

# 超高压处理对烟熏切片火腿保质期的影响

韩衍青<sup>1</sup>, 张秋勤<sup>1</sup>, 徐幸莲<sup>1\*</sup>, 周光宏<sup>1</sup>, 徐宝才<sup>2</sup>, 刘军昌<sup>2</sup>

(1. 南京农业大学教育部肉品加工与质量控制重点实验室, 南京 210095;

2. 江苏雨润食品产业集团技术中心, 南京 210041)

**摘要:** 为揭示超高压处理后烟熏切片火腿中微生物、理化及感官指标的变化情况, 探寻超高压杀菌应用在肉制品保鲜中的可行性, 该研究以 400 MPa 和 600 MPa 的压力在 12℃ 时对切片包装后的烟熏火腿进行 10 min 超高压处理, 与未经高压处理作对照, 4℃ 贮藏条件下, 于 0、2、4、6、8、10、12、14 周测定处理后样品中的菌落总数、乳酸菌、肠杆菌及耐冷菌, 同时对处理后样品的脂肪氧化值、色差值、水分活度等理化指标以及部分感官指标的变化进行了评定。试验结果表明: 超高压处理对烟熏切片火腿腐败微生物具有较强的抑制作用, 并随压力的升高, 抑制效应增强。由于乳酸菌的繁殖, 对照组 2 周后发生腐败变质, 而经 400 MPa 和 600 MPa 高压处理组产品保质期分别延长至第 8 和 10 周。压力处理能够抑制烟熏切片火腿中的乳酸菌, 使其处于相当长的低水平期 ( $<10^4$  cfu/g), 促使耐冷菌和肠杆菌失去原有竞争能力, 致使整个贮藏期内肠杆菌数低于  $10^2$  cfu/g。超高压处理能够导致样品 pH 值的显著上升, 感官评定认为处理后的样品硬度稍有降低, 其他感官指标没有显著变化。包装后采用超高压处理能够有效抑制烟熏切片火腿中的腐败微生物, 进一步延长该类肉制品的保质期。

**关键词:** 超高压处理, 理化性质, 微生物, 切片火腿, 保质期

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.054

中图分类号: TS251

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-8-0305-07

韩衍青, 张秋勤, 徐幸莲, 等. 超高压处理对烟熏切片火腿保质期的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 305—311.  
Han Yanqing, Zhang Qiuqin, Xu Xinglian, et al. Effect of high pressure processing on refrigerated shelf-life of sliced smoked cooked ham[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 305—311. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

超高压抑菌(灭菌)是依靠强大的外部作用力来实现对微生物的致伤(致死)效应, 属于单纯的物理作用, 对食品风味物质不造成任何影响, 能够很好的保持食品的色香味型<sup>[1-3]</sup>。烟熏切片火腿是一类低温加工的西式肉制品, 与传统高温蒸煮产品不同, 该产品独特的加工工艺科学的保证了其营养价值及烟熏风味, 目前市场占有率很高, 但由于蒸煮温度在 68~72℃ 左右, 蒸煮后进行切片工序, 致使这类产品保质期很短, 在低温条件下(4~8℃)只有 15 d 左右, 延长这类制品的货架期是目前肉制品保鲜行业迫切需要解决的难题。

研究认为<sup>[4-5]</sup>, 大多数情况下, 食品中只有部分微生物参与腐败过程, 20 世纪 80 年代, Dalgaard 提出了特定腐败菌(specific spoilage organism, SSO)的概念, SSO 在刚加工产品微生物菌丛中的数量少, 但在贮藏中生长比其他微生物快, 并且腐败活性强<sup>[6]</sup>。研究发现<sup>[7-9]</sup>, 切片蒸煮类产品产黏胀袋是由一部分乳酸菌引起的, 主导

腐败的是乳杆菌属和明串珠菌属中的部分菌种, 并且这部分微生物在低温条件下腐败活性依然很强, 学者认为这部分微生物是该产品的 SSO, 针对如何抑制它们, 学者开展了大量的研究。超高压处理(high pressure processing, HPP)应用在肉制品保鲜方面的研究是 20 世纪 90 年代开始的, 由于该技术在室温或接近室温条件下对微生物的显著抑制作用引起人们的广泛关注<sup>[10]</sup>。Carpi 等和 López-Caballero 等将超高压应用于肉制品的研究证实, 经超高压处理后的肉制品保质期得到有效延长, 产品品质变化很小<sup>[11-12]</sup>。Yuste 等采用 500 MPa 压力对包装后的蒸煮香肠处理 10 min, 其中的耐冷菌和乳酸菌均降低了近 4 个对数值, 贮藏 18 周末出现任何腐败迹象<sup>[13]</sup>。Garriga 等选择更高的压力对包装后的切片火腿进行高压处理, 证实该条件(600 MPa, 31℃, 6 min)对乳酸菌有近 6 个对数值的杀灭效果, 同时感官评定结果显示处理组未发生感官改变<sup>[14]</sup>。

国内超高压应用在低温肉制品保鲜方面的研究尚属空白, 本文参考国外研究成果, 选择了 400 MPa 和 600 MPa 的压力条件<sup>[1]</sup>, 对目前市场占有率较高的一种低温肉制品烟熏切片火腿进行超高压处理, 在 4℃ 贮藏条件下定期评定样品的微生物、理化和感官指标, 确定超高压对国内低温肉制品腐败菌的抑制效应, 评定其对肉制品品质指标的影响效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 烟熏切片火腿加工处理流程

收稿日期: 2008-10-15 修订日期: 2009-02-28

基金项目: 国家支撑计划课题低温肉制品开发及产业化示范(2006BAD05A15)

作者简介: 韩衍青(1984—), 男, 山东邹城人, 研究方向为肉品质量控制。南京卫岗 1 号 南京农业大学肉类研究室, 210095。

Email: yqhan1984@yahoo.com.cn

\*通信作者: 徐幸莲(1962—), 女, 江苏吴江人, 教授, 博士生导师, 研究方向为畜产品加工与质量控制。南京卫岗 1 号 南京农业大学肉类研究室, 210095。Email: xlxu@njau.edu.cn

配料（香辛料和腌制剂）→ 均质

↓

冻藏猪后腿肉 → 解冻 → 修整 → 注射腌制 → 滚揉  
→ 冷却 → 灌装 → 蒸煮烟熏 → 冷却过夜 → 切片 →  
真空包装 → 超高压处理 → 冷藏

#### 1.1.1 切片

加工过程在江苏雨润食品产业集团第一生产车间实施，加工中正常添加亚硝酸盐（每 400 kg 原料肉中亚硝酸钠 40 g，其中注射率为 44%，即添加量约合  $7 \times 10^{-5}$ ），蒸煮温度 72℃，切片按车间正常工序进行，每片厚 0.5 cm，质量为 15~17g。

#### 1.1.2 包装

包装材料选用聚酰胺/聚乙烯包装袋，20℃时的透氧率  $1 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。每 6 片一个包装（每袋 100 g），共 180 袋左右。样品放入盛有碎冰的泡沫箱中运往实验室，每袋样品采用真空包装机进行二次包装（DZQ-5002SB，上海圣松：真空度 0.1 MPa，抽空时间 30 s，热封温度 90℃，热封时间 5 s），以供高压处理，包装材料为 125 mm × 334 mm 型耐压包装袋（北京华盾塑料有限公司），包装完成后随机分作 3 组，每组 60 袋左右。产品从出厂到二次包装完成不超过 1 h。

#### 1.1.3 超高压处理

高压处理分为：400 MPa，10 min；600 MPa，10 min；和对照组（non-treated，NT 组）。超高压处理装置为包头科发高新技术食品机械公司制造的 UHPF/2L/800 MPa 型食品高压设备。最高工作压力为 700 MPa，升压速度约 50 MPa/s，卸压速度约 100 MPa/s，处理时间不包括升压和卸压的时间。传压介质为葵二酸二辛酯液压油，处理前油温 12℃，处理时油温会上升，升压至 400 MPa 油温 20℃左右，600 MPa 时 24℃左右，处理后油温降低至 14℃左右。完成后用自来水清洗样品表面油质（水温 10℃左右）。

#### 1.1.4 贮藏与取样

处理后的样品冷藏于 4℃冷库，根据试验要求取样，其中对照组前期分析每周取样，高压处理组隔周取样。各指标测定均取自同袋产品，每个处理取样 3 袋进行测定。

### 1.2 微生物分析

包装切片火腿经击碎、混匀（袋内完成），无菌取样 25 g，稀释于 225 mL 0.1%蛋白胨-0.85%生理盐水中，三角烧瓶内预置灭菌玻璃珠，280 r/min 摇床 2 min，一系列 10 倍稀释。根据预试验结果每期试验选择适当 3 个稀释度进行平板计数操作，每个稀释度做 2 个重复，各菌计数操作按照 GB4789.2—2003《食品卫生微生物菌落总数检测》进行，微生物培养条件及选择性培养基参考国外相关文献并列于表 1。

表 1 烟熏切片火腿腐败微生物培养条件

Table 1 Incubation conditions of spoilage microorganisms in sliced cooked ham

微生物种类	培养基	购置公司	培养条件
菌落总数	营养琼脂	北京陆桥科技	30℃, 72 h <sup>[14]</sup>
耐冷菌	营养琼脂	北京陆桥科技	7℃, 10 d <sup>[13]</sup>
乳酸菌	MRS 琼脂	Oxiod England	30℃, 72 h, 双层 <sup>[14]</sup>
肠杆菌	肠道菌计数琼脂 (VRBDA)	北京陆桥科技	37℃, 24 h, 双层 <sup>[14]</sup>

### 1.3 pH 值与 $A_w$ 值测定

10 g 碎肉样中加入 90 mL 蒸馏水，混合摇匀，静置 2 min，采用 HI9025c 型 pH 计（Hanna 葡萄牙）测定样品 pH 值，每袋设平行。在水分活度自动分析仪上测定样品  $A_w$  值（TH200 型水分活度测定仪，瑞士 NOVASINA），每个样品设平行。

### 1.4 颜色测定

据 CIE（国际照明委员会）及 GB7921—1987 规定，采用 MINOLTA 公司 CIE-LAB 全自动色差计（CR-400 CHROMA METER），光源为 D<sub>65</sub>（相当于色温为 6 500 K 的白昼光），以标准板标定，测定切片火腿  $L^*$  值（明度，反映色泽的亮度）， $a^*$  值（Hunter 标度中的 a 轴值，正数代表红色，负数代表绿色）， $b^*$  值（Hunter 标度中的 b 轴值，正数代表黄色，负数代表蓝色），同时对处理组和对照组间总色泽差异值 TCD（total color difference）进行评价<sup>[15-16]</sup>，其中

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

颜色测定于感官评定室自然灯光下进行，每袋至少 6 次重复。

### 1.5 脂肪氧化硫代巴比妥酸还原值（TBARS 值）测定

参考白艳红博士论文<sup>[17]</sup>，操作如下：10 g 绞碎肉样，加入 50 mL 7.5% 三氯乙酸（含 0.1% EDTA Na<sub>2</sub>）振摇 30 min，双层滤纸过滤两次，取 5 mL 上清液加入 5 mL 0.02 mol/L 硫代巴比妥酸溶液，90℃水浴保温 40 min，取出冷却至室温（1 h），1 600 r/min 离心 5 min，上清液加入 5 mL 氯仿振摇，静置分层后取上清液，分别在 532 nm 和 600 nm 比色，记录吸收值，每袋设平行样，按下式计算 TBARS 值

$$TBARS=(A_{532}-A_{600})/155 \times 1/10 \times 72.6 \times 100 \quad (2)$$

式中：TBARS——硫代巴比妥酸还原值， $10^{-2} \text{ mg/g}$ ； $A_{532}$ ， $A_{600}$ ——样品 532 nm 和 600 nm 处的吸收值

### 1.6 挥发性盐基氮（TVB-N）测定

按 GB/T 5009.44—2003《肉与肉制品卫生标准的分析方法》进行，采用半微量定氮法测定，每袋设平行。

### 1.7 感官评定

参照 Kotzekidou 和 Bloukas 方法<sup>[18]</sup>，并作部分修改，评定小组由 6 位具有 3 年以上专业经验的本研究室人员组成，自然灯光下进行，每次评定在早上 10 点进行，房间温度控制在 22℃，不同贮藏期样品每位评定人员分配一袋进行评定，评分分两个内容：首先要求评定人员区分 3 种处理后的样品（NT、400 MPa、600 MPa），并说明区分的依据；其次根据烟熏切片火腿评定标准分别对样品的颜色、质地、气味、滋味、硬度 5 个指标进行评分<sup>[19]</sup>，评分分 5 级：5（优 excellent）、4（良 good）、3（中 acceptable）、2（差 fair）、1（劣 unacceptable），评定程序：首先观察样品颜色和质地，然后打开包装袋评判气味，最后取出样品品尝滋味变化。当 3 位以上（包含 3）评定者认为样品不适合食用时，该处理组结束评定。

### 1.8 统计分析

数据统计采用 SAS8.12 进行 ANOVA 单因素方差分析及 Duncan's 多重检验（ $P < 0.05$ ），以均值 ± 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 微生物变化

表 2 和图 1 描述了超高压处理后烟熏切片火腿初始和 14 周贮藏过程中主要腐败微生物的变化情况。总的来说，高压处理对所考察的腐败菌均有不同程度的抑制，600 MPa，10 min 的处理条件基本能够杀灭烟熏切片火腿中所有的肠杆菌，致使其在整个贮藏期内失去原有的生长繁殖能力。高压处理后，微生物表现为一段时间的迟滞生长，之后骤然增长，在较短的时间内样品发生强烈

腐败。施压大小和微生物种类不同，迟滞期也有长有短。相比革兰氏阳性菌，高压对革兰氏阴性菌的抑制更强。

对照组（NT）初始污染菌数较低，其中绝大部分为乳酸菌（表 2），第 2 周菌落总数超过  $10^6$  cfu/g，第 4 周达到  $10^8$  cfu/g（图 1）。超高压处理后，各腐败菌表现出不同程度的存活（表 2），其中，超高压对耐冷菌和肠杆菌抑制效应最强，在所采用的选择性培养基上均未检出二者生长，而乳酸菌却比较耐压，无论是 400 MPa，10 min 还是 600 MPa，10 min 处理都有低于  $10^2$  cfu/g 存活量。

表 2 超高压处理后烟熏切片火腿腐败微生物总数的变化  
Table 2 Counts of spoilage microorganisms in sliced cooked ham after HPP

处理	微生物总数/(log <sub>10</sub> (cfu·g <sup>-1</sup> ))							
	菌落总数		乳酸菌		耐冷菌		肠杆菌	
	处理前	高压后	处理前	高压后	处理前	高压后	处理前	高压后
NT	2.85±0.44	NA	2.31±0.23	NA	2.46±0.11	NA	0	NA
400 MPa	2.24±0.62	<2	2.49±0.56	<2	2.63±0.76	0	0	0
600 MPa	2.31±0.72	<2	2.48±0.68	<2	2.33±0.46	0	0	0

注：NT：未处理 NA：未检验。

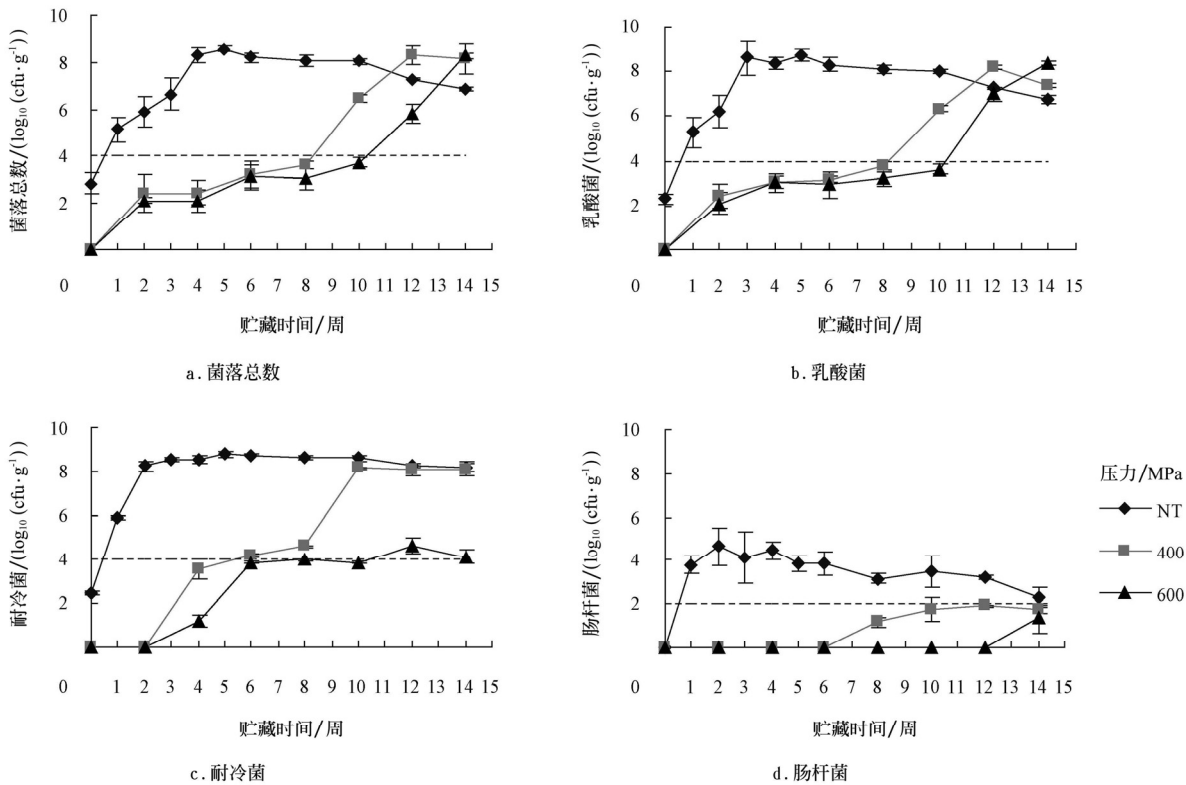


图 1 超高压处理后 4℃ 贮藏过程中烟熏切片火腿微生物的变化  
Fig.1 Changes of microbiological counts in sliced smoked cooked ham during storage at 4℃ after HPP

从整个贮藏过程看，乳酸菌主导着真空包装烟熏切片火腿的菌相，少部分的肠杆菌科细菌也竞争性存在，并且研究证实其对产品腐败起着重要作用<sup>[20]</sup>。贮藏前期，在乳酸菌还未达到绝对优势时，肠杆菌生长迅速，2周达到最大腐败量（ $(4.64\pm0.87)$  log<sub>10</sub> cfu/g），随后数量逐渐减少。高压处理组各菌都受到不同程度的抑制，菌落总数在很长一段贮藏期内均处于低水平（ $<10^4$  cfu/g）。由于初始乳酸菌污染相对较少，超高压处理后其生长缓慢，

在很长一段时期内也保持低于  $10^4$  cfu/g 水平，之后突然增长（图1）。高压对肠杆菌科菌的抑制较强，400 MPa，10 min 处理抑制达 6 周之久，600 MPa，10 min 处理长达 12 周，仅贮藏末期才表现出微弱的增长；并且，经 400 MPa 高压处理后，肠杆菌失去原有的繁殖竞争能力，所达到的最大腐败数较原来低近 3 个对数值（图1）。600 MPa 对其破坏更加严重，整个贮藏期其数量都低于  $10^2$  cfu/g。类似的结果表现在对耐冷菌的抑制，600 MPa 的压力使耐冷

菌一度保持在低于 $10^6$  cfu/g水平。

2.2 pH 值、 $A_w$  值及 TVB-N 值

高压处理后,烟熏切片火腿 pH 值显著上升( $P<0.05$ ) (图 2)。在贮藏阶段由于乳酸菌大量繁殖, pH 值总体呈下降趋势(图 3)。NT 组下降迅速,在前 3 周急剧下降;由于高压对乳酸菌的抑制,高压处理组 pH 值下降缓慢,400 MPa 组第 8 周急剧下降( $P<0.05$ ); 600 MPa 组第 10 周开始下降( $P<0.05$ ),这与图 1 中乳酸菌的生长繁殖情况相吻合。

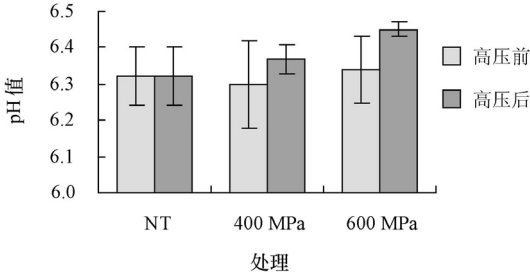


图 2 超高压处理后烟熏切片火腿 pH 值的变化  
Fig.2 Changes of pH value in sliced smoked cooked ham after HPP

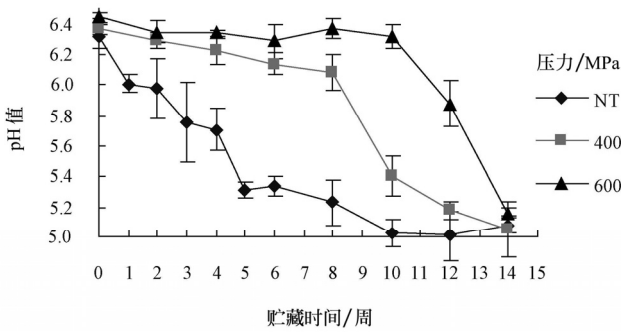


图 3 4℃贮藏过程中烟熏切片火腿 pH 值的变化  
Fig.3 Changes of pH value in sliced smoked cooked ham during storage at 4℃

高压对烟熏切片火腿  $A_w$  值和 TVB-N 值的影响见表 3,在施压前后以及后续贮藏期内,高压处理对  $A_w$  值影响均不显著( $P>0.05$ )。施压前后,压力处理组 TVB-N 值变化不显著( $P>0.05$ ),在贮藏阶段,各处理组 TVB-N 值变化趋势一致。高压处理组前 4 周 TVB-N 值呈略微下降趋势( $P>0.05$ ),第 6 周开始显著上升(600 MPa 组)( $P<0.05$ ),并持续到贮藏末期。贮藏末期 NT 组 TVB-N 值出现了显著降低的趋势( $P<0.05$ )(表 3)。

表 3 超高压处理后及 4℃贮藏过程中烟熏切片火腿  $A_w$  值和 TVB-N 值的变化  
Table 3 Changes of water activity( $A_w$ )and total volatile basic nitrogen(TVB-N)values in sliced smoked cooked ham before/after HPP and during storage at 4℃

贮藏时间/周	$A_w$			TVB-N		
	NT	400 MPa	600 MPa	NT	400 MPa	600 MPa
0	$0.982^a$	$0.986^a$	$0.980^a$	$2.52\pm1.18^{bc}$	$2.85\pm1.76^{bc}$	$2.21\pm1.46^{bc}$
高压后	NA	$0.983^a$	$0.984^a$	NA	$2.82\pm0.94^{bc}$	$2.24\pm0.73^{bc}$
1	NA	NA	NA	$1.85\pm0.44^c$	NA	NA
2	$0.984^a$	$0.980^a$	$0.979^a$	$1.95\pm0.61^c$	$1.85\pm0.84^c$	$1.85\pm0.44^c$
3	NA	NA	NA	$2.14\pm0.93^{bc}$	NA	NA
4	$0.981^a$	$0.983^a$	$0.978^a$	$2.53\pm0.93^{bc}$	$1.46\pm0.58^c$	$1.17\pm0.29^c$
5	NA	NA	NA	$4.18\pm0.12^{bc}$	NA	NA
6	$0.980^a$	$0.979^a$	$0.979^a$	$5.54\pm2.34^{bc}$	$6.71\pm1.17^{ab}$	$3.80\pm0.51^b$
8	$0.983^a$	$0.978^a$	$0.982^a$	$9.14\pm1.95^a$	$6.81\pm0.33^a$	$5.64\pm0.74^a$
10	$0.985^a$	$0.968^b$	$0.983^a$	$7.78\pm0.74^{ab}$	$9.24\pm0.88^a$	$5.64\pm1.21^a$
12	$0.978^a$	$0.980^a$	$0.979^a$	$6.32\pm1.18^{ab}$	$8.76\pm1.05^a$	$5.64\pm1.50^a$
14	$0.975^a$	$0.979^a$	$0.982^a$	$4.87\pm1.94^b$	$5.25\pm1.27^b$	$7.98\pm0.33^a$

注: NT: 未处理, NA: 未检验; A—B: 同行下标不同字母为差异显著 ( $P<0.05$ ); a—c: 同列上标不同字母为差异显著 ( $P<0.05$ )。

2.3 颜色变化

表 4 为各处理组烟熏切片火腿  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 和 TCD 值的变化情况。施压前后,各处理组  $L^*$ 、 $a^*$ 和  $b^*$ 值变化不显著( $P>0.05$ ),400MPa 组和 600MPa 组处理前后总色泽变化值 TCD 值较小,分别为 0.23 和 0.51,在整个贮藏期内,各处理组  $L^*$ 、 $a^*$ 和  $b^*$ 值变化幅度较小,压力处理对烟熏切片火腿色泽影响不大。整个贮藏期内,NT 组由于微生物腐败引起的 TCD 值变化幅度较高压处理组大。

2.4 TBARS 值变化

施压前后,各处理组烟熏切片火腿 TBARS 值变化不显著( $P>0.05$ )(图 4)。

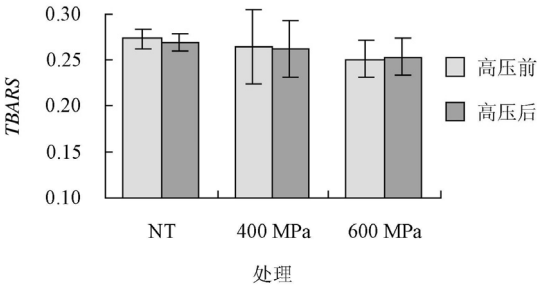


图 4 超高压处理前后烟熏切片火腿 TBARS 值的变化  
Fig.4 Changes of TBARS value in sliced smoked cooked ham before/after HPP and during storage at 4℃

表 4 超高压处理后及 4℃贮藏过程中烟熏切片火腿各颜色指标的变化

Table 4 Changes of colour parameters in sliced smoked cooked ham before/after HPP and during storage at 4℃

贮藏 时间 /周	<i>L</i> <sup>*</sup>			<i>a</i> <sup>*</sup>			<i>b</i> <sup>*</sup>			<i>TCD</i>		
	NT	400 MPa	600 MPa	NT	400 MPa	600 MPa	NT	400 MPa	600 MPa	NT	400 MPa	600 MPa
0	<sub>A</sub> 65.12±1.84 <sup>ab</sup>	<sub>A</sub> 64.27±1.34 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 64.97±2.04 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 17.12±1.62 <sup>b</sup>	<sub>A</sub> 18.27±0.94 <sup>b</sup>	<sub>A</sub> 17.97±3.02 <sup>ab</sup>	<sub>A</sub> 5.46±2.11 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.92±1.56 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.13±1.46 <sup>b</sup>			
高压后	NA	<sub>A</sub> 65.01±2.46 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 65.11±3.01 <sup>a</sup>	NA	<sub>A</sub> 17.01±2.46 <sup>b</sup>	<sub>A</sub> 18.11±2.11 <sup>ab</sup>	NA	<sub>A</sub> 5.53±1.58 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.24±1.73 <sup>b</sup>	0	0.23	0.51
1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
2	<sub>A</sub> 65.64±2.87 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 64.68±1.44 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 64.14±1.22 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 17.54±2.87 <sup>b</sup>	<sub>A</sub> 18.68±1.56 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 18.14±2.22 <sup>ab</sup>	<sub>A</sub> 4.95±3.61 <sup>ab</sup>	<sub>A</sub> 5.85±3.44 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.14±3.93 <sup>b</sup>	0.84	1.73	0.98
3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
4	<sub>A</sub> 64.47±2.41 <sup>ab</sup>	<sub>B</sub> 62.89±3.37 <sup>b</sup>	<sub>A</sub> 65.12±2.12 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 19.46±2.14 <sup>a</sup>	<sub>AB</sub> 17.89±3.67 <sup>b</sup>	<sub>B</sub> 17.12±2.54 <sup>b</sup>	<sub>A</sub> 5.53±2.93 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.46±1.54 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.17±3.29 <sup>b</sup>	2.32	2.00	1.41
5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
6	<sub>A</sub> 67.06±1.55 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 66.34±2.34 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 65.01±2.15 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 18.06±1.35 <sup>ab</sup>	<sub>A</sub> 19.34±2.23 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 19.01±2.41 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.54±2.34 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.71±1.17 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.18±2.12 <sup>b</sup>	2.94	3.75	1.89
8	<sub>B</sub> 62.16±1.27 <sup>c</sup>	<sub>A</sub> 64.12±0.24 <sup>ab</sup>	<sub>A</sub> 64.24±3.01 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 17.16±1.56 <sup>b</sup>	<sub>A</sub> 18.12±4.26 <sup>ab</sup>	<sub>A</sub> 18.24±4.10 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.14±1.95 <sup>ab</sup>	<sub>A</sub> 5.81±3.33 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.64±2.74 <sup>b</sup>	5.00	2.54	1.18
10	<sub>AB</sub> 63.52±2.73 <sup>bc</sup>	<sub>B</sub> 62.22±2.56 <sup>b</sup>	<sub>A</sub> 64.11±0.78 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 17.52±2.73 <sup>b</sup>	<sub>A</sub> 18.22±2.14 <sup>ab</sup>	<sub>A</sub> 18.11±0.28 <sup>ab</sup>	<sub>A</sub> 6.78±0.74 <sup>a</sup>	<sub>B</sub> 5.24±1.88 <sup>a</sup>	<sub>B</sub> 5.64±1.46 <sup>b</sup>	2.16	1.99	0.18
12	<sub>A</sub> 66.19±0.11 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 65.89±4.06 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 65.23±4.90 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 19.19±0.21 <sup>a</sup>	<sub>B</sub> 17.89±4.23 <sup>b</sup>	<sub>AB</sub> 18.28±4.96 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.32±1.18 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.76±1.45 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 5.64±2.50 <sup>b</sup>	3.47	3.72	1.13
14	<sub>B</sub> 62.30±0.46 <sup>bc</sup>	<sub>A</sub> 64.11±3.18 <sup>ab</sup>	<sub>AB</sub> 63.34±2.67 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 18.30±0.47 <sup>ab</sup>	<sub>A</sub> 18.11±3.22 <sup>b</sup>	<sub>A</sub> 18.34±2.88 <sup>a</sup>	<sub>B</sub> 4.87±1.94 <sup>b</sup>	<sub>AB</sub> 5.25±1.57 <sup>a</sup>	<sub>A</sub> 6.98±2.33 <sup>a</sup>	4.02	1.86	2.32

注：NT：未处理，NA：未检验， $TCD=[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2}$ ；A-B：同行下标不同字母为差异显著（ $P<0.05$ ）；a-c：同列上标不同字母为差异显著（ $P<0.05$ ）。

2.5 感官分析

高压处理后，贮藏初期评定者很难对 400 和 600 MPa 组做出区分，其中有 5 位评定人员认为高压处理组样品硬度降低，样品变得柔软，易嚼。随贮藏时间的延长，评定者对各处理组的区分主要依据样品表现的腐败程度。贮藏末期，NT、400 MPa 和 600 MPa 组均出现产酸、产黏和涨袋现象，明显腐败分别在第 2、10 和 12 周感官评定时出现。整个贮藏过程中，各处理组颜色变化不明显，贮藏末期均略显白色并失去光泽。高压处理对烟熏切片火腿滋味影响很小，气味和滋味的变化主要是由于微生物的繁殖。与 Mor-Mur 的研究不同，高压处理后未发现滋味的加强，样品质地均匀度也未发现明显变化<sup>[15]</sup>。

3 讨 论

超高压对食品中微生物的抑制现象很早就被人们揭示，然而超高压对肉制品腐败微生物的抑制情况以及品质变化的研究相对较少。肉类基质在施压时能够为微生物提供一定的保护作用，在脂肪含量高的食品中，这种保护作用一般较高<sup>[10]</sup>，所引发的脂肪氧化现象也会变得突出。然而，对提纯的鱼油高压处理与有鱼肉基质共同存在时的施压处理相比，前种情况却未发现脂肪的氧化现象<sup>[1]</sup>。所以，相比在各种模拟体系中的研究，对真实肉制品施压后品质及腐败微生物的研究更具指导意义<sup>[14]</sup>。

在肉制品腐败的研究中，一些学者认为，蒸煮类肉制品（cooked meat products）的微生物腐败标准应规定在 6 log<sub>10</sub> cfu/g<sup>[21]</sup>，也有学者将其规定在 7 log<sub>10</sub> cfu/g<sup>[22]</sup>，然而按照 GB/T 20711—2006《熏煮火腿》及 GB2726—2005《熟肉制品卫生标准》规定，产品出厂时微生物菌落总数低于 10<sup>4</sup> cfu/g。基于此，本研究规定以菌落总数 10<sup>4</sup> cfu/g 为产品的腐败限，高压处理组各微生物数量一旦超出此限即被认定腐败出现。

本研究中，虽然各处理组最终都出现了该类产品的特征性腐败：产黏、涨袋、酸腐味。然而，相比 NT 组 2 周即出现的腐败现象，400 MPa 组和 600 MPa 组样品却

维持了很长一段微生物低水平期。研究证实，高压对微生物的作用不是一般意义上的杀灭，更确切地讲属于杀灭和抑制共同存在的致伤作用，尤其是对革兰氏阳性菌，经过一段时期的修复，受伤微生物又能恢复生长繁殖能力，导致腐败的继续<sup>[23-25]</sup>。本研究中高压处理组表现出的很长一段时间微生物迟滞期以及再度繁殖情况可能是由于肉质本身提供的保护（处理前）和修复环境（处理后），使受伤害程度不同的微生物经过不同时间的修复，重新繁殖。然而，由表 2 结果知，这部分受伤害程度较大的微生物却不能由培养的方法检出。可以肯定的是，高压处理有效抑制了该产品中的特定腐败微生物（SSO），有效缓解了由 SSO 引起的该类产品的特征性腐败。研究证实<sup>[7-9]</sup>，导致真空包装切片类制品特征性腐败的黏丝菌和产气菌均属于乳酸菌，革兰氏阳性，相对耐压，即便是结合超高压和有机酸协同处理，黏丝菌和产气菌最终依然能够修复存活，导致产品的腐败<sup>[26]</sup>。

与 Ruiz-Capillas 研究相反<sup>[27]</sup>，本研究显示，超高压处理后样品 pH 值显著上升（ $P<0.05$ ），400 MPa 组和 600 MPa 组 pH 值上升值分别为 0.07 和 0.11，然而也有研究报道高压不会影响肉制品 pH 值的变化<sup>[12,28]</sup>。对鳕鱼肉、火鸡肉和牛肉的压力处理研究认为，压力导致肉类蛋白质变性伸展，其间的酸性基团被埋没或破坏，能够引起 pH 值的上升<sup>[29-30]</sup>。烟熏切片火腿蒸煮温度在 68~72℃，属于低温肉制品，蛋白质适度变性，pH 值的上升可能来自压力对残存未变性蛋白质酸性基团的影响。贮藏过程中 pH 值的变化主要是受到乳酸菌代谢产生乳酸的影响，总体呈下降趋势。本研究中压力对该产品水分活度的影响不显著，这与 Rubio 的研究相符<sup>[31]</sup>。Knorr 等研究认为，当 *Aw* 值等于 0.9 或以下时，微生物细胞处于一种休眠状态（dormant state），此时细胞膜对压力的耐受性会增强<sup>[32]</sup>。很多报道指出<sup>[1,10]</sup>，高 *Aw* 值能够增强压力对微生物的抑制效应，烟熏切片火腿 *Aw* 值在 0.98 以上，可能也是压力对其抑制效应较为显著的原因。本研究中，压力处理前后 *TVB-N* 值变化不显著（ $P>0.05$ ），贮藏初期，微生物相对

较少,并且主要腐败菌大多是低氧或厌氧条件下生长的乳酸菌,分解蛋白质能力很弱,由于肉基质本身的缓冲能力,溶解和中和了部分碱性含氮物质,各处理组TVB-N值表现出略微下降的趋势( $P>0.05$ );随着微生物数量的增长,碱性含氮物质不断累积,导致TVB-N值的显著上升( $P<0.05$ );腐败后期,糖类和蛋白质急剧分解,碱性含氮物质的累积降低,NT组出现再下降趋势( $P<0.05$ )。

早期的研究发现,压力能够显著影响猪肉、牛肉、鱼肉的颜色,即便是在 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ 的低温下处理<sup>[1]</sup>。Carlez研究<sup>[33]</sup>,绞碎牛肉经真空/充气包装后在 $10^{\circ}\text{C}$ 下进行压力处理10 min, $L^*$ 值在250~350 MPa压力范围内显著增加,肌肉变成粉红色; $a^*$ 值在400~500 MPa下降,肌肉变成灰色,类似熟肉的颜色,主要是压力影响了生肉中的肌红蛋白。然而对于烟熏切片火腿等肉制品来讲,一般加工中要添加硝酸盐或亚硝酸盐,其与肌红蛋白结合形成亚硝基肌红蛋白,经蒸煮变性最终以亚硝基血色素存在,性质较为稳定,能够耐受很高的压力。本试验的压力处理对肉制品颜色的改变很小,这与Mor-Mur和Rubio的研究相符<sup>[15,31]</sup>。

脂肪氧化是造成肉及肉制品品质恶化的主要原因之一,尤其对于不饱和脂肪酸含量较高的猪肉和禽类肉制品<sup>[1]</sup>。涉及到肉制品高压处理引起脂肪氧化的研究很少,考虑到本身该产品脂肪含量较低,加之真空包装下低温贮藏,采用的包装材料透氧率很低( $20^{\circ}\text{C}$ 时的透氧率小于 $1\text{ cm}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ),致使氧化过程缓慢;另外,肌肉脂肪氧化底物色素蛋白在热处理时早已失活,也可能是高压处理后TBARS值不显著的部分原因。由于试验指标同步性需要及各种条件的限制,本试验只研究了高压处理前后肉制品脂肪氧化值的变化情况,后续贮藏阶段未能开展,高压处理后肉制品脂肪氧化方面的研究需进一步深入。

## 4 结 论

超高压处理能够有效抑制烟熏切片火腿中的腐败微生物,使乳酸菌数处于相当长的低水平期,很大程度上缓解了由乳酸菌的肆意繁殖造成的产品产气胀袋等腐败现象,对肉制品中常见污染的肠杆菌和耐冷菌显示了很强的抑制效果,初始污染相对较低时,600 MPa,  $12^{\circ}\text{C}$ , 10 min的处理 $4^{\circ}\text{C}$ 贮藏条件下能够将产品保质期延长至10周,对肉制品的脂肪氧化、颜色、水分活度等理化指标和感官指标影响较小。

志谢: 本文作者衷心感谢南京财经大学鞠兴荣副校长和高瑀琬老师给予的高压设备方面的帮助。

## 【参 考 文 献】

- [1] Cheftel J C, Culioli J. Effects of high pressure on meat: A review[J]. Meat Science, 1997, 46(3): 211—236.
- [2] Aymerich T, Picouet P A, Monfort J M. Decontamination technologies for meat products[J]. Meat Science, 2008, 78(1/2): 114—129.
- [3] Norton T, Sun D W. Recent advances in the use of high pressure as an effective processing technique in the food industry[J]. Food Bioprocess Technology, 2008, 1(1): 2—34.
- [4] Gram L, Trolle G, Huss H H. Detection of specific spoilage bacteria from fish stored at low and high temperatures[J]. International Journal of Food Microbiology, 1987, 4(1): 65—72.
- [5] Dalgaard P. Qualitative and quantitative characterization of spoilage bacteria from packed fish[J]. International Journal of Food Microbiology, 1995, 26(3): 319—333.
- [6] Dalgaard P. Modelling of microbial activity and prediction of shelf life for packed fresh fish[J]. International Journal of Food Microbiology, 1995, 26(3): 305—317.
- [7] Björkroth K J, Korkeala H J. Evaluation of *Lactobacillus sake* contamination in vacuum-packaged sliced cooked meat products by ribotyping[J]. Journal of Food Protection, 1996, 59(4): 398—401.
- [8] Samelis J, Kakouri A, Georgiadou K G, et al. Evaluation of the extent and type of bacterial contamination at different stages of processing of cooked ham[J]. Journal of Applied Microbiology, 1998, 84(4): 649—660.
- [9] Chenoll E, Macián M C, Elizaquível P, et al. Lactic acid bacteria associated with vacuum-packed cooked meat product spoilage: population analysis by rDNA-based methods[J]. Journal of Applied Microbiology, 2007, 102(2): 498—508.
- [10] Cheftel J C. Review: High-pressure, microbial inactivation and food preservation[J]. Food Science and Technology International, 1995, 1(2/3): 75—90.
- [11] Carpi G, Squarcina N, Gola S, et al. Application of high pressure treatment to extend the refrigerated shelf-life of sliced cooked ham[J]. Industria Conserve, 1999, 74(4): 327—339.
- [12] Lopez-Caballero M E, Carballo J, Jimenez-Colmenero F. Microbiological changes in pressurized, prepackaged sliced cooked ham[J]. Journal of Food Protection, 1999, 62(12): 1411—1415.
- [13] Yuste J, Pla R, Capellas M, et al. High-pressure processing applied to cooked sausages: bacterial populations during chilled storage[J]. Journal of Food Protection, 2000, 63(8): 1093—1099.
- [14] Garriga M, Grèbol N, Aymerich M T, et al. Microbial inactivation after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products over its shelf life[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2004, 5(4): 451—457.
- [15] Mor-Mur M, Yuste J. High pressure processing applied to cooked sausage manufacture: physical properties and sensory analysis[J]. Meat Science, 2003, 65(3): 1187—1191.
- [16] Bozkurt H, Bayram M. Colour and textural attributes of sucuk during ripening[J]. Meat Science, 2006, 73(2): 344—350.
- [17] 白艳红. 低温熏煮香肠腐败机理及生物抑菌研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 2005: 28—29.
- [18] Kotzekidou P, Bloukas J G. Effect of protective cultures and packaging film permeability on shelf-life of sliced vacuum-packed cooked ham[J]. Meat Science, 1996, 42(3): 333—345.
- [19] 胡萍. 真空包装烟熏火腿切片特定腐败菌及靶向抑制研究[D]. 南京: 南京农业大学食品科技学院, 2008: 42.
- [20] Borch E, Kant-Muermans M L, Blixt Y. Bacterial spoilage of

- meat and cured meat products[J]. International Journal of Food Microbiology, 1996, 33(1): 103–120.
- [21] Borch E, Nerbrink E, Svemsson P. Identification of major contamination sources during processing of emulsion sausages[J]. International Journal of Food Microbiology, 1988, 7(4): 317–330.
- [22] Holy A, Cloete T E, Holzapfel W H. Quantification and characterization of microbial populations associated with spoiled, vacuum-packed Vienna sausages[J]. Food Microbiology, 1991, 8(2): 95–104.
- [23] Ananta E, Heinz V, Knorr D. Assessment of high pressure induced damage on *Lactobacillus rhamnosus* GG by flow cytometry[J]. Food Microbiology, 2004, 21(5): 567–577.
- [24] Ritz M, Tholozan J L, Federighi M, et al. Physiological damages of *Listeria monocytogenes* treated by high hydrostatic pressure[J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 79(1/2): 47–53.
- [25] Jofré A, Champomier-Vergès M, Anglade P, et al. Protein synthesis in lactic acid and pathogenic bacteria during recovery from a high pressure treatment[J]. Research in Microbiology, 2007, 158(6): 512–520.
- [26] Diez A M, Santos E M, Jaime I, et al. Application of organic acid salts and high-pressure treatments to improve the preservation of blood sausage[J]. Food Microbiology, 2008, 25(1): 154–161.
- [27] Ruiz-Capillas C, Carballo J, Jimenez-Colmenero F. Consequences of high-pressure processing of vacuum-packaged frankfurters on the formation of polyamines: Effect of chilled storage[J]. Food Chemistry, 2007, 104(1): 202–208.
- [28] Hayman M M, Baxter I, O’Riordan P J, et al. Effects of high-pressure processing on the safety, quality, and shelf life of ready-to-eat meats[J]. Journal of Food Protection, 2004, 67(8): 1709–1718.
- [29] Angsupanich K, Edde M, Ledward D A. Effects of high pressure on the myofibrillar proteins of cod and turkey muscle[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(1): 92–99.
- [30] Ma H J, Ledward D A. High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle[J]. Meat Science, 2004, 68(3): 347–355.
- [31] Rubio B, Martínez B, García-Cachán M D, et al. Effect of high pressure preservation on the quality of dry cured beef “Cecina de Leon” [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2007, 8(1): 102–110.
- [32] Knorr D. Hydrostatic pressure treatment of food: microbiology[M]//Gould G W (ed.). New Methods of Food Preservation. London:Blackie Academic and Professional, 1995: 159–175.
- [33] Carlez A, Veciana-Nogues T, Cheftel J C. Changes in colour and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing[J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(5): 528–538.

## Effect of high pressure processing on refrigerated shelf-life of sliced smoked cooked ham

Han Yanqing<sup>1</sup>, Zhang Qiuqin<sup>1</sup>, Xu Xinglian<sup>1\*</sup>, Zhou Guanghong<sup>1</sup>, Xu Baocai<sup>2</sup>, Liu Junchang<sup>2</sup>

(1. Key Lab of Meat Processing and Quality Control, Ministry of Education, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Technology Development Department, YuRun Food Group Company Limited, Nanjing 210041, China)

**Abstract:** The objective of this study is to evaluate the microbiological, physico-chemical and sensory properties of sliced vacuum-packaged smoked cooked ham after high pressure treatment and determine if high pressure processing (HPP) is a valid preservation method to reduce the growth of spoilage microorganisms without modification of its quality properties. Slices of cooked vacuum-packaged ham were submitted to high pressure treatments at 400 and 600 MPa for 10 min at 12°C and then stored at 4°C. Counts of aerobic mesophiles, lactic acid bacteria, enterobacteria and psychrotrophs were determined 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 weeks after treatment, respectively. In addition, TBA, colour, Aw as well as sensory analysis were performed at the same time on the treated and non-treated (NT) slices. It was found that HPP caused a degree of microbiological inactivation, which increased with pressure level. The NT samples proved to be spoiled by lactic acid bacteria (around  $10^6$  cfu/g) after 2 weeks of refrigerated storage, while the shelf-life of those submitted to HPP of 400 and 600 MPa could prolonged to 8 and 10 weeks, respectively. High pressure treatment inactivated lactic acid bacteria at a rather low level ( $<10^4$  cfu/g) for a long period, Enterobacteriaceae were detected below the detection limit during the whole storage period ( $10^2$  cfu/g), and the initial competition abilities of Psychrotrophs and Enterobacteriaceae were lost after HPP. the pH values of the sliced cooked hams were significantly increased after HPP. The firmness of pressurized hams was decreased a little, no other changes were found in sensory parameters after HPP and during refrigerated storage. The application of HPP on meat products after final packaging is an efficient method for delaying the growth of spoilage microorganisms in sliced smoked cooked ham and extending the shelf life of the pasteurized cooked meat products.

**Key words:** ultra high pressure processing, physical/chemical properties, microorganisms, sliced cooked ham, shelf-life