

# 老腊肉加工过程中脂质水解及氧化的变化研究

李林<sup>1</sup>, 王亚娜<sup>1</sup>, 王晓君<sup>1</sup>, 尚永彪<sup>1,2,3</sup>

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400716) (2. 农业部农产品贮藏保鲜质量安全评估实验室(重庆), 重庆 400716)  
(3. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400716)

**摘要:** 以重庆城口改进型老腊肉为研究对象, 分别提取腌制前、腌制后、电热烘烤、烟熏 5 d、10 d、15 d 共 6 个阶段的试样, 通过测定酸价、过氧化值、TBA、脂肪酶活力及脂肪酸组成等指标, 分析其在加工过程中脂质水解及氧化的变化。结果表明: 酸价在腌制后显著上升, 在其他工艺阶段变化缓慢, TBA 和过氧化值均在电热烘烤后显著上升, 但过氧化值在烟熏阶段呈下降趋势而 TBA 变化不显著; 脂肪水解酶的活力在腌制后显著上升, 经电热烘烤阶段后不断下降; 受脂肪酶水解酶活性的影响, 磷脂和游离脂肪酸的组成成分在烟熏前期变化显著, 其中磷脂和游离脂肪酸的含量及两者脂肪酸组成的变化尤其是多不饱和脂肪酸的变化趋势相反, 而甘油酯的含量及其脂肪酸组成的相对含量保持稳定, 说明磷脂在腊肉加工过程中水解作用显著, 游离脂肪酸主要来源于磷脂的水解。

**关键词:** 腊肉; 低温烟熏; 脂质水解; 脂质氧化

文章编号: 1673-9078(2016)8-252-258

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.8.038

## Lipolysis and Lipid Oxidation During the Process of Chinese Traditional Bacon Development

LI Lin<sup>1</sup>, WANG Ya-na<sup>1</sup>, WANG Xiao-jun<sup>1</sup>, SHANG Yong-biao<sup>1,2,3</sup>

(1.College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China) (2.Quality and Safety Risk Assessment Laboratory of Products Preservation (Chongqing), Ministry of Agriculture, Chongqing 400716, China) (3.Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400716, China)

**Abstract:** Here, modified Chongqing Chengkou bacon was studied using samples collected before and after salting, roasting via electric heat, and smoking for 5, 10, and 15 h to assess changes in lipolysis and lipid oxidation during the processing by measuring acid value (AV), peroxide value (POV), thiobarbituric acid (TBA), lipase activities, and fatty acid composition. The results showed that AV increased sharply after salting, but exhibited slow changes during other phases of processing. TBA and POV values increased markedly after roasting with electric heat, with POV exhibiting a downward trend and insignificant changes in TBA during the smoking phase. Lipase activities were significantly enhanced after salting before a continuous decline during roasting with electric heat. The compositions of phospholipids and free fatty acids varied considerably during the early stage of smoking due to the influence of lipase activity. Changes in the content and fatty acid composition of phospholipids showed opposite trends from those of free fatty acids, especially, polyunsaturated fatty acids; however, the content of triacylglycerols and the relative content of their fatty acids was stable, suggesting that phospholipids play an important role in hydrolysis during the processing, and that phospholipid hydrolysis may be the main source of free fatty acids.

**Keywords:** Chinese traditional bacon; cold-smoking; lipid oxidation; lipolysis

在中国, 腌腊制品历史源远流长, 是中国同时也是世界珍贵饮食文化遗产的重要组成部分, 带有强烈的民族特色。腊肉作为中国传统腌腊制品的典型代表, 其色泽、风味口感受到国内尤其是南方地区的消费者

收稿日期: 2015-07-21

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303082-7); 重庆市特色食品工程技术研究中心能力提升项目(cstc2014pt-gc8001)

作者简介: 李林(1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品安全与质量控制

通讯作者: 尚永彪(1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工

的喜爱, 具有广阔的市场发展空间<sup>[1]</sup>。

脂类物质是腊肉风味形成的重要前体物质。在腊肉加工过程中, 脂类物质首先降解形成游离脂肪酸, 游离脂肪酸通过氧化和降解即可生成一系列小分子挥发性风味物质, 进而赋予腊肉独特的风味<sup>[2]</sup>。近年来, 许多学者对腊肉在低温烟熏过程中的理化性质及脂类物质的变化进行了研究。尚永彪等<sup>[3-4]</sup>对传统腊肉在低温烟熏过程中脂质氧化及其风味成分的变化做了深入研究并证实了脂肪的水解和氧化是腊肉特色风味形成的重要原因。Huang 等<sup>[5]</sup>则研究了传统腊肉在低温烟

熏过程中脂质水解和氧化的变化及两者的相关性, 研究认为脂质水解的主要底物为磷脂, 且其水解作用可促进脂质氧化, 有利于风味的形成。

重庆城口腊肉是低温烟熏腊肉的典型代表, 但加工周期长达 30 d 以上, 而通过电热烘烤-低温烟熏的新工艺, 可快速除湿并适当缩短烟熏的时间, 提高了老腊肉工业化生产的效率。腊肉加工条件等因素的变化影响脂类物质的水解和氧化程度, 进而影响其风味和品质<sup>[6]</sup>。本试验以重庆城口改进型老腊肉为研究对象, 通过系统研究腊肉在低温腌制烟熏过程中脂质水解、氧化的变化及两者的变化规律和相关性, 有利于掌握工艺的关键控制点, 并确定各阶段的最佳工艺时间, 以为腊肉加工工艺的进一步优化提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 材料

改进型老腊肉加工过程中各阶段试样均由重庆鹏城源食品有限公司提供。其加工工艺为:

猪肉洗净→切条→腌制 48 h→60 °C 电热烘烤 20 h→20~22 °C 下烟熏 15 d→成品

取样方法: 在同一批次腊肉加工过程中, 分别取腌制前、腌制后、电热烘烤后、烟熏 5 d、烟熏 10 d、烟熏 15 d 的肉样, 取样部位为后腿瘦肉。

#### 1.1.2 试剂

14%三氟化硼-甲醇溶液, 美国 Sigma 公司; 十七酸甲酯、4-甲基伞形酮, 上海安谱实验科技股份有限公司; 石油醚 (30~60 °C)、三氯甲烷、甲醇等均为分析纯, 成都市科龙化工试剂厂。

### 1.2 仪器与设备

2010 型 GC-MS 联用仪, 日本岛津公司; 氨丙基固相萃取小柱, 上海安谱实验科技股份有限公司; Avanti J-301 型冷冻离心机, 美国贝克曼库尔特公司; F-2500 型荧光分光光度计, 日本日立。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 理化指标测定

水分含量的测定: 参照国家标准 GB/T 9695.15-2008; pH 的测定参照国家标准 GB/T 9695.5-2008; NaCl 含量的测定参照国家标准 GB/T 12457-2008。

#### 1.3.2 氧化指标测定

酸价和过氧化值的测定参照国家标准 GB/T

5009.37-2003; TBA 的测定参照 Andres 等<sup>[7]</sup>的方法。

#### 1.3.3 脂肪水解酶活力测定

##### 1.3.3.1 酶粗液的提取

参考 Toldra 等<sup>[8]</sup>的方法并稍作改动。准确称取 5~6 g 去除结缔组织和可见脂肪后的各阶段试样, 加入 25 mL、50 mmol/L 的磷酸缓冲溶液 (pH 7.5, 含 5 mmol/L 的 EGTA)。10000 r/min 均质 1 min 后, 于 4 °C、10000×g 离心 20 min, 过滤取上清液得酶粗液并采用双缩脲法测蛋白质的含量。

##### 1.3.3.2 酸性脂肪酶活力的测定

参照 Vestergaard 等<sup>[9]</sup>的方法并稍作改动。取 0.1 mL 上述酶粗液, 加入 2.8 mL、0.1 M 磷酸氢二钠/0.05 M 柠檬酸缓冲溶液 (pH 5.0, 含 0.05% (m/V) Triton X-100、0.8 mg/mL BSA), 添加 0.1 mL、1.0 mmol/L 的 4-甲基伞形酮油酸酯作为底物, 于 37 °C 下保温 30 min 后, 立即添加 0.5 mL、1 M 的盐酸终止反应, 并在波长为  $\lambda_{ex}=355$  nm 和  $\lambda_{em}=460$  nm 处测定荧光度。

##### 1.3.3.3 中性脂肪酶活力的测定

参照 Vestergaard 等<sup>[9]</sup>的方法并稍作改动。取 0.1 mL 上述酶粗液, 加入 2.8 mL、0.22 M Tris-HCl 缓冲溶液 (pH 7.5, 含 0.05% (m/V) Triton X-100) 混匀稀释后, 添加 0.1 mL、1.0 mmol/L 的 4-甲基伞形酮油酸酯作为底物, 于 37 °C 下保温 30 min 后, 立即于冰水浴中终止反应, 并在波长为  $\lambda_{ex}=355$  nm 和  $\lambda_{em}=460$  nm 处测定荧光度。

##### 1.3.3.4 酸性磷脂酶活力的测定

其测定方法与酸性脂肪酶活力的测定方法相同, 但其缓冲溶液为 0.1 M 磷酸氢二钠/0.05 M 柠檬酸缓冲溶液 (pH 5.0, 含 0.05% (m/V) Triton X-100、0.8 mg/mL BSA、150 mmol/L NaF)。

空白分别以上同体积的提取酶所用缓冲液代替酶粗液。同时, 分别用以上三种缓冲液配制系列浓度的 4-甲基伞形酮溶液并作标准曲线, 定义 1 g 酶蛋白在 1 h 内产生 1 nmol 的 4-甲基伞形酮为 1 个酶活力单位(U)。

#### 1.3.4 脂肪酸组成测定

##### 1.3.4.1 肌内脂肪的提取

参考 Folch 等<sup>[10]</sup>的方法并稍作改动。将样品绞碎并采用氯仿-甲醇溶液(2:1, V/V)提取后, 在于旋转蒸发器中浓缩干燥得肌内脂肪并称重, 表示为 g/100 g 样品。

##### 1.3.4.2 脂质分离

参考 Kaluzny 等<sup>[11]</sup>的方法并稍作改动。准确称取 20.0 mg 脂质并用 1.0 mL 氯仿溶解, 使用氨丙基固相萃取小柱进行分离萃取。先用 1.0 mL 氯仿活化小柱,

用 2.0 mL 氯仿-异丙醇(2:1, 体积比)洗脱中性脂肪, 然后用 3.0 mL 的 2%乙酸-乙醚(质量比)洗出游离脂肪酸并收集洗脱液, 最后用 3.0 mL 甲醇溶液洗出磷脂。各提取液蒸干称重, 甘油酯的含量表示为中性脂肪含量减去游离脂肪酸的含量, 甘油酯和磷脂的含量表示为 g/100 g 脂肪。

#### 1.3.4.3 脂肪酸甲酯化

取 1.3.4.2 提取的甘油酯和磷脂样品 0.1 mL、0.2 mL, 挥干溶剂, 加入 2 mL 的 14%三氟化硼-甲醇溶液(质量比)甲酯化 30 min(60 °C 水浴加热)。冷却后加 1 mL 水和 1 mL 正己烷, 振荡静置使其分层, 完全吸取上层有机层后, 挥干溶剂, 用正己烷定容至 0.2 mL, 以备气质联用分析。

取游离脂肪酸样品 0.1 mL, 甲酯化步骤同上, 挥干溶剂定容至 0.2 mL 时, 加入十七烷酸甲酯作内标(40 µg/mL)。

#### 1.3.4.4 GC-MS 分析

GC 条件: 柱箱温度 160 °C; 进样口温度 230 °C;

进样模式: 分流; 分流比 5:1; 压力 100.1 kPa; 总流量 9.2 mL/min; 柱流量 1.04 mL/min; 线速率 38.9 mL/min; 次扫流量 3 mL/min。

升温程序: 160 °C 保持 3 min, 以 4 °C/min 升至 175 °C, 保持 2 min, 再以 4 °C/min 升至 185 °C, 保持 2 min, 最后以 4 °C/min 升至 230 °C 保持 3 min。

MS 条件: 离子源温度 230 °C; 接口温度 230 °C; 电子能量 70 eV; 质谱扫描范围  $m/z$  40~450。

#### 1.3.4.5 定性定量分析

通过 NIST 08 和 NIST 08s 质谱图库, 以保留指数确定化学成分; 同时, 利用峰面积归一化法计算各主要脂肪酸的含量。

#### 1.3.5 数据分析

利用 SPSS 17.0 和 Origin 8.1 对数据进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 腊肉加工过程中理化指标的变化

表 1 腊肉加工过程中理化性质的变化

Table 1 Changes in physicochemical parameters of traditional bacon during processing

	工艺阶段					
	腌制前	腌制后	电热烘烤	烟熏 5 d	烟熏 10 d	烟熏 15 d
水分含量/%	66.12±0.58 <sup>a</sup>	65.3±2.10 <sup>a</sup>	50.13±0.11 <sup>b</sup>	35.82±1.14 <sup>c</sup>	28.7±0.49 <sup>d</sup>	27.86±0.91 <sup>d</sup>
pH	6.07±0.02 <sup>ab</sup>	6.05±0.01 <sup>ac</sup>	6.04±0.01 <sup>ac</sup>	6.15±0.005 <sup>b</sup>	5.98±0.04 <sup>c</sup>	6.13±0.07 <sup>b</sup>
NaCl/%	0.25±0.00 <sup>a</sup>	3.23±0.03 <sup>b</sup>	3.97±0.04 <sup>c</sup>	5.54±0.08 <sup>d</sup>	6.45±0.05 <sup>e</sup>	6.94±0.09 <sup>f</sup>

注: 结果表示为均值±标准误差, 同行中具有不同角标者为差异显著 ( $p < 0.05$ ), 下同。

腊肉加工过程中理化指标的变化见表 1。由表 1 可知, 水分含量和盐含量变化趋势相反, 在试样烟熏前期, 食盐作用下的渗透脱水和电热烘烤时自由水的快速蒸发导致水分含量显著下降、盐含量显著上升 ( $p < 0.05$ ); 后期因自由水含量降低、蒸发速度下降, 腊肉表面吸附酚醛树脂等物质, 阻止了腊肉组织内部水分的进一步流失<sup>[4]</sup>, 从而使其水分含量和盐含量下降及上升趋势变缓。此工艺下腊肉的最终含水量为 27.86%, 盐含量为 6.94%, 略高于传统腊肉的水分含量和盐含量<sup>[4-5]</sup>。适当提高含盐量有助于抑制微生物的

生长, 含水量较高可改善腊肉的复水性。

pH 值在腊肉加工过程中的波动范围为 5.98~6.15, 小于未烟熏腊肉(5.4~6.4)<sup>[12]</sup>。pH 值在腊肉腌制烘烤阶段时缓慢下降, 在烟熏阶段有一定的波动, 且在烟熏 10 d 时最低, 结合酸价在此时明显升高而过氧化值显著降低的趋势说明: 此时氢过氧化物明显降解而脂质水解程度增大, 两者共同作用导致 pH 值在此时处于最低水平。

### 2.2 腊肉加工过程中脂质氧化的变化

表 2 腊肉加工过程中脂质氧化的变化

Table 2 Changes in lipid oxidation of traditional bacon during processing

	工艺阶段					
	腌制前	腌制后	电热烘烤	烟熏 5 d	烟熏 10 d	烟熏 15 d
酸价(mg/g 脂肪)	0.84±0.06 <sup>a</sup>	1.56±0.01 <sup>b</sup>	1.92±0.40 <sup>bc</sup>	2.24±0.16 <sup>c</sup>	2.61±0.01 <sup>cd</sup>	2.97±0.05 <sup>d</sup>
过氧化值(meq/kg 脂肪)	0.22±0.04 <sup>a</sup>	0.65±0.05 <sup>a</sup>	1.97±0.07 <sup>b</sup>	2.81±0.15 <sup>c</sup>	2.38±0.19 <sup>b</sup>	2.17±0.22 <sup>b</sup>
TBA(mg/kg)	0.26±0.01 <sup>a</sup>	0.38±0.01 <sup>a</sup>	0.74±0.03 <sup>b</sup>	1.07±0.02 <sup>c</sup>	1.17±0.12 <sup>c</sup>	1.23±0.04 <sup>c</sup>

酸价可反映脂质的水解程度。脂质在酶作用下水解形成游离脂肪酸, 而游离脂肪酸的多少则影响酸败

的速度, 含量多则加速酸败、酸价高<sup>[13]</sup>。由表 2 可知, 酸价在腌制过程中快速上升, 而后增长缓慢。这可能

是由于脂肪水解酶在腌制过程中活性增强、脂肪水解加剧,游离脂肪酸增多而导致酸价迅速上升<sup>[14]</sup>,而后经电热烘烤和低温烟熏时,脂肪水解酶活性快速降低,脂肪水解程度减弱而导致酸价上升缓慢;同时,游离脂肪酸作为风味的前体物质,通过在烟熏后期逐渐氧化降解为风味物质也是酸价上升缓慢的原因之一<sup>[15]</sup>。

过氧化值是反映脂肪氧化程度的指标之一。随着游离脂肪酸的生成,其中一些不饱和脂肪酸发生氧化,生成氢过氧化物,从而表现为过氧化值的升高。由表2可知,过氧化值在腊肉加工过程中呈先上升后下降的趋势,其变化趋势说明氢过氧化物在不断积累的同时又分解成醛、酮等小分子物质。同时,随着烟熏时间的延长,酚类等抗氧化物质的不断积累,有助于抑制脂肪的氧化。因此,两者的协同作用表现为过氧化值在烟熏后期有略微的下降。

TBA 通常反映脂肪的最终氧化程度。由表2可知,TBA 值在烟熏前期的变化趋势与过氧化值相似,但其在烟熏阶段变化不显著 ( $p>0.05$ )。这一结果与 Huang 等<sup>[5]</sup>研究结果不同,Huang 等发现 TBA 值在传统腊肉的烟熏后期略微下降。研究结果的不同可能是由于腊肉加工工艺不同,本试样经过电热烘烤,导致其脂肪氧化程度高于传统腊肉,从而表现为 TBA 值在烟熏后期有缓慢上升的趋势。

### 2.3 腊肉加工过程中脂肪水解酶的变化

研究认为,影响脂类物质水解的酶类主要是脂肪酶(酸性脂肪酶和中性脂肪酶)和磷脂酶,通过两者的酶促作用使脂质水解生成游离脂肪酸,形成风味成分的前体物质<sup>[16-17]</sup>。

三种脂肪水解酶在腊肉加工过程中的变化见图1。由图1可知,三种脂肪水解酶的活性均在腌制后显

著提高 ( $p<0.05$ ),而后迅速下降,并在烟熏后期平稳降低。研究认为,脂肪水解酶的活性变化受温度和盐含量的影响<sup>[18]</sup>。在本试验中,脂肪水解酶活性在腌制后显著升高,这可能是由于腊肉在低温腌制时,含盐量较低,对酶活性具有促进作用;而在电热烘烤阶段,经高温处理,水分迅速蒸发导致盐含量升高,细胞结构遭到破坏、细胞质浓缩,从而使脂肪水解酶活性不断下降。同时,在腊肉加工过程中,三种脂肪水解酶活性的大小为酸性脂肪酶>中性脂肪酶>磷脂酶,这一结果与 Vestergaard 等<sup>[9]</sup>一致,但郁延军<sup>[18]</sup>在研究金华火腿生产过程酸、中性脂肪酶和磷脂酶活力变化时发现,中性脂肪酶的活力远高于酸性脂肪酶,磷脂酶在加工前期的活力低于酸性脂肪酶,但在成熟期后其活力高于酸性脂肪酶。研究结果的不同可能是因为脂肪水解酶的变化受加工过程中多种因素的影响,如原料品种和部位、加工工艺和微生物等<sup>[6]</sup>。

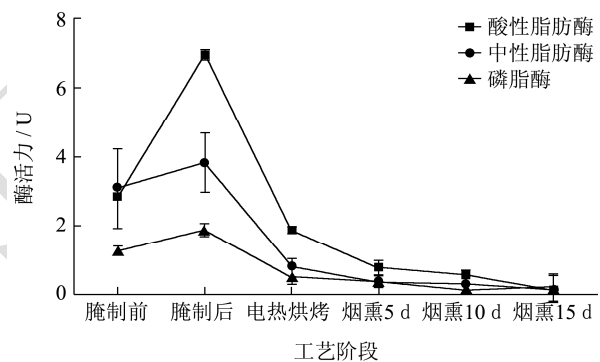


图1 腊肉加工过程中脂肪水解酶活力的变化  
Fig.1 Changes in lipase activity of traditional bacon during processing

### 2.4 腊肉加工过程中肌肉脂质的变化

表3 腊肉加工过程中肌肉脂质含量的变化

Table 3 Changes in the lipid content of traditional bacon during processing

	工艺阶段					
	腌制前	腌制后	电热烘烤	烟熏 5 d	烟熏 10 d	烟熏 15 d
总脂肪/%	4.41±0.27 <sup>a</sup>	4.66±0.29 <sup>a</sup>	7.06±0.49 <sup>b</sup>	9.72±0.48 <sup>c</sup>	10.90±0.21 <sup>d</sup>	12.53±0.13 <sup>e</sup>
甘油酯(g/100 g 脂肪)	76.52±0.76 <sup>a</sup>	80.33±0.68 <sup>b</sup>	81.81±1.66 <sup>b</sup>	82.05±0.73 <sup>b</sup>	82.20±1.38 <sup>b</sup>	82.79±0.81 <sup>b</sup>
磷脂/(g/100 g 脂肪)	20.75±0.71 <sup>a</sup>	15.41±0.72 <sup>b</sup>	13.17±1.45 <sup>bc</sup>	12.29±1.00 <sup>bc</sup>	11.77±1.48 <sup>bc</sup>	10.97±0.72 <sup>c</sup>
游离脂肪酸/(g/100 g 脂肪)	2.73±0.05 <sup>a</sup>	4.26±0.03 <sup>b</sup>	5.02±0.21 <sup>c</sup>	5.66±0.27 <sup>d</sup>	6.03±0.10 <sup>d</sup>	6.24±0.09 <sup>e</sup>

腊肉加工过程中肌肉脂质的变化如表3所示。由于加工过程中水分的散失导致总脂肪呈不断升高的趋势。甘油酯在腌制后显著上升 ( $p<0.05$ ),之后变化不显著 ( $p>0.05$ );磷脂在加工过程中呈下降趋势,由20.75%降至10.97%;游离脂肪酸的变化趋势与磷脂相反,其含量不断升高,由2.73%上升至6.24%。由三

者的变化趋势可知游离脂肪酸主要来源于磷脂的降解。

### 2.5 腊肉加工过程中脂肪酸组成的变化

#### 2.5.1 腊肉加工过程中甘油酯脂肪酸组成的变化

腊肉加工过程中甘油酯脂肪酸的组成变化如表 4 所示。单不饱和脂肪酸 (MUFA) 是甘油酯的主要组成部分, 其次是饱和脂肪酸 (SFA) 和多不饱和脂肪

酸 (PUFA)。而就脂肪酸种类而言, 油酸 (C18:1) 和棕榈酸 (C16:0) 是甘油酯的主要组成成分, 这一结果与 Yang 等<sup>[19]</sup>报道类似。

表 4 腊肉加工过程甘油酯脂肪酸组成的变化

Table 4 Changes in the fatty acid profile of triacylglycerols of traditional bacon during processing

脂肪酸种类	相对含量/%					
	腌制前	腌制后	电热烘烤	烟熏 5 d	烟熏 10 d	烟熏 15 d
C14:0	3.17±0.78 <sup>a</sup>	3.64±0.44 <sup>a</sup>	3.31±0.38 <sup>a</sup>	3.13±0.16 <sup>a</sup>	3.33±0.57 <sup>a</sup>	3.71±0.26 <sup>a</sup>
C15:0	ND	ND	ND	ND	0.02±0.01 <sup>a</sup>	0.04±0.02 <sup>a</sup>
C16:0	35.92±1.55 <sup>a</sup>	36.81±1.66 <sup>a</sup>	36.12±0.80 <sup>a</sup>	34.14±1.76 <sup>a</sup>	33.64±0.42 <sup>a</sup>	35.97±0.58 <sup>a</sup>
C16:1	6.98±0.20 <sup>ab</sup>	5.54±0.02 <sup>a</sup>	6.74±0.18 <sup>ab</sup>	5.64±0.91 <sup>a</sup>	6.83±0.76 <sup>ab</sup>	8.17±0.06 <sup>b</sup>
C18:0	4.53±0.08 <sup>a</sup>	4.93±0.03 <sup>a</sup>	3.81±1.25 <sup>a</sup>	5.44±1.79 <sup>a</sup>	6.54±1.42 <sup>a</sup>	4.02±0.48 <sup>a</sup>
C18:1	44.87±0.81 <sup>ab</sup>	44.08±0.96 <sup>ab</sup>	45.02±0.81 <sup>ab</sup>	46.68±0.35 <sup>a</sup>	44.48±1.92 <sup>ab</sup>	43.06±0.27 <sup>b</sup>
C18:2	4.53±0.09 <sup>a</sup>	5.00±0.25 <sup>a</sup>	5.00±0.70 <sup>a</sup>	4.96±0.70 <sup>a</sup>	5.17±1.24 <sup>a</sup>	5.03±0.34 <sup>a</sup>
SFA	43.62±0.69 <sup>a</sup>	45.37±1.19 <sup>a</sup>	43.24±0.07 <sup>a</sup>	42.71±0.13 <sup>a</sup>	43.53±2.39 <sup>a</sup>	43.75±0.13 <sup>a</sup>
MUFA	51.85±0.61 <sup>ab</sup>	49.62±0.94 <sup>a</sup>	51.22±0.63 <sup>ab</sup>	52.33±0.57 <sup>b</sup>	51.31±1.15 <sup>ab</sup>	51.23±0.21 <sup>ab</sup>
PUFA	4.53±0.09 <sup>a</sup>	5.00±0.25 <sup>a</sup>	5.00±0.70 <sup>a</sup>	4.96±0.70 <sup>a</sup>	5.17±1.24 <sup>a</sup>	5.03±0.34 <sup>a</sup>

注: ND 表示未检出。

由表 4 可知, 饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸在加工过程中变化不显著 ( $p>0.05$ ), 单不饱和脂肪酸在腌制后显著下降 ( $p<0.05$ ), 其后变化不显著 ( $p>0.05$ )。而就脂肪酸种类而言, 在饱和脂肪酸的组成成分中, 仅十五碳酸在烟熏后期检出但其含量无明显变化, 而其他脂肪酸的含量在加工过程中均无显著变化 ( $p>0.05$ ); 单不饱和脂肪酸仅棕榈油酸在腌制后有所

下降, 而后变化不明显; 多不饱和脂肪酸的组成成分在加工过程中无显著变化 ( $p>0.05$ )。综上所述可知, 甘油酯脂肪酸的组成和百分含量在加工过程中较稳定, 这可能是因为甘油酯脂肪酸在腊肉加工过程中的贡献小, 水解作用不明显<sup>[20]</sup>。

### 2.5.2 腊肉加工过程中磷脂脂肪酸组成的变化

表 5 腊肉加工过程中磷脂脂肪酸组成的变化

Table 5 Changes in the fatty acid profile of phospholipids of traditional bacon during processing

脂肪酸种类	相对含量/%					
	腌制前	腌制后	电热烘烤	烟熏 5 d	烟熏 10 d	烟熏 15 d
C14:0	4.55±0.19 <sup>a</sup>	4.96±0.66 <sup>a</sup>	4.26±0.13 <sup>a</sup>	4.10±0.24 <sup>a</sup>	4.47±0.52 <sup>a</sup>	4.44±0.31 <sup>a</sup>
C16:0	24.29±0.80 <sup>a</sup>	26.15±0.45 <sup>b</sup>	26.46±0.34 <sup>b</sup>	27.20±0.46 <sup>b</sup>	26.99±0.07 <sup>b</sup>	26.56±0.71 <sup>b</sup>
C16:1	5.76±0.36 <sup>a</sup>	6.24±0.15 <sup>a</sup>	6.16±0.20 <sup>a</sup>	6.15±0.04 <sup>a</sup>	5.76±0.19 <sup>a</sup>	6.08±0.01 <sup>a</sup>
C18:0	16.33±0.81 <sup>a</sup>	17.37±0.22 <sup>ab</sup>	18.80±0.66 <sup>bc</sup>	19.54±0.19 <sup>cd</sup>	20.96±0.94 <sup>d</sup>	21.33±0.04 <sup>d</sup>
C18:1	18.90±0.70 <sup>a</sup>	20.34±0.86 <sup>a</sup>	21.25±0.91 <sup>a</sup>	21.54±0.35 <sup>a</sup>	21.56±0.15 <sup>a</sup>	22.10±1.60 <sup>b</sup>
C18:2	30.17±0.74 <sup>a</sup>	24.95±0.72 <sup>b</sup>	23.07±0.26 <sup>bc</sup>	21.47±0.35 <sup>cd</sup>	20.25±0.83 <sup>d</sup>	19.49±0.55 <sup>d</sup>
SFA	45.17±1.80 <sup>a</sup>	48.48±0.01 <sup>b</sup>	49.52±0.45 <sup>bc</sup>	50.84±0.03 <sup>bc</sup>	52.42±0.49 <sup>c</sup>	52.34±1.07 <sup>c</sup>
MUFA	24.66±1.06 <sup>a</sup>	26.57±0.71 <sup>a</sup>	27.42±0.71 <sup>a</sup>	27.69±0.38 <sup>a</sup>	27.32±0.34 <sup>a</sup>	28.17±1.61 <sup>b</sup>
PUFA	30.17±0.74 <sup>a</sup>	24.95±0.72 <sup>b</sup>	23.07±0.26 <sup>bc</sup>	21.47±0.35 <sup>cd</sup>	20.25±0.83 <sup>d</sup>	19.49±0.55 <sup>d</sup>

腊肉加工过程中磷脂脂肪酸的组成变化如表 5 所示。饱和脂肪酸是磷脂的主要组成部分, 其次是多不饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸。与甘油酯脂肪酸的组成成分不同, 本试验中多不饱和脂肪酸即亚油酸 (30.17%) 是原料肉的主要组成成分, 其次是饱和脂肪酸中的棕榈酸 (24.29%) 和单不饱和脂肪酸中的油酸 (18.90%), 这一结果与 Muriel 等<sup>[21]</sup>结果相符。

由表 5 可知, 磷脂脂肪酸组成的变化主要发生在烟熏前期, 后期无显著变化 ( $p>0.05$ ), 这主要是因为本试验中的试样经电热烘烤后, 磷脂酶活性迅速降低, 水解作用减弱而导致磷脂脂肪酸各含量在烟熏后期变化小。同时, 与甘油酯脂肪酸含量的变化趋势不同, 磷脂脂肪酸中的多不饱和脂肪酸的含量在烟熏前期显著下降 ( $p<0.05$ ), 饱和脂肪酸的含量显著升高 ( $p<$

0.05), 而单不饱和脂肪酸的含量则无显著变化 ( $p>0.05$ )。在本试验中, 饱和脂肪酸含量的上升主要来自于棕榈酸和硬脂酸的贡献, 多不饱和脂肪酸的降低则来自于亚油酸的大量释放。这主要是因为磷脂含

有高氧化活性的多不饱和脂肪酸长链, 而脂肪酶较倾向于降解极性脂质即磷脂, 因此大量多不饱和脂肪酸被释放出来<sup>[22]</sup>。

### 2.5.3 腊肉加工过程中游离脂肪酸组成的变化

表6 腊肉加工过程中游离脂肪酸组成的变化

Table 6 Changes in the free fatty acid composition of traditional bacon during processing

脂肪酸种类	绝对含量/(g/kg 脂肪)					
	腌制前	腌制后	电热烘烤	烟熏 5 d	烟熏 10 d	烟熏 15 d
C14:0	0.44±0.04 <sup>a</sup>	1.09±0.16 <sup>b</sup>	0.81±0.05 <sup>b</sup>	0.96±0.06 <sup>b</sup>	0.92±0.09 <sup>b</sup>	0.96±0.06 <sup>b</sup>
C16:0	14.00±0.05 <sup>a</sup>	17.66±0.43 <sup>b</sup>	19.32±0.86 <sup>bc</sup>	20.79±0.43 <sup>c</sup>	21.36±0.19 <sup>c</sup>	22.25±0.67 <sup>d</sup>
C16:1	1.29±0.03 <sup>a</sup>	3.00±0.22 <sup>bc</sup>	2.83±0.34 <sup>b</sup>	3.14±0.11 <sup>bc</sup>	3.76±0.08 <sup>c</sup>	3.78±0.37 <sup>c</sup>
C18:0	3.96±0.08 <sup>a</sup>	6.35±0.18 <sup>b</sup>	8.00±0.06 <sup>bc</sup>	9.15±0.69 <sup>cd</sup>	9.98±0.85 <sup>d</sup>	10.38±0.36 <sup>d</sup>
C18:1	5.51±0.09 <sup>a</sup>	10.10±0.34 <sup>b</sup>	13.23±0.69 <sup>c</sup>	15.73±0.79 <sup>d</sup>	16.46±0.11 <sup>d</sup>	17.00±0.06 <sup>d</sup>
C18:2	2.12±0.27 <sup>a</sup>	4.35±0.10 <sup>b</sup>	6.09±0.18 <sup>c</sup>	6.84±0.18 <sup>c</sup>	7.84±0.35 <sup>d</sup>	8.09±0.24 <sup>d</sup>
SFA	18.40±0.09 <sup>a</sup>	25.11±0.10 <sup>b</sup>	28.12±0.86 <sup>bc</sup>	30.90±0.55 <sup>cd</sup>	32.25±1.13 <sup>d</sup>	33.58±0.37 <sup>d</sup>
MUFA	6.79±0.13 <sup>a</sup>	13.10±0.12 <sup>b</sup>	16.97±0.76 <sup>c</sup>	18.87±0.90 <sup>d</sup>	20.22±0.34 <sup>d</sup>	20.78±0.33 <sup>d</sup>
PUFA	2.12±0.27 <sup>a</sup>	4.35±0.10 <sup>b</sup>	6.09±0.12 <sup>c</sup>	6.84±0.18 <sup>d</sup>	7.84±0.35 <sup>e</sup>	8.09±0.24 <sup>e</sup>

腊肉加工过程中游离脂肪酸的组成变化如表6所示。与甘油酯和磷脂脂肪酸组成不同, 饱和脂肪酸是游离脂肪酸的主要组成部分, 其次是单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸。游离脂肪酸各组分的含量随加工阶段的不同而不断变化。饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸均在腌制后显著升高 ( $p<0.05$ ); 在电热烘烤阶段时, 脂肪水解酶活性迅速降低, 饱和脂肪酸较单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸不易氧化, 因此其变化不明显而单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸仍显著升高 ( $p<0.05$ ); 而经过低温烟熏后, 脂肪水解酶活性低、酚类物质的积累, 两者的共同作用导致饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸均在烟熏后期无显著变化 ( $p>0.05$ )。

脂质降解形成游离脂肪酸是风味形成的重要环节。由于脂肪水解酶的活性在腌制后、电炕及烟熏5天时较高, 因此甘油酯、磷脂和游离脂肪酸组成成分的变化在上述三个阶段中变化较大。由表4、5、6可知, 游离脂肪酸中多不饱和脂肪酸(亚油酸)和单不饱和脂肪酸(油酸)在上述三个阶段中显著增加, 此时磷脂的组成成分中亚油酸含量显著降低而其在甘油酯的组成成分中无显著变化。但在上述三个阶段, 磷脂和甘油酯的组成成分中油酸的相对含量均无显著变化, 这可能是由于磷脂中油酸含量较低, 且亚油酸相对含量的降低导致其相对含量略微升高, 而甘油酯的组成成分中多不饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸及饱和脂肪酸在上述三个阶段中均无显著变化, 因此, 游离脂肪酸的组成成分中油酸的变化仍主要来源于磷脂脂肪酸的变化。综上可知, 腊肉加工过程中游离脂肪酸主要是来

源于磷脂的降解, 甘油酯贡献不大。

## 3 结论

3.1 脂质水解和氧化是腊肉风味形成的重要因素, 在腊肉加工过程中, 脂质水解和氧化程度不断变化。

3.2 酸价、过氧化值和TBA是评价腊肉氧化程度的综合指标, 其值的大小受脂肪水解酶活力的影响。在腊肉加工过程中, 脂肪水解酶的活力在腌制后显著上升, 水解能力较高导致酸价显著升高; 而电热烘烤阶段温度较高, 酶活力显著下降, 导致脂质水解能力较弱而氧化程度较高, 从而使酸价变化不明显而过氧化值和TBA显著升高; 由于烟熏阶段酶活力持续缓慢下降而导致酸价和TBA的缓慢上升, 而过氧化值在烟熏阶段呈先升高后降低的趋势, 其变化趋势说明风味物质的不断积累。

3.3 脂质的含量和脂肪酸组成在腊肉加工过程中不断变化。总脂肪的含量在加工过程中呈上升趋势, 其中, 甘油酯的含量在加工过程中无显著变化, 磷脂含量不断下降而游离脂肪酸含量不断升高。同时, 受脂肪水解酶活性的影响, 甘油酯的组成成分并无显著变化, 而磷脂脂肪酸组成成分尤其是多不饱和脂肪酸含量的变化与游离脂肪酸相反, 说明游离脂肪酸主要来源于磷脂的水解, 而磷脂是否为改进型老腊肉风味形成的主要的脂类前体物质则有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 唐静, 张迎阳, 吴海舟, 等. 传统腌腊肉制品挥发性风味物质的研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 283-288

- TANG Jing, ZHANG Ying-yang, WU Hai-zhou, et al. Recent progress on volatile flavor compounds of traditional Chinese cured meat products [J]. Food Science, 2014, 35(15):283-288
- [2] 郭月红,李洪军,韩叙.腊肉加工过程中脂肪氧化分解及其与风味形成的研究进展[J].肉类研究,2005,24(3):33-36
- GUO Yue-hong, LI Hong-jun, HAN Xu. Studing on the progress of lipolysis-lipid oxidation and flavor compouds during processing of Chinese bacon [J]. Meat Research, 2005, 24(3): 33-36
- [3] 尚永彪,吴金凤,夏杨毅,等.农家腊肉冷熏加工过程中挥发性风味物质的变化[J].食品科学,2009,30(17):79-83
- SHANG Yong-biao, WU Jin-feng, XIA Yang-yi, et al. Changes of volatile flavor compounds in traditional Chinese bacon during cold smoking [J]. Food Science, 2009, 30(17): 79-83
- [4] 尚永彪,夏杨毅,吴金凤.传统腊肉低温熏烤过程中脂质氧化及物理化学-感官品质指标的变化[J].食品科学,2010, 31(7):33-36
- SHANG Yong-biao, XIA Yang-yi, WU Jin-feng. Change in lipid oxidation, physio-chemical index and sensory quality of traditional Chinese bacon during low-temperature smoking [J]. Food Science, 2010, 31(7): 33-36
- [5] Huang Y, Li H, Huang T, et al. Lipolysis and lipid oxidation during processing of Chinese traditional smoke-cured bacon [J]. Food Chemistry, 2014, 149: 31-39
- [6] 黄业传.脂肪及脂肪酶在猪肉加工过程中的变化[J].肉类工业,2011,2:54-58
- HUANG Ye-chuan. Fat and lipase's change in pork processing [J]. Meat Industry, 2011, 2: 54-58
- [7] Andres A I, Cava R, Ventanas J, et al. Lipid oxidative changes throughout the ripening of dry-cured iberian hams with different salt contents and processing conditions [J]. Food Chemistry, 2004, 84(3): 375-381
- [8] Toldra F, Flores M, Aristoy M C, et al. Pattern of muscle proteolytic and lipolytic enzymes from light and heavy pigs [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1996, 71(1): 124-128
- [9] Vestergaard C S, Schivazappa C, Virgili R. Lipolysis in dry-cured ham maturation [J]. Meat Science, 2000, 55(1): 1-5
- [10] Folch J, Lees M, Stanley G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues [J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509
- [11] Kaluzny M A, Duncan L A, Merritt M V, et al. Rapid separation of lipid classes in high-yield and purity using bonded phase columns [J]. Journal of Lipid Research, 1985, 26(1): 135-140
- [12] Jin G, Zhang J, Yu X, et al. Lipolysis and lipid oxidation in bacon during curing and drying-ripening [J]. Food Chemistry, 2010, 123(2): 465-471
- [13] Larrea V, Perez-munuera I, Hernando I, et al. Chemical and structural changes in lipids during the ripening of teruel dry-cured ham [J]. Food Chemistry, 2007, 102(2): 494-503
- [14] 郇延军,周光宏,徐幸莲,等.金华火腿加工过程中内源脂肪酶活力变化特点研究[J].食品与发酵工业,2007,33(8):1-6
- HUAN Yan-jun, ZHOU Guan-g hong, XU Xing-lian, et al. Studies on the changing characteristics of endogenous lipase during processing of Jinhua ham [J]. Food and Fermentation Industry. 2007, 33(8): 1-6
- [15] 陈美春,杨勇,石磊.四川腊肉生产过程中理化及微生物特性的研究[J].食品科学,2008,29(5):149-152
- CHEN Mei-chun, YANG Yong, SHI Lei. Physico-chemical and microbial property of sichuan bacon during processing [J]. Food Science, 2008, 29(5): 149-152
- [16] Molly K, Demeyer D, Johansson G, et al. The importance of meat enzymes in ripening and flavour generation in dry fermented sausages. first results of a European project [J]. Food Chemistry, 1997, 59(4): 539-545
- [17] Toldra F, Flores M. The role of muscle proteases and lipases in flavor development during the processing of dry-cured ham [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1998, 38(4): 331-352
- [18] 郇延军.金华火腿加工过程中脂类物质及风味成分变化的研究[D].南京:南京农业大学,2005
- HUAN Yan-jun. Studing on the changes of lipid and flavor compouds during processing of Jinhua ham [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2005
- [19] Yang H J, Ma C W, Qiao F D, et al. Lipolysis in intramuscular lipids during processing of traditional Xuanwei ham [J]. Meat Science, 2005, 71(4): 670-675
- [20] 余兴军,童群义.金华火腿加工过程中肌肉肌内脂的水解变化研究[J].食品与发酵工业,2005,31(1):139-142
- SHE Xing-jun, TONG Qun-yi. Changes of fatty acid in intramuscular lipids during processing of Jinhua ham [J]. Food and Fermentation Industry, 2005, 31(1): 139-142
- [21] Muriel E, Andres A I, Petron M J, et al. Lipolytic and oxidative changes in iberian dry-cured loin [J]. Meat Science, 2007, 75(2): 315-323
- [22] Petron M J, Muriel E, Timon M L, et al. Fatty acids and triacylglycerols profiles from different types of iberian dry-cured hams [J]. Meat Science, 2004, 68(1): 71-77

现代食品科技