

# 食盐腌渍与超声波处理对牛肉脂肪酸组成的影响

陈银基<sup>1</sup>, 鞠兴荣<sup>1</sup>, 周光宏<sup>2</sup>

(1.南京财经大学 江苏省粮油品质控制及深加工技术重点实验室, 江苏 南京 210003;

2.南京农业大学 教育部肉品加工与质量控制重点开放实验室, 江苏 南京 210095)

**摘 要:** 研究牛肉(公牛的半腱肌,  $n=7$ )在梯度浓度(2%、4% 和 6%)的食盐溶液中湿法腌渍和采用超声波结合处理, 在 4℃ 条件下保存 4d 后的两种处理方式对牛肉肌肉脂肪不同脂肪酸组成(中性脂肪 NL、极性脂肪 PL 和总脂肪 TL)的影响。结果表明, 腌制显著降低中性脂肪、极性脂肪以及总脂中软脂酸( $C_{16:0}$ )和总饱和脂肪酸(SFA)的百分含量, 提高肌肉脂肪中性脂肪和总脂中大多数多不饱和脂肪酸(PUFA)的含量( $P < 0.05$ ), 并导致多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸比值(p/s)的显著提高, 降低脂肪酸动脉粥样硬化指数(IA)和血栓指数(IT); 超声波结合处理对 PUFA、p/s 的提高作用大于单纯 NaCl 处理, 2% 的 NaCl 腌制剂结合超声波处理可以达到 6% NaCl 一样的提高 p/s 效果。低盐腌制结合超声波处理可以增强腌制效果, 提高牛肉营养价值。

**关键词:** 牛肉; 腌制; 超声波; 脂肪酸

## Effect of Salting Combined with Ultrasonic Treatment on Fatty Acid Composition of Beef

CHEN Yin-ji<sup>1</sup>, JU Xing-rong<sup>1</sup>, ZHOU Guang-hong<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Grain and Oils Quality Control and Deep-utilizing Technology of Jiangsu Province, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210003, China; 2. Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Ministry of Education, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Seven beef semitendinosus muscles were conducted salting process (NaCl of 2%, 4% and 6%) or salting combined with ultrasonic treatment, and then preserved for 4 days at 4 °C. Composition change of fatty acids, such as neutral lipid (NL), polar lipid (PL) and total lipid (TL) were determined thereafter. Results showed that salting resulted in a significant increase in polyunsaturated fatty acids (PUFA) in NL and TL, which correspondingly improved the ratio of polyunsaturated fatty acid to saturated fatty acid (p/s) and significantly decreased the index of atherosclerosis (IA) and the index of thrombosis (IT). However, salting combined with ultrasonic treatment provided a significant enhancement in the increase of PUFA and p/s ratio, compared with the treatment of alone salting. Moreover, salting with 2% NaCl combined with ultrasonic treatment achieved a similar effect on p/s ratio improvement as the salting in 6% NaCl solution. Therefore, salting in low NaCl solution combined with ultrasonic treatment can offer healthy and nutrition-rich beef.

**Key words:** beef; salting; ultrasonic treatment; fatty acid

中图分类号: TS201.22

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)19-0013-06

腌制肉制品加工中重要的步骤是腌制, 肉类腌制的方法主要采用干腌、湿腌、混合腌制、盐水注射, 真空滚揉等方法<sup>[1]</sup>。通过快速腌制缩短加工时间、降低产品食盐含量、减少腌制产品的失水率, 并保持其传统产品所特有的风味是目前关注的重点。随着经济的发展, 人们生活水平的提高, 我国牛肉消费量与日俱增<sup>[2]</sup>。牛肉富含维生素、矿物质及多种多不饱和脂肪酸, 对人体健康具有重要意义<sup>[2-4]</sup>。超声波具有“空化效应”、“力

学效应”、“微流效应”等, 超声波的力学效应赋予溶剂对细胞膜更大的渗透力, 并强化细胞内外的质量传输; 超声波微流效应也能促进物质的运动, 此外超声波能刺激活细胞和酶, 影响物质的分解<sup>[5-6]</sup>。国内一些学者也对超声波在肉、蛋腌制时的辅助功效进行了探讨<sup>[7-8]</sup>。脂肪及脂肪酸组成对人体健康具有重要影响, 而超声波及食盐腌制对脂肪酸组成是否有影响迄今未见报道。本实验采用食盐湿腌结合超声波处理, 研究其对腌制牛肉

收稿日期: 2008-11-04

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD08B04; 2008BADA8B04)

作者简介: 陈银基(1979—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食品质量与安全。E-mail: chenyingji@gmail.com

肌内脂肪中不同组分脂肪酸组成的作用,为探索一种低盐肉制品快速腌制和加工的新方法提供理论参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料、试剂与仪器

黄牛 安徽阜阳福润肉牛场。

三氯乙酸(TCA,分析纯) 北京市化工技术有限公司;2-硫代巴比妥酸(TBA,分析纯) 上海试剂二厂;正己烷(色谱纯) 美国 Fisher 公司;二十一烷酸(heneicosanoic acid, C<sub>21:0</sub>) 德国 Augsburg 公司。

Shimadzu GC14A 气相色谱仪、C-R6A 积分仪 日本 Shimadzu 公司;旋转蒸发仪 日本 Yamato 公司;T10 匀浆机 德国 IKA 公司;4K15 高速冷冻离心机 德国 Sigma 公司;毛细管柱(50m×0.32mm)、CP-Sil88 极性柱 美国 Varian 公司。

### 1.2 材料预处理

黄牛圈养,2~3 岁左右,日粮以青草、青贮玉米为主,宰前三个月补喂高精日粮(玉米为主),宰前活重(463±35)kg。

黄牛 7 头屠宰后,排酸间成熟两天后,取每头牛左半胴体的半腱肌,切割成 25mm 厚的肉片,真空包装后在-20℃条件下冷冻保存。牛肉室温 24h 解冻后,取其中一块作对照,剩余的肉样切成 20mm×20mm×20mm 的小方块,用来做腌制(食盐溶液浓度分别为 2%、4% 和 6%)处理。

肉样和腌制液的比例为 1:3(m/V)。牛肉浸入腌制液后,每个浓度处理取一半进行超声波处理。肉块放入 500W、25kHz,功率密度为 0.68W/cm<sup>2</sup> 的超声波清洗机中持续处理 1h,处理时适当向清洗机的水中加入一些冰块,确保温度不至于上升过高(10~15℃)。对照组(生肉,未腌渍)及 2% NaCl、4% NaCl、6% NaCl、2% NaCl+ 超声波、4% NaCl+ 超声波、6% NaCl+ 超声波等 6 个处理组于 4℃ 的保鲜冰箱中放置 4d。

### 1.3 水分含量测定

肉样取出后用滤纸去除表面水分后称量(W<sub>1</sub>),置于坩埚内,在 100℃ 的恒温干燥箱中数小时,直至肉样不再减轻为止,称量干燥后肉样重(W<sub>2</sub>)。

$$\text{水分含量} = \frac{W_1 - W_2}{W_1}$$

### 1.4 硫代巴比妥酸反应物(TBARS)测定

TBARS 测定参照 Buege 等<sup>[9]</sup>的方法进行,表示为每克肉样中丙二醛(TCA)产生量(μg/g)。具体操作如下:取 5g 肉样于 80ml 离心管中,加入 15ml 20% TCA 和 10ml 蒸馏水,在 9500r/min 条件下匀浆机打浆 1min,然后在离心机上 2000×g,4℃ 离心 20min,过滤后,定容到

50ml。摇匀后取 3ml,加入 3ml 0.02mol/L TBA,同时做空白:取 3ml 10% TCA,加入 3ml 0.02mol/L TBA,在沸水浴 20min,然后在流动水冷却 5min,于波长 532nm 处比色。TBARS 测定重复 3 次,取平均值。

### 1.5 脂质提取与脂肪酸分析

肉样去除肌间脂肪和筋膜后取约 2g,干柱法去除水分并分离肌内脂肪(IMF)的中性脂肪(NL),极性脂肪(PL)及总脂(TL)<sup>[10]</sup>,脂肪提取后真空抽滤,称量并计算总脂肪的重量。脂肪皂化、甲酯化及脂肪酸的分析根据参考文献[11]~[13]的方法进行。内标用二十一烷酸,整个处理过程脂肪样品需保持在氮气下。

气相色谱分析条件:进样口温度:280℃;检测器温度:280℃;升温程序:初始温度 160℃,2min,5℃/min 到 220℃,保持 30min,总时间 44min;载气(氮气)压:0.8kg/cm<sup>2</sup>;氢气压:0.6kg/cm<sup>2</sup>;补充气(氮气)压:0.6kg/cm<sup>2</sup>;空气压:0.5kg/cm<sup>2</sup>。脂肪酸甲酯的鉴定根据脂肪酸甲酯标样的相对保留时间确定,峰面积来确定脂肪酸甲酯的相对含量。

### 1.6 脂肪酸比值和指数计算

对人体健康具有潜在意义的脂肪酸动脉粥样硬化指数(indices of atherogenicity, IA)和血栓指数(indices of thrombogenicity, IT)的计算<sup>[14]</sup>如下:

$$\text{脂肪酸动脉粥样硬化指数(IA)} = \frac{C_{12:0} + 4 \times C_{14:0} + C_{16:0}}{\text{MUFA} + \text{PUFA}} \quad (1)$$

$$\text{血栓指数(IT)} = \frac{C_{12:0} + C_{16:0} + C_{18:0}}{0.5 \times (\text{MUFA} + n\text{-6PUFA}) + 3 \times (n\text{-3PUFA}) + \frac{n\text{-3PUFA}}{n\text{-6PUFA}}} \quad (2)$$

式中:MUFA 为单不饱和脂肪酸;PUFA 为多不饱和脂肪酸。

### 1.7 统计分析

脂肪酸组成、比值和指数根据各肉样在不同处理下分别计算。所有数据采用 SPSS11.5 中 GLM 模块处理,进行二因子(食盐腌制、超声波)、三水平(2%、4% 和 6%)方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 对饱和脂肪酸的影响

总饱和脂肪酸(SFA)是牛肉肌内脂肪的总脂中含量最多的,其次是单不饱和脂肪酸(MUFA),其含量与 SFA 含量接近;牛肉中多不饱和脂肪酸(PUFA)含量最少,比猪肉 PUFA 的比重低<sup>[15]</sup>。本实验中月桂酸(C<sub>12:0</sub>)没有被检测出,而中性脂肪(表 1)和总脂肪(表 3)中均检测出了肉豆蔻酸(C<sub>14:0</sub>)、软脂酸(C<sub>16:0</sub>)、硬脂酸(C<sub>18:0</sub>)、花生酸

表1 食盐腌制与超声波处理对肉牛半腱肌脂肪的中性脂肪酸(NL)组成的影响

Table 1 Effects of salting and ultrasonic treatment on fatty acid compositions of neutral lipid in beef semitendinosus muscles

组成(%)	对照	NaCl			NaCl+ 超声波			标准误差	显著性		
		2%	4%	6%	2%	4%	6%		C	M	C × M
14:0	2.04 <sup>ab</sup>	2.22 <sup>a</sup>	2.07 <sup>ab</sup>	2.20 <sup>a</sup>	1.85 <sup>b</sup>	2.01 <sup>ab</sup>	1.99 <sup>ab</sup>	0.11	NS	*	NS
14:1 <i>trans</i> -9	0.18	0.21	0.17	0.18	0.19	0.19	0.17	0.01	NS	NS	NS
14:1 <i>cis</i> -9	0.41	0.34	0.39	0.38	0.37	0.37	0.38	0.03	NS	NS	NS
15:0	0.42	0.46	0.43	0.42	0.43	0.43	0.43	0.03	NS	NS	NS
16:0	25.09 <sup>a</sup>	22.89 <sup>b</sup>	22.79 <sup>b</sup>	23.23 <sup>b</sup>	22.58 <sup>b</sup>	22.37 <sup>b</sup>	22.73 <sup>b</sup>	1.59	NS	NS	NS
16:1 <i>trans</i> -9	0.51	0.54	0.48	0.52	0.57	0.50	0.52	0.03	NS	NS	NS
16:1 <i>cis</i> -9	3.09 <sup>a</sup>	2.76 <sup>b</sup>	2.95 <sup>ab</sup>	3.13 <sup>a</sup>	2.72 <sup>b</sup>	2.89 <sup>ab</sup>	3.08 <sup>a</sup>	0.19	*	NS	NS
17:0	1.13	1.19	1.14	1.09	1.09	1.18	1.20	0.08	NS	NS	NS
18:0	19.91	21.28	20.45	20.35	20.29	20.35	20.48	1.02	NS	NS	NS
18:1 <i>trans</i> -9	4.33 <sup>ab</sup>	4.72 <sup>a</sup>	3.70 <sup>c</sup>	3.86 <sup>bc</sup>	3.54 <sup>c</sup>	3.84 <sup>bc</sup>	4.19 <sup>ab</sup>	0.32	*	*	*
18:1 <i>cis</i> -9	36.28 <sup>a</sup>	33.72 <sup>b</sup>	36.48 <sup>a</sup>	35.63 <sup>ab</sup>	33.22 <sup>b</sup>	35.30 <sup>ab</sup>	35.28 <sup>ab</sup>	1.62	*	NS	NS
18:2 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11	0.40	0.45	0.41	0.41	0.40	0.41	0.41	0.03	NS	NS	NS
18:2 <i>cis</i> -9,12	1.61 <sup>c</sup>	2.07 <sup>b</sup>	2.47 <sup>a</sup>	2.21 <sup>ab</sup>	2.49 <sup>a</sup>	2.51 <sup>a</sup>	2.35 <sup>ab</sup>	0.09	*	*	*
18:3 <i>cis</i> -9,12,15	0.65 <sup>c</sup>	0.93 <sup>b</sup>	1.54 <sup>a</sup>	1.34 <sup>a</sup>	1.60 <sup>a</sup>	1.30 <sup>a</sup>	1.59 <sup>a</sup>	0.08	*	*	NS
20:0	0.30	0.34	0.31	0.31	0.28	0.30	0.32	0.01	NS	NS	NS
20:3 <i>cis</i> -8,11,14	0.82	0.79	0.80	0.83	0.75	0.84	0.83	0.03	NS	NS	NS
20:4 <i>cis</i> -5,8,11,14	0.32 <sup>d</sup>	0.91 <sup>c</sup>	1.30 <sup>bc</sup>	1.64 <sup>b</sup>	2.24 <sup>a</sup>	1.68 <sup>b</sup>	1.30 <sup>bc</sup>	0.09	**	**	*
20:5 <i>cis</i> -5,8,11,14,17	0.32 <sup>c</sup>	0.41 <sup>bc</sup>	0.55 <sup>ab</sup>	0.50 <sup>ab</sup>	0.58 <sup>ab</sup>	0.47 <sup>b</sup>	0.74 <sup>a</sup>	0.04	NS	NS	NS
22:4 <i>cis</i> -7,10,13,16	0.33 <sup>b</sup>	0.32 <sup>b</sup>	0.34 <sup>b</sup>	0.33 <sup>b</sup>	0.59 <sup>a</sup>	0.53 <sup>a</sup>	0.31 <sup>b</sup>	0.02	NS	*	NS
22:5 <i>cis</i> -7,10,13,16,19	0.41 <sup>c</sup>	0.38 <sup>c</sup>	0.42 <sup>c</sup>	0.51 <sup>ab</sup>	0.57 <sup>a</sup>	0.60 <sup>a</sup>	0.46 <sup>bc</sup>	0.03	*	*	*
22:6 <i>cis</i> -4,7,10,13,16,19	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-
未鉴别出的脂肪酸(UI)	1.49	1.12	0.87	0.97	3.69	1.98	1.29	0.31	*	*	*
SFA	48.88	48.36	47.17	47.59	46.51	46.63	47.13	1.65	NS	NS	NS
MUFA	44.80 <sup>a</sup>	42.28 <sup>bc</sup>	44.16 <sup>a</sup>	43.69 <sup>a</sup>	40.60 <sup>c</sup>	43.07 <sup>ab</sup>	43.60 <sup>a</sup>	1.43	*	NS	NS
PUFA	4.83 <sup>d</sup>	6.24 <sup>c</sup>	7.80 <sup>b</sup>	7.75 <sup>b</sup>	9.20 <sup>a</sup>	8.32 <sup>ab</sup>	7.98 <sup>b</sup>	0.59	*	*	*
n-6 PUFA	3.07 <sup>d</sup>	4.08 <sup>c</sup>	4.90 <sup>b</sup>	5.00 <sup>b</sup>	6.06 <sup>a</sup>	5.55 <sup>ab</sup>	4.79 <sup>b</sup>	0.32	*	*	*
n-3 PUFA	1.37 <sup>c</sup>	1.71 <sup>b</sup>	2.50 <sup>a</sup>	2.35 <sup>a</sup>	2.75 <sup>a</sup>	2.37 <sup>a</sup>	2.79 <sup>a</sup>	0.10	NS	NS	NS
p/s	0.10 <sup>c</sup>	0.13 <sup>b</sup>	0.17 <sup>ab</sup>	0.16 <sup>ab</sup>	0.20 <sup>a</sup>	0.18 <sup>ab</sup>	0.17 <sup>ab</sup>	0.01	*	*	*
m/s	0.92 <sup>a</sup>	0.87 <sup>b</sup>	0.94 <sup>a</sup>	0.92 <sup>a</sup>	0.87 <sup>b</sup>	0.92 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>	0.04	*	NS	NS
n-6/n-3	2.24 <sup>a</sup>	2.38 <sup>a</sup>	1.96 <sup>ab</sup>	2.13 <sup>ab</sup>	2.21 <sup>a</sup>	2.34 <sup>a</sup>	1.72 <sup>b</sup>	0.08	NS	NS	NS

注：同行上标不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )；UI.未鉴别出；C.食盐浓度；M.腌制方式；C × M.食盐浓度与腌制方式交叉作用；\*. $P \leq 0.05$ ；\*\*. $P \leq 0.01$ ；NS.差异不显著；ND.未检测出。下同。

(C<sub>20:0</sub>)以及一些奇数碳原子的饱和酸如C<sub>15:0</sub>、C<sub>17:0</sub>等，而极性脂肪(表2)中C<sub>17:0</sub>和C<sub>20:0</sub>则没有检测出。腌渍的方式对中性脂肪和总脂中肉豆蔻酸有显著作用( $P < 0.05$ )，而腌制剂的浓度对肉豆蔻酸没有作用( $P > 0.05$ )；腌制显著降低了中性脂肪、极性脂肪以及总脂中软脂酸(C<sub>16:0</sub>)的百分含量，而腌制的方式及浓度对其没有作用；腌制对中性脂肪、总脂肪中的硬脂酸(C<sub>18:0</sub>)没有作用，而腌制对极性脂肪中的硬脂酸有影响( $P < 0.05$ )，随着腌制剂浓度的升高，硬脂酸含量显著升高。腌制对奇数碳原子饱和酸没有作用。单纯腌制降低了肉牛背最长肌的中性脂肪和总脂中SFA的含量( $P > 0.05$ )，但差异并不显著。而腌制结合超声波处理则显著降低了总脂中的SFA百分含量( $P < 0.05$ )。而腌制对极性脂肪的SFA没有作用。

## 2.2 对单不饱和脂肪酸的影响

14~18之间的偶数碳的正反式单不饱和脂肪酸都有检出，其中以顺式油酸(C<sub>18:1</sub>)含量最丰富，总脂中达

25%~30%。而顺式棕榈油酸(C<sub>16:1</sub>)、肉豆蔻油酸(C<sub>14:1</sub>)含量在3%左右。低浓度腌制(2%)时(不论腌制还是超声波结合处理)，中性脂肪(表1)和总脂肪(表3)中顺式油酸及总MUFA含量显著下降( $P < 0.05$ )，而随着腌制剂浓度的升高，含量又逐渐回升。部分单烯反式脂肪酸被认为是对人体有害的，特别是油脂工业氢化形成的反式脂肪酸可能会导致癌症的发生，而反刍动物体内的十八碳反式单烯酸(C<sub>18:1 trans</sub>-9)则被认为是中性的，不会对人体有负作用<sup>[16]</sup>。食盐腌制结合超声波处理会显著降低总脂中十八碳反式单烯酸的含量( $P < 0.05$ )。

## 2.3 对多不饱和脂肪酸的影响

PUFA中以亚油酸(LA, C<sub>18:2 cis</sub>-9,12)含量最丰富，特别在极性脂肪(表2)中，含量达到12%左右，而在总脂(表3)中含量也有7%左右。花生四烯酸(AA, C<sub>20:4 cis</sub>-5,8,11,14)和 $\alpha$ -亚麻酸(ALA, C<sub>18:3 cis</sub>-9,12,15)含量也较丰富，总脂中约含有3%左右。中性脂肪(表1)中没有检

测到DHA(C<sub>22:6</sub> *cis*-4,7,10,13,16,19),而极性脂肪和总脂中均检测出。中性脂肪中几种PUFA,如LA、ALA、AA、EPA(C<sub>20:5</sub> *cis*-5,8,11,14,17)、DPA(C<sub>22:5</sub> *cis*-7,10,13,16,19)以及PUFA等都因腌制而有不同程度的增加。其中腌制剂浓度和腌制的方式对LA、ALA、AA、DPA、PUFA都有作用,其中浓度和方式之间对LA、AA、DPA、PUFA等有交互作用( $P < 0.05$ )。极性脂肪中的PUFA几乎不受腌制剂和腌制方式的影响。总脂中,腌制剂浓度对AA、EPA、PUFA以及n-6 PUFA有作用( $P < 0.05$ );而腌制的方式对ALA、C<sub>20:3</sub>、AA、EPA、C<sub>22:4</sub>、DPA、PUFA、n-6PUFA、n-3PUFA都有作用( $P < 0.05$ );其中浓度和方式之间对AA、EPA、C<sub>22:4</sub>、DPA、PUFA、n-6PUFA等有交互作用( $P < 0.05$ )。总体而言,腌制提高了肌肉脂肪中PUFA的含量,超声波结合处理对PUFA的提高作用大于单纯NaCl处理,而不同浓度处理提高的程度稍有差异。

湿法腌制显著提高了牛肉背最长肌的水分含量( $P < 0.05$ ),6个不同处理组水分含量显著高于对照组(不腌制

组),而6个处理组之间水分含量不因腌制剂浓度或腌制方式而变化( $P > 0.05$ )(表3)。脂肪含量则随腌制而降低,腌制剂浓度越高,脂肪含量越低;而超声波结合处理后,脂肪含量降低得比单纯腌制处理脂肪含量下降更多(4%、6%超声波结合处理脂肪含量分别为10.9%、10.3%,而单纯腌制分别为12.9%和12.1%, $P < 0.05$ )。这可能由于湿法腌制提高了牛肉水分含量,相应的牛肉脂肪含量降低;而超声波可以使部分与肌肉组织结合致密的脂肪颗粒游离出来。

#### 2.4 脂肪酸比值与指数

脂肪酸比值对人体健康具有重要意义,而其中最重要的是考虑总脂中脂肪酸的比值,因为人体摄食的不是单纯的脂肪某一部分(储脂或磷脂,表1、2),而是总脂。总脂中(表3),腌制提高了脂肪酸p/s比值,腌制的方式对p/s有作用( $P < 0.05$ ),食盐腌制结合超声波处理使p/s比值普遍高于单纯食盐处理。p/s随着食盐腌制剂浓度的增加有增加趋势,6%的食盐腌制p/s最高,而腌制结合超声波处理,2%的腌制剂就可以达到同样的

表2 食盐腌制与超声波处理对肉牛半腱肌脂肪的极性脂肪酸(PL)组成的影响

Table 2 Effects of salting and ultrasonic treatment on fatty acid compositions of polar lipid in beef semitendinosus muscles

组成(%)	对照	NaCl			NaCl+ 超声波			标准误	显著性		
		2%	4%	6%	2%	4%	6%		C	M	C × M
14:0	0.42	0.44	0.45	0.43	0.42	0.42	0.42	0.03	NS	NS	NS
14:1 <i>trans</i> -9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-
14:1 <i>cis</i> -9	9.12 <sup>ab</sup>	9.54 <sup>a</sup>	8.70 <sup>b</sup>	9.67 <sup>a</sup>	9.75 <sup>a</sup>	9.14 <sup>ab</sup>	8.94 <sup>b</sup>	0.64	*	NS	NS
15:0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-
16:0	17.30 <sup>a</sup>	13.69 <sup>c</sup>	13.33 <sup>c</sup>	14.48 <sup>b</sup>	13.65 <sup>c</sup>	15.06 <sup>b</sup>	14.29 <sup>b</sup>	1.03	*	NS	NS
16:1 <i>trans</i> -9	0.51 <sup>a</sup>	ND <sup>b</sup>	ND <sup>b</sup>	ND <sup>b</sup>	ND <sup>b</sup>	ND <sup>b</sup>	ND <sup>b</sup>	-	-	-	-
16:1 <i>cis</i> -9	1.75 <sup>a</sup>	1.27 <sup>b</sup>	1.39 <sup>b</sup>	1.34 <sup>b</sup>	1.27 <sup>b</sup>	1.35 <sup>b</sup>	1.39 <sup>b</sup>	0.11	NS	NS	NS
17:0	6.22 <sup>b</sup>	7.64 <sup>a</sup>	7.22 <sup>a</sup>	7.87 <sup>a</sup>	8.01 <sup>a</sup>	7.59 <sup>a</sup>	7.20 <sup>a</sup>	0.48	NS	NS	NS
18:0	8.64 <sup>c</sup>	9.50 <sup>b</sup>	9.98 <sup>ab</sup>	10.98 <sup>a</sup>	10.49 <sup>a</sup>	9.26 <sup>b</sup>	10.09 <sup>ab</sup>	0.75	*	NS	NS
18:1 <i>trans</i> -9	1.13	0.89	0.96	1.09	0.97	0.95	1.04	0.08	NS	NS	NS
18:1 <i>cis</i> -9	23.40 <sup>a</sup>	20.08 <sup>b</sup>	19.95 <sup>b</sup>	20.83 <sup>b</sup>	19.72 <sup>b</sup>	19.94 <sup>b</sup>	20.60 <sup>b</sup>	1.36	NS	NS	NS
18:2 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-
18:2 <i>cis</i> -9,12	11.26	12.26	12.95	12.80	12.28	12.88	13.13	0.67	NS	NS	NS
18:3 <i>cis</i> -9,12,15	3.01	3.15	3.24	3.16	3.14	3.17	3.21	0.24	NS	NS	NS
20:0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-
20:3 <i>cis</i> -8,11,14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-
20:4 <i>cis</i> -5,8,11,14	6.67 <sup>b</sup>	7.20 <sup>ab</sup>	7.30 <sup>ab</sup>	7.74 <sup>a</sup>	7.42 <sup>AB</sup>	6.99 <sup>ab</sup>	7.22 <sup>ab</sup>	0.39	NS	NS	NS
20:5 <i>cis</i> -5,8,11,14,17	0.14	0.15	0.14	0.15	0.16	0.16	0.15	0.01	NS	NS	NS
22:4 <i>cis</i> -7,10,13,16	2.44	2.57	2.55	2.64	2.58	2.41	2.49	0.17	NS	NS	NS
22:5 <i>cis</i> -7,10,13,16,19	3.27	3.54	3.45	3.40	3.63	3.35	3.45	0.30	NS	NS	NS
22:6 <i>cis</i> -4,7,10,13,16,19	0.50	0.53	0.53	0.50	0.49	0.49	0.49	0.03	NS	NS	NS
UI	4.40 <sup>d</sup>	7.73 <sup>a</sup>	8.03 <sup>a</sup>	3.09 <sup>d</sup>	6.20 <sup>bc</sup>	7.02 <sup>ab</sup>	6.07 <sup>c</sup>	0.84	*	**	NS
SFA	32.57	31.26	30.97	33.76	32.57	32.33	32.00	1.39	NS	NS	NS
MUFA	35.90 <sup>a</sup>	31.77 <sup>b</sup>	30.99 <sup>b</sup>	32.92 <sup>ab</sup>	31.70 <sup>b</sup>	31.37 <sup>b</sup>	31.96 <sup>b</sup>	1.28	NS	NS	NS
PUFA	27.13 <sup>b</sup>	29.24 <sup>a</sup>	30.01 <sup>a</sup>	30.23 <sup>a</sup>	29.53 <sup>a</sup>	29.28 <sup>a</sup>	29.97 <sup>a</sup>	1.22	NS	NS	NS
n-6 PUFA	20.36	22.03	22.80	23.18	22.28	22.28	22.83	1.14	NS	NS	NS
n-3 PUFA	6.77	7.22	7.21	7.06	7.26	7.00	7.14	0.54	NS	NS	NS
p/s	0.76 <sup>b</sup>	0.92 <sup>a</sup>	0.97 <sup>a</sup>	0.92 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>	0.94 <sup>a</sup>	0.05	NS	NS	NS
m/s	1.10	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	1.00	0.06	NS	NS	NS
n-6/n-3	3.01	3.05	3.16	3.28	3.07	3.18	3.20	0.17	NS	NS	NS

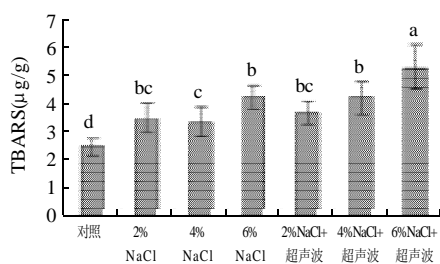
表3 食盐腌制与超声波处理对肉牛半腱肌内脂肪的总脂肪酸(TL)组成的影响

Table 3 Effects of salting and ultrasonic treatment on fatty acid compositions of total lipid in beef semitendinosus muscles

组成(%)	对照	NaCl			NaCl+ 超声波			标准误差	显著性		
		2%	4%	6%	2%	4%	6%		C	M	C × M
水分含量(%)	73.6 <sup>b</sup>	78.7 <sup>a</sup>	81.8 <sup>a</sup>	80.0 <sup>a</sup>	79.6 <sup>a</sup>	80.7 <sup>a</sup>	80.8 <sup>a</sup>	3.15	NS	NS	NS
脂肪含量(mg/g)	15.5 <sup>a</sup>	15.6 <sup>a</sup>	12.9 <sup>b</sup>	12.1 <sup>b</sup>	13.9 <sup>ab</sup>	10.9 <sup>c</sup>	10.3 <sup>c</sup>	0.78	*	*	NS
14:0	1.35 <sup>a</sup>	1.38 <sup>a</sup>	1.36 <sup>a</sup>	1.23 <sup>ab</sup>	1.08 <sup>b</sup>	1.18 <sup>b</sup>	1.06 <sup>b</sup>	0.10	NS	*	NS
14:1 <i>trans</i> -9	0.10	0.11	0.10	0.08	0.09	0.09	0.07	0.01	NS	NS	NS
14:1 <i>cis</i> -9	4.13 <sup>b</sup>	4.67 <sup>ab</sup>	4.00 <sup>b</sup>	5.44 <sup>a</sup>	5.45 <sup>a</sup>	4.96 <sup>a</sup>	5.43 <sup>a</sup>	0.37	NS	NS	NS
15:0	0.24 <sup>a</sup>	0.24 <sup>a</sup>	0.24 <sup>a</sup>	0.19 <sup>ab</sup>	0.19 <sup>ab</sup>	0.20 <sup>ab</sup>	0.17 <sup>ab</sup>	0.02	NS	NS	NS
16:0	21.76 <sup>a</sup>	18.56 <sup>b</sup>	18.68 <sup>b</sup>	18.46 <sup>b</sup>	17.75 <sup>b</sup>	18.54 <sup>b</sup>	17.74 <sup>b</sup>	1.12	NS	NS	NS
16:1 <i>trans</i> -9	0.51 <sup>a</sup>	0.29 <sup>b</sup>	0.27 <sup>b</sup>	0.23 <sup>b</sup>	0.26 <sup>b</sup>	0.24 <sup>b</sup>	0.21 <sup>b</sup>	0.01	NS	NS	NS
16:1 <i>cis</i> -9	2.52 <sup>a</sup>	2.05 <sup>b</sup>	2.27 <sup>ab</sup>	2.15 <sup>b</sup>	1.93 <sup>b</sup>	2.08 <sup>b</sup>	2.08 <sup>b</sup>	0.15	NS	NS	NS
17:0	3.30 <sup>b</sup>	4.22 <sup>a</sup>	3.78 <sup>ab</sup>	4.79 <sup>a</sup>	4.84 <sup>a</sup>	4.54 <sup>a</sup>	4.74 <sup>a</sup>	0.24	NS	NS	NS
18:0	15.10	15.73	15.89	15.24	14.98	14.53	14.34	0.87	NS	NS	NS
18:1 <i>trans</i> -9	2.97 <sup>a</sup>	2.91 <sup>a</sup>	2.51 <sup>ab</sup>	2.35 <sup>b</sup>	2.15 <sup>b</sup>	2.32 <sup>b</sup>	2.33 <sup>b</sup>	0.19	*	**	*
18:1 <i>cis</i> -9	30.78 <sup>a</sup>	27.30 <sup>b</sup>	29.29 <sup>a</sup>	27.55 <sup>b</sup>	25.91 <sup>c</sup>	27.24 <sup>b</sup>	26.60 <sup>bc</sup>	1.36	NS	*	NS
18:2 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11	0.23	0.24	0.23	0.18	0.18	0.20	0.17	0.01	NS	NS	NS
18:2 <i>cis</i> -9,12	5.72 <sup>b</sup>	6.86 <sup>a</sup>	7.02 <sup>a</sup>	7.98 <sup>a</sup>	7.78 <sup>a</sup>	7.94 <sup>a</sup>	8.71 <sup>a</sup>	0.38	NS	NS	NS
18:3 <i>cis</i> -9,12,15	1.65 <sup>c</sup>	1.97 <sup>b</sup>	2.28 <sup>ab</sup>	2.33 <sup>ab</sup>	2.43 <sup>a</sup>	2.28 <sup>ab</sup>	2.54 <sup>a</sup>	0.21	NS	NS	NS
20:0	0.17	0.18	0.17	0.14	0.13	0.14	0.13	0.01	NS	NS	NS
20:3 <i>cis</i> -8,11,14	0.47 <sup>a</sup>	0.42 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>	0.38 <sup>ab</sup>	0.34 <sup>b</sup>	0.40 <sup>ab</sup>	0.34 <sup>b</sup>	0.02	NS	NS	NS
20:4 <i>cis</i> -5,8,11,14	3.03 <sup>c</sup>	3.86 <sup>b</sup>	3.91 <sup>b</sup>	4.96 <sup>a</sup>	5.04 <sup>a</sup>	4.46 <sup>ab</sup>	4.80 <sup>a</sup>	0.29	*	*	*
20:5 <i>cis</i> -5,8,11,14,17	0.18 <sup>b</sup>	0.21 <sup>b</sup>	0.31 <sup>a</sup>	0.23 <sup>b</sup>	0.27 <sup>ab</sup>	0.22 <sup>b</sup>	0.30 <sup>a</sup>	0.02	*	*	*
22:4 <i>cis</i> -7,10,13,16	1.23 <sup>b</sup>	1.38 <sup>ab</sup>	1.30 <sup>b</sup>	1.58 <sup>a</sup>	1.67 <sup>a</sup>	1.52 <sup>a</sup>	1.59 <sup>a</sup>	0.12	NS	*	*
22:5 <i>cis</i> -7,10,13,16,19	1.63 <sup>b</sup>	1.86 <sup>b</sup>	1.73 <sup>b</sup>	2.08 <sup>ab</sup>	2.23 <sup>a</sup>	2.04 <sup>ab</sup>	2.22 <sup>a</sup>	0.14	NS	*	*
22:6 <i>cis</i> -4,7,10,13,16,19	0.21	0.25	0.23	0.27	0.26	0.25	0.29	0.01	NS	NS	NS
UI	2.74 <sup>c</sup>	5.29 <sup>a</sup>	3.98 <sup>b</sup>	2.13 <sup>d</sup>	5.06 <sup>a</sup>	4.62 <sup>b</sup>	4.12 <sup>b</sup>	0.48	**	*	NS
SFA	41.92 <sup>a</sup>	40.32 <sup>ab</sup>	40.13 <sup>ab</sup>	40.05 <sup>ab</sup>	38.96 <sup>b</sup>	39.13 <sup>b</sup>	38.19 <sup>b</sup>	1.54	NS	NS	NS
MUFA	41.00 <sup>a</sup>	37.33 <sup>b</sup>	38.43 <sup>b</sup>	37.81 <sup>b</sup>	35.78 <sup>b</sup>	36.94 <sup>b</sup>	36.72 <sup>b</sup>	1.35	NS	NS	NS
PUFA	14.34 <sup>c</sup>	17.06 <sup>b</sup>	17.46 <sup>b</sup>	20.01 <sup>a</sup>	20.20 <sup>a</sup>	19.31 <sup>a</sup>	20.97 <sup>a</sup>	1.02	*	*	*
n-6 PUFA	10.44 <sup>c</sup>	12.52 <sup>b</sup>	12.68 <sup>b</sup>	14.91 <sup>a</sup>	14.83 <sup>a</sup>	14.32 <sup>a</sup>	15.44 <sup>a</sup>	0.66	*	*	*
n-3 PUFA	3.67 <sup>b</sup>	4.30 <sup>b</sup>	4.55 <sup>ab</sup>	4.91 <sup>ab</sup>	5.19 <sup>a</sup>	4.80 <sup>ab</sup>	5.36 <sup>a</sup>	0.26	NS	*	NS
p/s	0.34 <sup>c</sup>	0.42 <sup>b</sup>	0.44 <sup>b</sup>	0.50 <sup>ab</sup>	0.52 <sup>a</sup>	0.49 <sup>ab</sup>	0.55 <sup>a</sup>	0.02	NS	*	NS
m/s	0.98	0.93	0.96	0.94	0.92	0.94	0.96	0.04	NS	NS	NS
n-6/n-3	2.84	2.91	2.79	3.03	2.86	2.99	2.88	0.20	NS	NS	NS
IA	0.49 <sup>a</sup>	0.44 <sup>ab</sup>	0.43 <sup>ab</sup>	0.40 <sup>b</sup>	0.39 <sup>b</sup>	0.41 <sup>b</sup>	0.38 <sup>b</sup>	0.02	NS	NS	NS
IT	0.99 <sup>a</sup>	0.89 <sup>b</sup>	0.87 <sup>b</sup>	0.81 <sup>bc</sup>	0.79 <sup>c</sup>	0.82 <sup>bc</sup>	0.75 <sup>c</sup>	0.04	NS	*	NS

效果(6% NaCl和2% NaCl+ 超声波的p/s分别为0.50和0.52)。腌制剂浓度及腌制方式对 m/s(MUFA/SFA)及 n-6/n-3(n-6PUFA/n-3PUFA)没有作用( $P > 0.05$ )。

## 2.5 脂肪氧化



不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

图1 食盐腌制与超声波处理与肉牛半腱肌脂质氧化

Fig.1 Lipid oxidation of beef semitendinosus muscles with salting and ultrasonic treatment

图1是腌制后TBARS变化情况,对照组平均为 $2.50 \mu\text{g/g}$ ,食盐腌制组分别为 $3.53 \mu\text{g/g}$ (2%)、 $3.39 \mu\text{g/g}$ (4%)和 $4.28 \mu\text{g/g}$ (6%),而超声波结合处理组分别为 $3.71 \mu\text{g/g}$ (2%+超声波)、 $4.25 \mu\text{g/g}$ (4%+超声波)、 $5.35 \mu\text{g/g}$ (6%+超声波)。总体来说随着腌制剂浓度的升高,腌制后脂肪氧化随之升高,在6%的腌制剂作用下脂肪氧化达到最高。食盐溶液浓度2%+超声波处理组TBA值与食盐溶液浓度2%处理组差异不显著,而食盐溶液浓度达4%或6%时,差异都显著,说明超声波结合处理会提高脂肪氧化的程度。

## 3 讨论

当超声波在食物等介质中传播时,由于超声波与介质的相互作用,使介质发生物理的和化学的变化,从

而产生一系列力学、热学、电磁学和化学的超声效应,主要包括以下4种效应<sup>[5-6]</sup>:一是机械效应。超声波的机械作用可促成液体的乳化、凝胶的液化和固体的分散;二是空化作用。超声波作用于液体时,液体内部局部出现拉应力而形成负压,压强的降低使原来溶于液体的气体过饱和,而从液体逸出,成为小气泡,强大的拉应力把液体“撕开”成一空洞,称为空化;三是热效应。由于超声波频率高,能量大,被介质吸收时能产生显著的热效应;四是化学效应。超声波的作用可促使发生或加速某些化学反应。超声波被应用于食品加工中<sup>[17]</sup>,其超声效应可能对食物的理化性质,包括食物的内部结构和化学组成都可能产生一定程度的影响。

肌肉组织是由特殊分化的肌细胞构成的动物的基本组织,肌细胞的细胞质称为肌浆,布满液体,因此超声波作用于肌肉组织,可能形成空化作用。空化形成,会产生稳定的单向振动,或继发膨胀以致崩溃,细胞功能改变,细胞内钙水平增高,可能影响细胞的分化和增殖<sup>[18]</sup>。超声的机械效应和温热效应均可促发某些物理化学变化。超声波可以提高生物膜的通透性,超声波作用后,细胞膜对钾、钙离子的通透性发生较强的改变。从而增强生物膜弥散过程,促进物质交换,加速代谢。超声波还可能对作用对象产生小分子化合物聚合作用与大分子化合物解聚作用。脂肪酸是长链大分子,超声波产生的空化效应和热效应等可能会对部分脂肪酸大分子产生聚合或解聚作用,进而影响食物中脂肪酸的组成,这也是本研究中脂肪酸组成有一定程度的变化的可能原因。

Ulbrich等<sup>[14]</sup>研究认为脂肪酸对人体健康,特别是对动脉硬化和血栓有潜在的作用,并提出了脂肪酸动脉粥样硬化指数和血栓指数。食物中这两个指数越高,对人体的潜在影响越大,也越易于使人患相关的疾病。本研究中,生肉的IA和IT值相对都比较高,而随腌制进行,两个指标都有下降。6个实验组IA指数没有差别,而IT有差异,不同的腌制方式对IT有影响,超声波腌制可以使IT显著下降。暗示腌制结合超声波处理可以提高牛肉的营养价值。

超声波结合处理时,会提高脂肪氧化的程度,这主要是由于超声波处理时会将部分脂肪颗粒从与肌肉组织致密结合的状态中游离出来,更多的脂肪颗粒与外界接触,会增加脂肪氧化的程度。而低盐浓度条件下腌制结合超声波处理(食盐溶液浓度2%+超声波),脂肪氧化程度差异不显著( $P > 0.05$ ),可以达到很好的控制脂肪氧化效果。

## 4 结 论

不同腌制剂浓度及腌制方式对脂肪酸组成有影响。食盐腌制和超声波处理可以提高牛肉中多不饱和脂肪酸含量及多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸比值。超声波结合处理会提高脂肪氧化的程度,而低浓度腌制处理时没有影响。超声波结合处理时较低浓度腌制时p/s显著上升,脂肪氧化却较低;低盐腌制结合超声波处理不仅可以缩短腌制时间,达到很好的腌制效果,对改善牛肉脂肪营养也有益。

## 参考文献:

- [1] 周光宏,赵改名,彭增超.我国传统腌腊肉制品存在的问题及对策[J].肉类研究,2003(1):3-7.
- [2] ZHOU G H, LIU L, XIU X L, et al. Productivity and carcass characteristics of pure and crossbred chinese yellow cattle[J]. Meat Science, 2001, 58: 359-362.
- [3] 陈银基,周光宏,徐幸莲,等.肉牛胴体背最长肌脂肪酸组成与大理石花纹等级相关性研究[J].中国农业科学,2007,40(12):2853-2860.
- [4] CHEN Y J, ZHOU G H, ZHU X D, et al. Effect of low dose gamma irradiation on beef quality and fatty acid composition of beef intramuscular lipid[J]. Meat Science, 2007, 73(3): 423-431.
- [5] 王静,韩涛,李丽萍.超声波的生物效应及其在食品工业中的应用[J].北京农学院学报,2006(1):67-75.
- [6] 王葳,张绍志,陈光明.功率超声波在食品工艺中的应用[J].包装与食品机械,2001,19(5):12-16.
- [7] 蔡华珍,谭波.间歇式超声波处理对低盐咸肉腌制影响的初步研究[J].食品工业科技,2007(2):68-70.
- [8] 蔡华珍,王银传.超声波技术加工低盐咸肉的工艺研究[J].食品科学,2008,29(2):192-195.
- [9] BUEGE J A, AUST S D. Microsomal lipid peroxidation[J]. Methods in Enzymology, 1983, 52: 302-304.
- [10] MARMER W N, MAXWELL R J, WILLIAMS J E. Effects of dietary regimen and tissue site on bovine fatty acid profiles[J]. Journal of Animal Science, 1984, 59: 109-121.
- [11] AOCS. Official method Ce 1b-89: Fatty acid composition by glc[M]. 5th ed. Champaign: American Oil Chemists Society Press, 2001.
- [12] 陈银基,周光宏,鞠兴荣.蒸煮与微波加热对牛肉肌内脂肪中脂肪酸组成的影响[J].食品科学,2008,29(2):130-136.
- [13] 陈银基,周光宏,鞠兴荣.低剂量 $\gamma$ 辐照对牛肉肌内脂肪酸组成及牛肉质量的影响[J].食品科学,2008,29(7):81-85.
- [14] ULBRICHT T L, SOUTHGATE D A T. Coronary heart disease: seven dietary factors[J]. The Lancet, 1991, 338: 985-992.
- [15] WOOD J D, RICHARDSON R I, NUTE G R, et al. Effects of fatty acids on meat quality: a review[J]. Meat Science, 2004, 66(1): 21-32.
- [16] 陈银基,周光宏.反式脂肪酸分类、来源与功能研究进展[J].中国油脂,2006,31(5):7-10.
- [17] 梁华,钮琰星,黄凤洪,等.超声波在食品工业上的应用[J].食品工业科技,2008(7):35-39.
- [18] 李爱林,陈学杰,吴小蔚.超声波对体外培养猪前脂肪细胞增殖分化的抑制效应[J].中国组织工程研究与临床康复,2007,11(7):1391-1393.