$ 1.51a	9.21 $\pm$ 0.82c	5 699.82 $\pm$ 504.75b	1.6 $\times$ 10 <sup>3</sup> $\pm$ 87c
300	86.71 $\pm$ 1.40a	7.12 $\pm$ 0.14a	40.93 $\pm$ 2.09a	11.98 $\pm$ 0.95c	5 185.83 $\pm$ 267.18a	1.0 $\times$ 10 <sup>3</sup> $\pm$ 65b
400	90.71 $\pm$ 9.18b	7.09 $\pm$ 0.32a	39.00 $\pm$ 1.40a	3.63 $\pm$ 0.37a	5 103.22 $\pm$ 172.79a	3.0 $\times$ 10 <sup>2</sup> $\pm$ 25a
500	88.39 $\pm$ 6.67b	6.89 $\pm$ 0.24a	39.07 $\pm$ 1.14a	2.78 $\pm$ 0.11a	5 070.56 $\pm$ 236.72a	2.0 $\times$ 10 <sup>2</sup> $\pm$ 12a

注：不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )，下同。Note: Different letters indicated the mean values were significantly different ( $P < 0.05$ ) and the same below.

表 2 不同保压时间对鲜切莲藕品质的影响

Table 2 Effect of the holding time on the quality of fresh-cut lotus root

处理时间/min Treatment time	Vc 保存率/% Vc content	可溶性固形物/ °Brix Soluble solids content	总酚/( $\mu\text{g/g}$ ) Total phenolic content	PPO 活性/U PPO activity	脆度/g Frangibility	总菌落数/(cfu/g) Colonies number
5	86.71 $\pm$ 4.68a	7.23 $\pm$ 0.32a	49.87 $\pm$ 2.34a	15.60 $\pm$ 1.17b	5 104.56 $\pm$ 131.41a	1.21 $\times$ 10 <sup>3</sup> $\pm$ 137c
10	85.83 $\pm$ 3.74a	7.19 $\pm$ 0.28a	49.23 $\pm$ 1.97a	12.01 $\pm$ 1.04a	5 185.83 $\pm$ 267.18a	1.00 $\times$ 10 <sup>3</sup> $\pm$ 65b
15	84.32 $\pm$ 4.36a	7.18 $\pm$ 0.24a	49.16 $\pm$ 2.12a	11.39 $\pm$ 0.97a	5 215.34 $\pm$ 153.67a	8.82 $\times$ 10 <sup>2</sup> $\pm$ 31a
20	85.03 $\pm$ 3.14a	7.16 $\pm$ 0.36a	49.08 $\pm$ 1.84a	11.21 $\pm$ 0.91a	5 261.76 $\pm$ 238.74a	8.11 $\times$ 10 <sup>2</sup> $\pm$ 29a

要是利用瞬间增压与瞬间卸压过程进行灭菌<sup>[16]</sup>。

### 2.3 超高压处理对鲜切莲藕贮藏过程中营养成分的影响

由图 1 可知，在贮藏期间，还原型 Vc 含量一直呈减少的趋势，但高压处理样品与未经高压处理样

品相比，Vc 含量损失较小。贮藏后，300~500 MPa 处理的莲藕 Vc 保持率相对较高，这可能是当压强增加到一定范围时 ( $\geq 300$  MPa)，钝化了 Vc 氧化酶活性，还原型 Vc 含量下降较慢，保存率相对较高。随着贮藏时间的增加，莲藕中可溶性固形物含

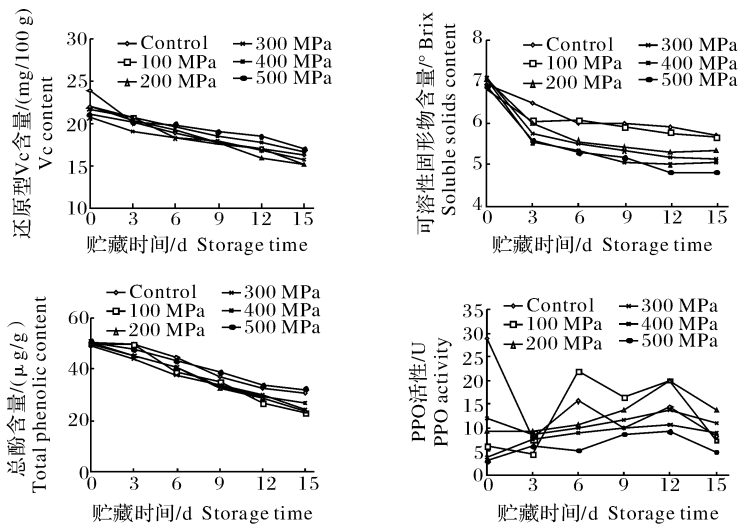


图 1 超高压处理对鲜切莲藕贮藏期间营养成分的影响

Fig. 1 Effect of UHP treatment on nutrient content of fresh-cut lotus roots during storage

量均呈下降的趋势,并且随着处理压力的增大,可溶性固形物降低的程度越大。各处理样品在贮藏期间其总酚含量逐渐下降,这主要是由于酶促褐变的消耗引起的。随着褐变程度的加深,酚类物质不断被氧化而减少。结合压力对 PPO 活性的影响可以看出,较低压力对于酶活性的抑制是可逆的。而 100 MPa 处理后的样品酶活性的迅速上升则可能是由于解除压力后酶活性的回复所导致,此时,酚类物质的酶促褐变仍然处于较高水平。400 MPa 与 500 MPa 处理后的样品酶活性在贮藏期一直较低,且无较大的波动,这说明 PPO 活性得到了较好的抑制,酚类物质的含量也相对较高。

### 2.4 超高压处理对鲜切莲藕贮藏过程中质构和色泽的影响

超高压处理对莲藕贮藏期间质构及色泽的影响

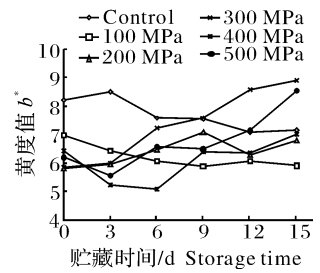
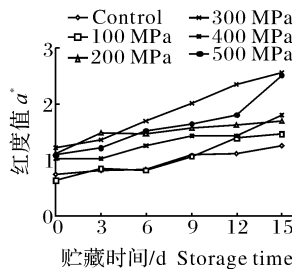
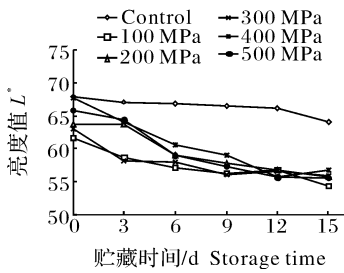


图 3 超高压处理对鲜切莲藕贮藏期间色泽的影响

Fig. 3 Effect of UHP treatment on color of fresh-cut lotus roots during storage

### 2.5 超高压处理对鲜切莲藕贮藏过程中微生物生长的影响

从表 3 可以看出,经超高压处理的莲藕中的总菌落数明显少于同期未经高压处理的对照组,并且随着处理压力的增加,抑菌效果越明显。

如图 2 所示,在整个贮藏期 15 d 内,脆度呈下降的趋势。超高压处理对莲藕贮藏期间色泽的影响如图 3 所示。在整个贮藏过程中,莲藕样品的  $L^*$  值逐渐降低, $a^*$  值有所增加,表明莲藕样品在贮藏过程中发生了不同程度的褐变。

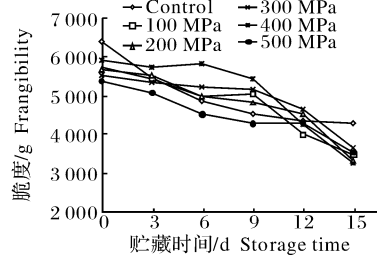


图 2 超高压处理对鲜切莲藕贮藏期间质构的影响

Fig. 2 Effect of UHP treatment on frangibility of fresh-cut lotus roots during storage

### 2.6 超高压处理对鲜切莲藕细胞结构的影响

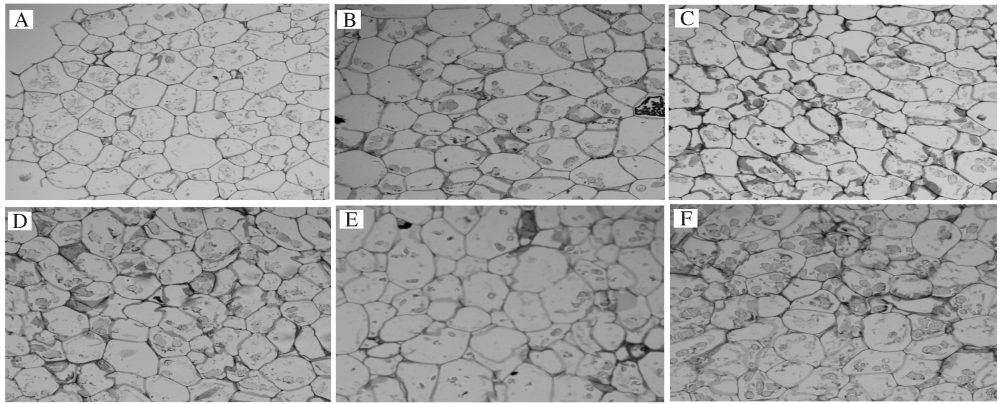
从图 4 可以看出,未经处理的莲藕组织细胞排列有序,细胞与细胞之间连接自然,无积压现象,细胞壁无褶皱,细胞壁染色效果较好。与未经处理的莲藕相比,100 MPa 处理后的细胞有轻微的破坏和

表 3 超高压处理对贮藏期间鲜切莲藕总菌落数的影响

Table 3 Effect of UHP treatment on the total number of bacterial colony of fresh-cut lotus root during storage log(cfu/g)

贮藏时间/d Storage time	处理压力/MPa Pressure					
	对照 Control	100	200	300	400	500
0	4.57	3.99	3.20	3.00	2.48	2.30
3	5.40	5.20	4.70	3.89	3.70	2.30
6	7.08	6.36	5.96	4.50	3.73	2.30
9	—	—	6.33	5.28	5.20	5.11
12	—	—	—	6.38	6.28	6.32
15	—	—	—	—	—	6.40

注:“—”表示多不可计。条件均为 4 °C 下,保持压力 10 min 的超高压处理。Note:“—” indicated can not to count. All the ultrahigh pressure processing conditions were under 4 °C and kept the pressure 10 min.



注 Note: A: 未处理莲藕细胞 No treatment lotus root tissue; B: 100 MPa 下处理 10 min 莲藕细胞 100 MPa treatment for 10 min; C: 200 MPa 下处理 10 min 莲藕细胞 200 MPa treatment for 10 min; D: 300 MPa 下处理 10 min 莲藕细胞 300 MPa treatment for 10 min; E: 400 MPa 下处理 10 min 莲藕细胞 400 MPa treatment for 10 min; F: 500 MPa 下处理 10 min 莲藕细胞 500 MPa treatment for 10 min.

图 4 超高压处理后鲜切莲藕的细胞显微结构图(100×)

Fig. 4 Microscopy images of fresh-cut lotus root tissue for pressure-treated samples(100×)

紊乱,细胞间有轻微的挤压现象。200~300 MPa 处理后细胞开始变得疏松、不规则,挤压现象比较明显。400~500 MPa 处理的细胞变得更加疏松,细胞形态毫无规则,细胞呈现挤压坍塌状,细胞壁着色强度降低,意味着细胞挤压严重,细胞壁增厚。这也可能是由于压力逐渐增大,分布在细胞膜上的张力和细胞壁上的压力逐渐增大,使得细胞壁着色变浅<sup>[11-12]</sup>。

### 3 讨 论

由于 Vc 本身性质极不稳定,高压处理后莲藕 Vc 损失的原因可能是压力引起 Vc 的氧化降解<sup>[14]</sup>。此外,高压造成莲藕组织破坏,水溶性 Vc 也可能随着水分的流失而溢出。也有学者认为 Vc 含量的减少是由于在超高压处理时,将外界的氧气压入了食品体系中,使食品体系的活性氧增加,并加速了其 Vc 的接触,使 Vc 发生了氧化<sup>[17]</sup>。超高压处理后糖、维生素、多酚等营养物质的变化是一个较为复杂的过程,由于超高压处理是“冷杀菌”过程,相对于传统热加工来说,超高压不会对食品中的小分子化合物有明显破坏作用。酚类物质是植物体内一种次生代谢产物,极易在酚酶作用下氧化,引起色泽改变,其含量多少直接影响到产品的褐变程度。PPO 是莲藕中存在的一类含铜的末端氧化酶。它催化天然底物酚类化合物,使其发生氧化而形成棕褐色的醌

类物质,然后再经非酶促聚合,形成深色物质(羟醌与黑色素等)。

本试验超高压采用的是静态杀菌,升压后在一定的压力下维持一定时间。大多数的微生物经过 100 MPa 以上加压处理即会死亡,细菌、霉菌、酵母的营养体在 300~400 MPa 压力下可被杀死<sup>[18]</sup>。本研究表明,超高压抑菌作用很明显,特别是当处理压力达到 400 MPa 以上时。超高压灭菌通常被认为是压力对微生物的致死作用,升压后在一定的压力下维持一定时间,起到“冷杀菌”的作用。在加压过程中,高压使微生物体积变小,其中一部分微生物由于细胞膜被挤压而死亡;在瞬间卸压时,微生物细胞内外产生瞬间的压力差,细胞内压远大于细胞外压,使微生物细胞瞬间膨胀而死<sup>[18-19]</sup>。超高压可以破坏细菌的细胞壁和细胞膜,抑制酶的活性和 DNA 等遗传物质的复制,破坏蛋白质氢键、二硫键和离子键的结合,使蛋白质四维立体结构崩溃,基本物性发生变异,产生蛋白质的压力凝固及酶的失活,最终造成微生物的死亡<sup>[18]</sup>。另一方面,由于高压处理时料温也会随着压力的增加而升高,通常高压处理每增加 100 MPa 压力,温度就会升高 2~4 °C,故近年来也认为超高压对微生物的致死作用是压缩热和高压联合作用的结果<sup>[4,6,19]</sup>。另外,压力对微生物的抑制作用还可能是由于压力引起主要代谢酶或蛋白质的失活<sup>[8-9]</sup>。

果蔬的脆度与果胶、纤维素和半纤维素存在形态及含量有很大的关系,而引起果实软化的酶主要是果胶酯酶、聚半乳糖醛酸酶、纤维素酶等。当原果胶在果胶酯酶的作用下逐渐转化为可溶性果胶,并与纤维素分离,引起细胞间结合力下降,导致果蔬脆度减小。高压处理能在一定程度上抑制果胶酯酶的活性,从而减缓了贮藏过程中莲藕脆度的下降<sup>[11-12]</sup>。由于植物组织的褐变反应与PPO的活性有关,酶活性高,则褐变加剧<sup>[11]</sup>。超高压处理后PPO活性降低,则色差变化相对较小。当处理压力为500 MPa时,由于PPO活性得到了显著抑制,因此,其色差变化最小。高压处理会破坏细胞结构,不同高压处理对细胞结构的影响程度不同,压力越大对细胞结构影响越大<sup>[2,13]</sup>。超高压处理能在达到抑菌、灭酶(PPO)的同时,有效地保存莲藕的营养成分(Vc、可溶性固形物等)。在贮藏期间,经超高压处理的莲藕样品也显示出其优越性。超高压处理可以起到良好的杀菌效果,最大程度地保持莲藕的营养价值,说明超高压技术可以应用于莲藕的保鲜加工,但还存在问题亟待解决,如较高的压力会影响莲藕的质构等。

## 参 考 文 献

- [1] 张甫生,李蕾,陈芳,等. 非热加工在鲜切果蔬安全品质控制中的应用进展[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 329-334.
- [2] RAWSON A, PATRAS A, TIWARI B K, et al. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: review of recent advances[J]. Food Research International, 2011, 44(7): 1875-1887.
- [3] NEETOO H, YE M, CHEN H. Potential application of high hydrostatic pressure to eliminate *Escherichia coli* O157:H7 on alfalfa sprouted seeds[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 128(2): 348-353.
- [4] HUANG Y, YE M, CHEN H. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. in strawberry puree by high hydrostatic pressure with/without subsequent frozen storage[J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 160(3): 337-343.
- [5] YE M, HUANG Y, GURTLE J B, et al. Effects of pre- or post-processing storage conditions on high-hydrostatic pressure inactivation of *Vibrio parahaemolyticus* and *V. vulnificus* in oysters[J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 163(2/3): 146-152.
- [6] LI X, CHEN H, KINGSLEY D H. The influence of temperature, pH, and water immersion on the high hydrostatic pressure inactivation of GI. 1 and GI. 4 human noroviruses[J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 167(2): 138-143.
- [7] NEETOO H, CHEN H. Inactivation of *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 on artificially contaminated alfalfa seeds using high hydrostatic pressure[J]. Food Microbiology, 2010, 27(3): 332-338.
- [8] NEETOO H, CHEN H. Individual and combined application of dry heat with high hydrostatic pressure to inactivate *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 on alfalfa seeds[J]. Food Microbiology, 2011, 28(1): 119-127.
- [9] NEETOO H, NEKOOZADEH S, JIANG Z, et al. Application of high hydrostatic pressure to decontaminate green onions from *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7[J]. Food Microbiology, 2011, 28(7): 1275-1283.
- [10] ABID M, JABBAR S, HU B, et al. Synergistic impact of sonication and high hydrostatic pressure on microbial and enzymatic inactivation of apple juice[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 59(1): 70-76.
- [11] 周春丽,刘伟,袁驰. 高静压处理对鲜切南瓜杀菌效果与品质的影响[J]. 农业机械学报, 2014, 45(6): 227-236.
- [12] 朱云龙,陈亭. 超高压处理对莲藕品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(21): 84-87.
- [13] RAMOS B, MILLER F A, BRAND O T R S, et al. Fresh fruits and vegetables: an overview on applied methodologies to improve its quality and safety[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013, 20: 1-15.
- [14] ZHOU C L, LIU W, ZHAO J, et al. The effect of high hydrostatic pressure on the microbiological quality and physical-chemical characteristics of Pumpkin (*Cucurbita maxima* Duch.) during refrigerated storage[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 21: 24-34.
- [15] 钱文文,李洁,王清章. 不同品种莲藕淀粉的颗粒形态及流变特性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 195-199.
- [16] POLYDERA A C, STOFOROS N G, TAOUKIS P S. Comparative shelf life study and vitamin C loss kinetics in pasteurised and high pressure processed reconstituted orange juice[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 60(1): 21-29.
- [17] 张海峰,白杰,刘姗姗. 超高压对食品中微生物的影响[J]. 农业科学研究, 2008, 29(2): 25-28.
- [18] 王硕,黄薇,王金荣,等. 食品非热加工技术——超高压在蛋白质和淀粉改性中的应用[J]. 中国食品学报, 2015, 15(6): 1-13.
- [19] 黄琴,贺雅非,龚霄. 超高压灭菌技术及其在食品工业中的应用[J]. 四川食品与发酵, 2008, 44(3): 46-50.

## Effects of ultra high hydrostatic treatment on the quality of fresh-cut lotus roots during storage

WANG Wei<sup>1</sup> LI Xiao<sup>1</sup> YANG Hong<sup>1,2,3</sup> YAN Shoulei<sup>1,3</sup>

1. *College of Food Science & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*

2. *Hunan Collaborative Innovation Center for Aquatic Efficient Health Production, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China;*

3. *Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

**Abstract** Fresh-cut lotus roots were used to study the effects of ultra high hydrostatic treatments on the quality of lotus roots during storage. With the increase of pressure and holding time of extending, soluble solid and total phenol had little changes. The content of ascorbic acid, the activity of PPO and the frangibility of lotus roots decreased significantly ( $P < 0.05$ ). The high hydrostatic pressure treatment significantly inhibited the microbial growth ( $P < 0.05$ ). The sterilization effect was not increased with the prolonging of holding time, indicating that the instant pressurization and instantaneous unloading process played an important role in ultra high pressure sterilization. Further studies of ultra high pressure treatment on fresh-cut lotus root showed that the loss of Vc under UHP treatment was lower than that of the control but the soluble solids loss increased gradually during storage. The color of lotus root changed little. The high hydrostatic pressure treatment inhibited the PPO activity and the microbial growth. It was clearly demonstrated under the microscope that the high pressure damaged the cell structure of lotus root.

**Keywords** fresh-cut fruits and vegetables; lotus root; fresh-cut lotus root; high hydrostatic pressure; storage; quality

(责任编辑:陆文昌)