

微波和超声波辅助处理对干制横山羊肉中脂肪酸的影响

高天丽, 李林强, 张 婷, 刘永峰*, 赵 璐
(陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710062)

摘 要: 陕西横山羊肉属于国家地理标志产品, 为研究微波和超声波辅助处理对干制羊肉中脂肪酸种类和含量的影响, 分别采用微波、超声波处理干制横山羊肉, 用气相色谱-质谱法 (gas chromatograph-mass spectrometer, GC-MS) 测定2种处理干制羊肉中脂肪酸的种类及含量。结果表明: 与空白处理组相比, 采用微波和超声波辅助处理对干制羊肉中脂肪酸的种类无影响, 但对脂肪酸相对含量有一定影响, 其中微波辅助处理在降低总饱和脂肪酸 (saturated fatty acids, SFA) 的同时增加了总多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acids, PUFA) 的相对含量 ($P < 0.05$), $n-6/n-3$ PUFA值减小 ($P < 0.05$), 使其符合营养学推荐水平。超声波辅助处理对干制羊肉中总SFA、单不饱和脂肪酸 (monounsaturated fatty acids, MUFA) 和PUFA相对含量影响不显著 ($P > 0.05$), 但明显降低了 $C_{14:0}$ 及 $cis-9 C_{16:1}$ 的相对含量 ($P < 0.05$)。结论: 微波和超声波辅助处理均可不同程度地提高了干制横山羊肉脂肪酸营养价值, 以微波辅助处理效果较明显。

关键词: 横山羊肉; 干制; 脂肪酸; 微波; 超声波

Effects of Microwave/Ultrasonic Assisted Treatments on Fatty Acids of Dried Goat Meat

GAO Tianli, LI Linqiang, ZHANG Ting, LIU Yongfeng*, ZHAO Lu
(College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: In order to study the effects of microwave/ultrasonic assisted treatments on the fatty acid composition of dried mutton, dried samples of Hengshan goat meat from Hengshan county of Shaanxi province, a national geographical indication production product, were subjected to microwave and ultrasonic assisted treatments and then analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) for fatty acid composition. The results showed that compared with untreated control samples, both treatments affected the types but not the relative contents of fatty acids. The microwave treatment resulted in a reduction in total saturated fatty acids (SFA) and simultaneously an increase in total polyunsaturated fatty acids (PUFA) ($P < 0.05$) as well as a decrease in $n-6/n-3$ PUFA ratio ($P < 0.05$), making them reach the nutritionally recommended levels. The ultrasonic treatment did not significantly influence the relative contents of total SFA, monounsaturated fatty acids (MUFA) and PUFA in dried mutton ($P > 0.05$), but it significantly decreased $C_{14:0}$ and $cis-9 C_{16:1}$ ($P < 0.05$). Conclusively, both microwave and ultrasonic treatments improved the nutritive value of dried Hengshan mutton in terms of fatty acids, with the former being more effective than the latter.

Key words: Hengshan goat meat; drying; fatty acid; microwave; ultrasonic

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201701002

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2017) 01-0007-06

引文格式:

高天丽, 李林强, 张婷, 等. 微波和超声波辅助处理对干制横山羊肉中脂肪酸的影响[J]. 肉类研究, 2016, 30(11): 7-12.
DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201701002. <http://www.rlyj.pub>

GAO Tianli, LI Linqiang, ZHANG Ting, et al. Effects of microwave/ultrasonic assisted treatments on fatty acids of dried goat meat[J]. Meat Research, 2016, 30(11): 7-12. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201701002. <http://www.rlyj.pub>

收稿日期: 2016-07-06

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程计划项目 (2015KTTSNY04-07; 2016KTCL02-36);

中央高校基本科研业务费专项 (GK201502008); 农业部农产品加工重点实验室开放课题项目 (2015002)

作者简介: 高天丽 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为畜产品科学。E-mail: 253666130@qq.com

*通信作者: 刘永峰 (1981—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为畜产品科学与营养。E-mail: yongfeng200@126.com



肉类工业将原料肉经风干、加热等方式加工成各种干制肉品进行保藏和食用,以增加肉类的贮藏时间及营养价值,如肉干、肉松、肉脯、火腿及肉品固体饮料等^[1-2]。横山羊肉,系陕北白绒山羊肉,是2010年国家地理标志产品,其肉香浓郁、风味独特,在羊肉中独具特色,被誉为“肉中人参”,且羊所食植被中富含苜蓿、沙棘、百里香等,采食后可使羊肉香味十足,细腻无膻^[3]。脂肪酸的组成和含量是影响羊肉品质和风味的重要因素^[4]。目前,地方品种羊肉脂肪酸的研究主要集中于生鲜原料肉,王蕊等^[5]在成都麻羊肉脂中共检测出15种脂肪酸;李爱华等^[6]研究发现宁夏盐池滩羊肌内脂肪酸组成与肉品质存在显著相关性。横山羊肉作为陕西特色羊肉产品,关于其干制肉样中脂肪酸还未开展相关研究。

微波是频率介于300 MHz和300 GHz、波长介于1 mm到1 m之间的一种高频电磁波,微波炉可将电能转换为高频微波而被水和脂类吸收,促使食物内部微粒剧烈振动产生热能。超声波指频率超过20 kHz的声波,具有“空化效应”、“力学效应”和“微流效应”等。本实验为了探究微波和超声波辅助处理对干制横山羊肉中脂肪酸的影响,将生原料肉烘干制成干制肉样,并参考陈银基^[7]、刘永峰^[8]等关于微波和超声波在肉品脂肪酸中的研究,分别测定较优工艺条件下微波和超声波辅助处理后干制羊肉中脂肪酸的种类及含量,旨在揭示微波和超声波辅助处理对干制横山羊肉脂肪酸的影响,以期为干制横山羊肉的深度加工利用提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

横山羊肉,来自于30月龄成年的陕北白绒山羊公羊,体质量约31 kg,屠宰于榆林洋洗农牧业有限公司,剔除脂肪,冷冻保存。

石油醚、氯化钠、甲醇、三氟化硼甲醇均为分析纯天津市致远化学试剂有限公司;正己烷、异辛烷均为色谱纯天津市福晨化学试剂厂;37种脂肪酸甲酯混合标准样品(质量浓度10.000 mg/mL) 美国Sigma-Aldrich公司。

1.2 仪器与设备

QP2010单四极杆气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司;JA2003N电子天平 上海精密科学仪器有限公司;WD700 (MG-5055M) LG微波炉 乐金电子(天津)电器有限公司;KQ-300超声波清洗机 昆山市超声仪器有限公司;RE-52AA旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;SHB-III循环水式多用真空泵 郑州长城科工贸有限公司;JJ-2组织捣碎匀浆机 江苏省金坛市富华仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 羊肉干制样品的处理

将冷冻横山羊肉在4℃冰箱中缓慢解冻24 h,剔除表面筋膜、脂肪及结缔组织,用组织捣碎机捣碎,在56℃条件下烘烤至可以研磨为止(含水量达到10%以下),得到羊肉干制样品。取羊肉干制样品36 g,平均分为3组,每组12 g,3个平行。3个实验组分别按照如下方式处理。

空白处理组:按GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》中索氏抽提法进行。取4 g羊肉干制样品,置于抽提筒中,安装好装置,加入石油醚,水浴加热回流12 h,旋转蒸发使溶剂和脂肪分离。

微波处理组:取4 g羊肉干制样品,置于三角瓶中,加入12倍体积的石油醚,设定输出功率600 W、频率2 450 MHz进行微波辐照处理,先微波处理5 s,然后关闭微波炉10 s待温度恒定后取出测中心温度,重复上述步骤,直到中心温度达到60℃。处理结束后,过滤提取液,旋转蒸发使溶剂和脂肪分离。

超声波处理组:取4 g羊肉干制样品,放入烧杯中,加入10倍体积的石油醚,用300 W、40 kHz的超声波清洗机持续处理2 h。处理时适时向清洗机中加入冰块,确保温度不超过20℃。处理结束后,过滤提取液,旋转蒸发使溶剂和脂肪分离。

1.3.2 脂肪的皂化、甲酯化

采用GB/T 17376—2008《动植物油脂 脂肪酸甲酯制备》的三氟化硼法。取0.1 g羊肉干制样品粗脂肪于50 mL的烧瓶中,加入0.5 mol/L氢氧化钠-甲醇溶液4 mL及沸石,接冷凝器,68.5℃水浴加热至油滴完全消失(期间不时振摇烧瓶);加入15 g/100 mL的三氟化硼-甲醇溶液5 mL;30 min皂化结束后,再加入2 mL异辛烷;取下冷凝管,拿出烧瓶,立即加入20 mL饱和氯化钠溶液。塞住烧瓶,猛烈振摇15 s,继续加入饱和氯化钠溶液至烧瓶颈部,静止分层,吸取上层溶液并用正己烷稀释1 000倍,作为气相色谱-质谱法(gas chromatograph-mass spectrometer, GC-MS)分析试样。

1.3.3 脂肪酸定性、定量分析

采用峰面积外标法。将10 mg/mL的脂肪酸甲酯混合标准样品用正己烷逐级稀释为5个质量浓度梯度,依次进行GC-MS分析,以各组分的峰面积和质量浓度进行一元线性回归,建立定量工作曲线。

使用相同的GC-MS条件和操作过程对羊肉样品进行分析,根据标准品中各种脂肪酸的保留时间和计算机谱库检索定性;根据建立的标准工作曲线进行定量,得到实验组中各脂肪酸组分的含量,然后分别求得各脂肪酸组分占总脂肪酸的相对含量,所有结果最终以相对含量(%)表示。

1.3.4 GC-MS检测条件

色谱柱: Rxi[®]-5Sil MS毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.2 μm); 进样口温度: 260 ℃; 进样量1 μL; 载气: 高纯度氦气(99.999%), 柱内载气流量1.48 mL/min; 压力为120 kPa; 流量控制模式为恒压模式; 总流量为50 mL/min, 不分流。柱温升温程序: 初始温度120 ℃, 保持1 min, 然后以7 ℃/min速率升温至250 ℃, 不保持, 再以8 ℃/min速率升温至310 ℃, 保持5 min。离子源: 电子轰击源; 电子能量70 eV; 离子源温度200 ℃; 接口温度300 ℃; 倍增器电压0.2 kV, 溶剂延迟3.5 min; 扫描速率: 2 000; 质量扫描范围: 50~600 Hz; 时间: 5~27 min。

1.4 数据处理

3种提取方式各做3次重复, 结果取平均值。所有实验数据均采用Microsoft Excel 2010计算, SPSS 21.0进行方差分析和多重比较, 结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 脂肪酸甲酯混合标准品测定结果

在设定GC-MS条件下, 37种脂肪酸甲酯混合标准品中共检出30种脂肪酸甲酯, 其总离子流色谱图见图1。

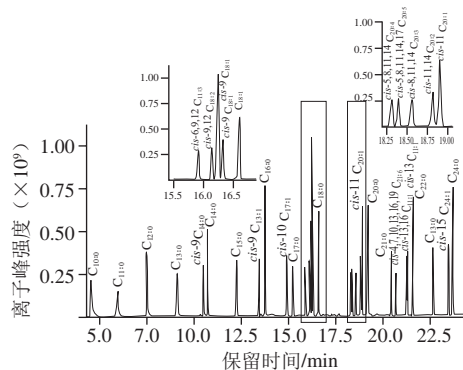


图1 脂肪酸甲酯混合标准样品总离子流色谱图

Fig. 1 Total ion current chromatogram of a mixed standard solution of fatty acid methyl esters

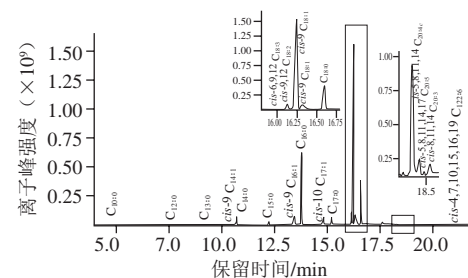
由图1可知, 30种脂肪酸分别为: 羊蜡酸($C_{10:0}$)、十一烷酸($C_{11:0}$)、月桂酸($C_{12:0}$)、十三烷酸($C_{13:0}$)、肉豆蔻油酸($cis-9 C_{14:1}$)、肉豆蔻酸($C_{14:0}$)、十五烷酸($C_{15:0}$)、棕榈油酸($cis-9 C_{16:1}$)、棕榈酸($C_{16:0}$)、十七碳烯酸($cis-10 C_{17:1}$)、珠光脂酸($C_{17:0}$)、 γ -亚麻酸($cis-6,9,12 C_{18:3}$)、亚油酸($cis-9,12 C_{18:2}$)、油酸($cis-9 C_{18:1}$)、反式油酸($trans-9 C_{18:1}$)、硬脂酸($C_{18:0}$)、花生四烯酸($cis-5,8,11,14 C_{20:4}$)、二十碳五烯酸($cis-5,8,11,14,17 C_{20:5}$)

(eicosapntemacnioc acid, EPA)、二十碳三烯酸($cis-8,11,14 C_{20:3}$)、二十碳二烯酸($cis-11,14 C_{20:2}$)、二十碳一烯酸($cis-11 C_{20:1}$)、花生酸($C_{20:0}$)、二十一烷酸($C_{21:0}$)、二十二碳六烯酸($cis-4,7,10,13,16,19 C_{22:6}$) (docosahexaenoic acid, DHA)、二十二碳二烯酸($cis-13,16 C_{22:2}$)、二十二碳烯酸($cis-13 C_{22:1}$)、山嵛酸($C_{22:0}$)、二十三烷酸($C_{23:0}$)、二十四碳烯酸($cis-15 C_{24:1}$)、木蜡酸($C_{24:0}$)。混合标准样品中30种脂肪酸甲酯分离效果良好。各脂肪酸组分所建立的标准方程决定系数 R^2 皆大于0.99, 线性关系良好。

2.2 微波和超声波辅助处理对干制横山羊肉中脂肪酸的影响

2.2.1 微波和超声波辅助处理对干制羊肉脂肪酸种类的影响

在相同的GC-MS条件下, 通过与脂肪酸甲酯混合标准品对照, 发现空白处理组、微波处理组和超声波处理组干制横山羊肉中脂肪酸的种类相同, 其中空白处理组中脂肪酸种类见图2。



2.2.2 微波和超声波辅助处理对干制羊肉脂肪酸相对含量的影响

空白处理、采用微波和超声波辅助处理测得干制横山羊肉中SFA、MUFA和PUFA的含量分别见表1~3。

表1 不同处理方式下干制横山羊肉中饱和脂肪酸的含量
Table 1 SFAs contents of dried Hengshan goat meat with different treatments

脂肪酸种类	空白处理组	微波处理组	超声波处理组
C _{10:0}	0.112±0.007 ^{Aa}	0.118±0.014 ^{Aa}	0.103±0.005 ^{Aa}
C _{12:0}	0.060±0.011 ^{Aa}	0.021±0.018 ^{Ab}	0.040±0.010 ^{Aab}
C _{13:0}	0.117±0.008 ^{Ab}	0.187±0.047 ^{Aa}	0.128±0.015 ^{Ab}
C _{14:0}	2.854±0.178 ^{Aa}	2.345±0.008 ^{Bb}	2.462±0.118 ^{Bb}
C _{15:0}	0.744±0.047 ^{Aa}	0.682±0.059 ^{Aa}	0.657±0.010 ^{Aa}
C _{16:0}	28.567±0.504 ^{Aa}	27.871±1.261 ^{Aa}	29.109±0.198 ^{Aa}
C _{17:0}	2.521±0.108 ^{Aa}	2.146±0.060 ^{Bb}	2.327±0.163 ^{ABab}
C _{18:0}	17.063±0.238 ^{Aa}	15.644±1.000 ^{Ab}	17.243±0.566 ^{Aa}
总SFA	52.038±0.447 ^{Aa}	49.014±2.196 ^{Ab}	52.089±0.639 ^{Aa}

注：同行小写不同字母，表示差异显著（ $P<0.05$ ）；同行大写字母不同，表示差异极显著（ $P<0.01$ ）。下同。

由表1可知，空白处理组的干制羊肉中总SFA的相对含量为52.038%，与采用超声波辅助处理后相似，干制横山羊肉中总SFA约占总脂肪酸含量的1/2，其中C_{16:0}含量最多，其次为C_{18:0}，3个实验组中C_{16:0}和C_{18:0}分别占总SFA相对含量的50%和30%以上，其他种类饱和脂肪酸含量均较低。与空白处理组相比，采用微波辅助处理可显著降低总SFA的相对含量，其降低量为5.811%，这主要是由C_{18:0}的相对含量降低所致（ $P<0.05$ ）；微波辅助处理同时降低了C_{12:0}的相对含量（ $P<0.05$ ），且极显著降低了C_{14:0}和C_{17:0}的相对含量（ $P<0.01$ ）。超声波辅助处理对C_{14:0}的相对含量的降低量达到了极显著水平（ $P<0.01$ ），而对总SFA和其他SFA组分的相对含量无明显影响（ $P>0.05$ ）。以上结果说明采用微波和超声波辅助处理可不同程度降低干制横山羊肉中总SFA及其部分组分的相对含量。

表2 不同处理方式下干制横山羊肉中单不饱和脂肪酸的含量
Table 2 MUFAs contents of dried Hengshan goat meat with different treatments

脂肪酸种类	空白处理组	微波处理组	超声波处理组
<i>cis</i> -9 C _{14:1}	0.579±0.015 ^{Ab}	0.851±0.202 ^{Aa}	0.598±0.061 ^{Ab}
<i>cis</i> -9 C _{16:1}	3.430±0.194 ^{Aa}	3.046±0.194 ^{Ab}	3.009±0.052 ^{Ab}
<i>cis</i> -10 C _{17:1}	2.303±0.129 ^{Aa}	2.250±0.207 ^{Aa}	2.166±0.033 ^{Aa}
<i>cis</i> -9 C _{18:1}	27.492±0.238 ^{Ab}	28.876±0.887 ^{Aa}	28.319±0.617 ^{Aab}
<i>trans</i> -9 C _{18:1}	5.877±0.573 ^{Aa}	5.063±0.109 ^{Aa}	5.163±0.374 ^{Aa}
总MUFA	39.681±0.463 ^{Aa}	40.085±0.676 ^{Aa}	39.255±0.260 ^{Aa}

由表2可知，同空白处理组结果相同，采用微波和超声波辅助处理后，干制横山羊肉中MUFA约占总脂肪酸含量的40%，其中含量最丰富的MUFA是*cis*-9 C_{18:1}，约占总MUFA含量的70%，其次为*trans*-9 C_{18:1}，*cis*-9 C_{14:1}

含量最少，少于总脂肪酸含量的1%。与空白处理相比，采用微波辅助处理后，干制羊肉中总MUFA无明显变化（ $P>0.05$ ），但*cis*-9 C_{14:1}和*cis*-9 C_{18:1}的含量显著增加，而*cis*-9 C_{16:1}的含量明显降低（ $P<0.05$ ）。超声波辅助处理可显著降低*cis*-9 C_{16:1}的含量（ $P<0.05$ ），而对总MUFA和其他MUFA组分的相对含量无明显影响（ $P>0.05$ ）。这说明采用微波和超声波辅助处理对干制横山羊肉中某些MUFA组分的含量有显著影响。

表3 不同处理方式下干制横山羊肉中多不饱和脂肪酸的含量
Table 3 PUFA contents of dried Hengshan goat meat with different treatments

脂肪酸种类	空白处理组	微波处理组	超声波处理组
<i>cis</i> -6,9,12 γ -C _{18:3n-6}	0.703±0.046 ^{Ab}	1.233±0.342 ^{Aa}	0.807±0.113 ^{Ab}
<i>cis</i> -9,12 C _{18:2n-6}	4.036±0.244 ^{Aa}	4.015±0.228 ^{Aa}	3.970±0.170 ^{Aa}
<i>cis</i> -5,8,11,14 C _{20:4n-6}	1.118±0.047 ^{Aa}	1.577±0.349 ^{Aa}	1.157±0.094 ^{Ab}
EPA	0.685±0.041 ^{Ab}	1.164±0.320 ^{Aa}	0.776±0.117 ^{Ab}
<i>cis</i> -8,11,14 C _{20:3n-6}	0.886±0.060 ^{Ab}	1.523±0.413 ^{Aa}	0.998±0.141 ^{Ab}
DHA	0.853±0.045 ^{Ab}	1.389±0.375 ^{Aa}	0.949±0.122 ^{Ab}
总PUFA	8.281±0.106 ^{Ab}	10.901±1.885 ^{Aa}	8.657±0.417 ^{Ab}
<i>n</i> -6 PUFA	6.744±0.176 ^{Ab}	8.348±1.199 ^{Aa}	6.932±0.179 ^{Ab}
<i>n</i> -3 PUFA	1.538±0.085 ^{Ab}	2.553±0.694 ^{Aa}	1.725±0.239 ^{Ab}
P/S	0.159±0.002 ^{Ab}	0.224±0.048 ^{Aa}	0.166±0.010 ^{Ab}
M/S	0.763±0.015 ^{Aab}	0.819±0.045 ^{Aa}	0.754±0.014 ^{Ab}
<i>n</i> -6/ <i>n</i> -3 PUFA	4.398±0.359 ^{Aa}	3.344±0.411 ^{Ab}	4.060±0.438 ^{Ab}

注：P/S. PUFA与SFA的比值；M/S. MUFA与SFA的比值。

由表3可知，采用微波和超声波辅助处理后，干制横山羊肉中总PUFA含量呈现出微波处理组>超声波处理组>空白处理组的顺序。同空白处理组结果一致，采用微波和超声波处理后，PUFA中含量最多的组分均为*cis*-9,12 C_{18:2}，其次为*cis*-5,8,11,14 C_{20:4}，其他PUFA组分的含量相对较少。采用微波辅助处理可明显提高干制羊肉中*cis*-6,9,12 γ -C_{18:3}、*cis*-5,8,11,14 C_{20:4}、EPA、*cis*-8,11,14 C_{20:3}及DHA的相对含量（ $P<0.05$ ），导致总PUFA、*n*-6 PUFA和*n*-3 PUFA含量均显著增加（ $P<0.05$ ），进而使干制羊肉中P/S值和M/S值都显著增加（ $P<0.05$ ），同时促使*n*-6与*n*-3 PUFA比值的降低（ $P<0.05$ ）。超声波辅助处理对干制羊肉中总PUFA及其各组分的含量、P/S、M/S及*n*-6/*n*-3PUFA的值均无显著影响（ $P>0.05$ ）。这说明微波辅助处理可显著改变干制横山羊肉中PUFA及其各组分的含量，而超声波辅助处理对干制羊肉中PUFA含量无明显影响。

3 讨论

营养学家十分注重膳食脂肪酸的摄入量，为了正确的营养饮食和健康的生活方式，重大公共卫生机构建议人们每天摄入均衡比例的SFA、MUFA和PUFA^[9]。本研究在干制横山羊肉中检测出了C_{10:0}、C_{12:0}、C_{13:0}、C_{14:0}、



C_{15:0}、C_{16:0}、C_{17:0}和C_{18:0}等SFA, C_{14:1}、C_{16:1}、C_{17:1}和C_{18:1}等MUFA, 以及C_{18:2}、C_{18:3}、C_{20:4}、EPA和DHA等PUFA, 这与张耀强等^[10]在波杂山羊肌肉中的检测结果以及王倩^[11]在内蒙古羊肉中的检测结果相似。干制横山羊肉中总SFA占总脂肪酸含量的52.038%, 低于王蕊等^[5]研究的成都麻羊肉SFA的相对含量(63.16%); 总MUFA的相对含量为39.681%, 与陈韬等^[12]研究的云南3个地方品种山羊肉中MUFA的相对含量相近(33.25%、36.24%和41.71%); 而总PUFA的相对含量为8.281%, 比陈韬等^[12]研究的云南3个地方品种山羊肉中PUFA的最高含量2.40%要高很多。这表明干制横山羊肉品种较其他地方品种生鲜羊肉具有较高的脂肪酸营养价值, 具有良好的开发利用价值。

SFA对人体具有潜在的生理作用, 但膳食中过量的SFA会引起血液脂蛋白胆固醇含量的增加, 进而危害人体健康。C_{14:0}是导致胆固醇升高的主要因子, 它在提高高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)含量的同时也提高了低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)的含量^[13-14]; C_{18:0}是羊肉中含量较高的一类SFA, 与羊肉膻味存在一定关系^[15]。实验结果表明, 微波辅助处理可显著降低总SFA、C_{14:0}和C_{18:0}的相对含量, 这可能是由于微波对脂肪的辐射导致其发生反应, 因而使脂肪酸种类发生了一定的变化。超声波辅助处理对干制羊肉中总SFA及C_{16:0}、C_{18:0}等主要SFA含量没有显著影响, 这与刘国琴等^[16]在超声波处理花生油中的研究结果类似, 其主要原因在于超声是在低于20℃条件下进行的, 因此超声处理前后, 干制羊肉中含量较高的脂肪酸变化不显著。然而, 超声波处理可降低C_{14:0}的相对含量, 其中一部分原因是在超声处理时, 靠近超声探头处产生的空化效应会使油脂氧化, 导致某些脂肪酸的理化性质及相对含量发生改变^[17]; 另一方面原因是超声波产生的空化效应和热效应等可能会对部分脂肪酸产生聚合或解聚作用, 影响食物中某些脂肪酸的种类, 进而影响其相对含量^[18]。

一些学者认为MUFA对人体健康有益, 并建议在膳食中以MUFA代替部分SFA, 适当增加MUFA的摄入, 有利于降低血脂水平^[19]。cis-9 C_{18:1}是食品中含量最多的MUFA, 也是MUFA生理功能的主要体现者, 具有调节血脂、减少膳食脂肪摄入量、降低血液胆固醇及LDL-C的作用^[20-21]。MUFA是干制横山羊肉中含量仅次于SFA的脂肪酸, 这与李述刚^[22]研究的南疆主要地方品种绵羊肌肉、王倩^[11]研究的内蒙古山羊肉的结果一致。干制羊肉中含量最多的MUFA是cis-9 C_{18:1}, 与Guy等^[23]所研究的羊肉结果保持一致。采用微波处理明显提高了干制羊肉中cis-9 C_{18:1}的相对含量, 其原因是微波对油脂的辐射使其脂肪酸组成发生了一定的变化。

PUFA具有多种生理活性, 是人和动物生长发育所必需的物质, 其主要功效是降血压、血脂及胆固醇, 提高脑细胞的活性, 增强记忆力和思维能力, 有利于冠状动脉心脏疾病的防治^[24-25], 有较高的营养价值。*n*-6和*n*-3系列PUFA是营养学上最具价值的两类脂肪酸, 也是PUFA中发挥生物学效应的主要营养素, 对高等动物有必不可少的功能, 尤其是*n*-3 PUFA在机体内具有广泛的生理功能和生物学效应, EPA和DHA同属*n*-3系列PUFA, 有益于预防和治疗心脑血管疾病、II型糖尿病、皮炎和癌症等^[26-28]; 膳食中*n*-6/*n*-3 PUFA过高与肥胖、代谢综合征等慢性疾病的发生有密切关系^[29-30], 当今饮食条件下, *n*-6 PUFA的摄入一般过量, 而*n*-3 PUFA摄入不足, 建议增加膳食中*n*-3 PUFA的摄入量比例, 营养学上推荐*n*-6/*n*-3 PUFA应小于4^[31]。实验结果表明, 干制横山羊肉中的PUFA主要有cis-6,9,12 γ -C_{18:3}、cis-9,12 C_{18:2}、cis-5,8,11,14 C_{20:4}、cis-8,11,14 C_{20:3}、EPA和DHA。微波辅助处理可显著增加总PUFA、*n*-3系列PUFA(包括EPA和DHA)和*n*-6系列PUFA(cis-6,9,12 γ -C_{18:3}、cis-5,8,11,14 C_{20:4}和cis-8,11,14 C_{20:3})的相对含量, 且经微波处理后, 干制羊肉中*n*-6/*n*-3 PUFA的值降低为3.344, 符合营养学推荐水平。微波辅助处理改变了干制羊肉中某些PUFA相对含量是因为微波处理较空白处理效率高、用时短, 处理条件温和, 因而氧化分解速率较低, 故有利于不饱和脂肪酸的保护^[32]。

4 结论

干制横山羊肉中相对含量最高的脂肪酸是SFA, 占总脂肪酸含量的52.038%, 其次为MUFA, 占39.681%, PUFA含量最少, 只占总脂肪酸含量的8.281%, 采用微波和超声波辅助处理可不同程度地改变干制羊肉中各脂肪酸组分的相对含量。微波辅助处理可使干制羊肉中总SFA的相对含量降低, 总PUFA的含量增加, 进而使P/S的值增加, *n*-6系列与*n*-3系列PUFA的比值降低, 使其达到营养学推荐水平。超声波辅助处理对干制羊肉中总SFA、MUFA和PUFA含量没有显著影响, 但可显著降低SFA中C_{14:0}的含量及MUFA中cis-9 C_{16:1}的相对含量。因此, 采用微波和超声波辅助处理可不同程度提高干制横山羊肉中脂肪酸的营养价值, 且以微波辅助处理效果更为明显, 它们对于干制横山羊肉的深度加工利用具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 罗欣, 周光宏. 中国肉制品的过去、现在和发展[J]. 肉类研究, 2008, 22(7): 9-12.
- [2] 孙俊梅, 王卫, 张崑, 等. 牦牛配方肉粉的营养成分分析[J]. 食品科技, 2014, 39(2): 130-133.

- [3] 薛瑞, 朱海舰, 王托平, 等. 横山羊肉的品质特征与历史渊源[J]. 中国畜禽种业, 2010, 6(11): 63-66.
- [4] 张利平, 吴建平. 肉羊体脂脂肪酸与肉品质关系的研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2000, 35(4): 363-369. DOI:10.13432/j.cnki.jgsau.2000.04.001.
- [5] 王蕊, 王杰, 杨明, 等. 成都麻羊肉脂中脂肪酸组成特点的研究[J]. 中国畜牧杂志, 2007, 43(17): 59-61.
- [6] 李爱华, 李蓓蓓. 宁夏盐池滩羊肌肉中脂肪酸的组成及营养特性[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2006(10): 110-111.
- [7] 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.
- [8] 刘永峰, 咎林森, 李景景, 等. 超声波辅助食盐腌制对不同部位秦川牛肉脂肪酸组成的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(10): 1992-2001. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2012.10.012.
- [9] SICILIANO C, BELSITO E, MARCO R D, et al. Quantitative determination of fatty acid chain composition in pork meat products by high resolution ^1H NMR spectroscopy[J]. Food Chemistry, 2013, 136(2): 546-554. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.08.058.
- [10] 张耀强, 郑中朝. 不同年龄波杂山羊肌肉中脂肪酸的组成[J]. 甘肃农业大学学报, 2007, 42(5): 20-23. DOI:10.13432/j.cnki.jgsau.2007.05.017.
- [11] 王倩. 内蒙古牛羊肉脂肪酸测定及其特征研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [12] 陈韬, 葛长荣, 黄启超. 云南三个地方品种山羊肉脂中脂肪酸的比较[J]. 中国草食动物, 2004(3): 10-11.
- [13] KRISETHERTON P M, YU S. Individual fatty acid effects on plasma lipids and lipoproteins: human studies[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1997, 65(5): 1628S-1644S.
- [14] TEMME E H, MENSINK R P, HORNSTRA G. Effects of medium chain fatty acids (MCFA), myristic acid, and oleic acid on serum lipoproteins in healthy subjects[J]. Journal of Lipid Research, 1997, 38(9): 1746-1754.
- [15] 李维红, 吴建平, 王欣荣. 靖远滩羊体脂脂肪酸与肉品质关系的研究[J]. 中国草食动物, 2005, 25(1): 54-55.
- [16] 刘国琴, 李琳, 胡松青, 等. 功率超声和微波处理对花生油脂肪酸组成的影响[J]. 中国油脂, 2005, 30(7): 46-49.
- [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. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2008.07.074.
- [18] 陈银基, 鞠必荣, 周光宏. 食盐腌渍与超声波处理对牛肉脂肪酸组成的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(19): 13-18.
- [19] 郭红卫, 席静. 膳食脂肪对高血压人群血脂水平的影响[J]. 中华预防医学杂志, 2002, 36(4): 250-252.
- [20] 陈合, 许牡丹. 新型食品原料制备技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 147-149.
- [21] 蔡妙颜, 李冰, 袁向华. 膳食中的脂肪酸平衡[J]. 粮油食品科技, 2003, 11(2): 37-39. DOI:10.16210/j.cnki.1007-7561.2003.02.017.
- [22] 李述刚. 新疆主要地方品种绵羊肌肉营养成分测定研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [23] GUY F, PRACHE S, THOMAS A, et al. Prediction of lamb meat fatty acid composition using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS)[J]. Food Chemistry, 2011, 127(3): 1280-1286. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.01.084.
- [24] 崔佳, 李绍钰. 多不饱和脂肪酸与居民营养[J]. 中国食物与营养, 2007(5): 46-48.
- [25] SIRI-TARINO P W, SUN Q, HU F B, et al. Saturated fatty acids and risk of coronary heart disease: modulation by replacement nutrients[J]. Current Atherosclerosis Reports, 2010, 12(6): 384-390. DOI:10.1007/s11883-010-0131-6.
- [26] 郑秋甫. Omega-3多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 中华保健医学杂志, 2011, 13(5): 357-360. DOI:10.3969/j.issn.1674-3245.2011.05.001.
- [27] WEI D, LI J, SHEN M, et al. Cellular production of *n*-3 PUFAs and reduction of *n*-6-to-*n*-3 ratios in the pancreatic β -cells and islets enhance insulin secretion and confer protection against cytokine-induced cell death[J]. Diabetes, 2010, 59(2): 471-478. DOI:10.2337/db09-0284.
- [28] 郝颖, 汪之和. EPA、DHA的营养功能及其产品安全性分析[J]. 现代食品科技, 2006, 22(3): 180-183. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2006.03.064.
- [29] GUEBRE-EGZIABHER F, RABASA-LHORET R, BONNET F, et al. Nutritional intervention to reduce the *n*-6/*n*-3 fatty acid ratio increases adiponectin concentration and fatty acid oxidation in healthy subjects[J]. European Journal Clinical Nutrition, 2008, 62(11): 1287-1293. DOI:10.1038/sj.ejcn.1602857.
- [30] 贾曼雪, 薛楠, 曹子鹏, 等. 不同*n*-3/*n*-6多不饱和脂肪酸构成比对大鼠脂代谢和食欲的影响[J]. 卫生研究, 2009, 38(2): 175-178.
- [31] FORTIN A, ROBERTSON W M, TONG A K W. The eating quality of Canadian pork and its relationship with intramuscular fat[J]. Meat Science, 2005, 69(2): 297-305. DOI:10.1016/j.meatsci.2004.07.011.
- [32] 詹汉英, 刘瑞林, 王德金, 等. 微波-超声波协同一步提取衍生化-气相色谱-质谱联用快速分析中药材猫爪草中的脂肪酸[J]. 色谱, 2013, 31(3): 240-248. DOI:10.3724/SP.J.1123.2012.10031.