

# 风干成熟工艺对风鸭脂质分解氧化影响的研究

王永丽, 章建浩\*, 靳国锋, 张杨萍, 李 锋

(南京农业大学 农业部农畜产品加工与质量控制重点开放实验室, 江苏 南京 210095)

**摘 要:**以樱桃谷鸭为原料, 通过对高温风干成熟和低温风干成熟工艺过程中鸭胸肉和皮下脂质 TBARs 值、POV 值及脂肪氧合酶活力的比较, 研究加工过程中脂质分解氧化规律及其与工艺温度、盐分和时间的相关性。结果表明: 风干 72h 时, 高温风干成熟加工过程中皮下脂肪的 POV 值比低温风干成熟工艺降低了 30.77%, 脂肪氧合酶活力提高了 7.26%, TBARs 值无显著变化; 风干 96h 时, 鸭胸肉 POV 值比低温风干工艺降低了 62.50%; 高温风干成熟过程中游离脂肪酸(FFA)总量与温度呈正相关, 鸭胸肉中盐分和 TBARs 值呈显著的正相关( $p < 0.05$ ), 可以认为盐含量与温度是影响风鸭制作过程中脂质分解氧化的主要因素。

**关键词:**风鸭; 硫代巴比妥酸值; 过氧化值; 游离脂肪酸; 脂肪氧合酶

## Effects of Air-drying Ripening Processing on Lipolysis-oxidation of Dry-cured Duck

WANG Yong-Li, ZHANG Jian-hao\*, JIN Guo-feng, ZHANG Yang-ping, LI Feng

(Key Laboratory for the Processing and Quality Control of Domestic Animal Products,  
Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract** The lipolysis-oxidation and its correlations with temperature, NaCl content and air-drying duration were investigated by comparing TBARs, POV and lipoxigenase activity in subcutaneous and intramuscular lipids of dry-cured duck (Cherry Valley variety) during high-temperature (18°C for 24 h–21°C for 48 h–24°C for 72 h–26°C for 96 h) and low-temperature (8°C for 24 h–11°C for 48 h–14°C for 72 h–16°C for 96 h) ripening. The results showed that in contrast with low-temperature processing, the POV in subcutaneous lipid was decreased by 30.77% after 72 h high-temperature ripening, and that in intramuscular lipid by 62.50% after 96 h drying; meanwhile, the activity of lipoxigenase was elevated by 7.26% while no significant changes were observed in TBARs. Additionally, the content of free fatty acid (FFA) was positively correlated with temperature during high-temperature processing; As well, NaCl content was significantly positively correlated with TBARs, suggesting that NaCl content and temperature were main factors responsible for lipolysis-oxidation.

**Key words:** dry-cured duck; TBARs; POV; FFA; lipoxigenase

中图分类号: 201.22

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)14-0081-06

风干禽制品是我国特有的传统腌腊肉制品, 主要有风鸡、风鹅和风鸭等, 在我国四川、湖南、江苏和浙江等地已规模化生产。近年来, 国内外对风干禽类肉制品研究较多<sup>[1-5]</sup>, 探讨了传统风干成熟工艺加工过程中脂质分解氧化规律及呈味物质的形成机理。脂质分解氧化是风鸭高温发酵成熟过程中一个主要的生化反应过程, 是风鸭风味形成的主要途径, 受加工工艺过程中温度和湿度条件及过程产品中盐分、水分的影响<sup>[1]</sup>。温度升高能提高脂肪酶的活性, 加速脂质分解氧化和风味的形成与积累<sup>[6]</sup>; 风干时间对产品的风味也有影响, 风干时间过长, 产品易产生氧化味<sup>[3]</sup>, 并且易引起腐败菌

的生长。根据火腿现代工艺的研究, 提高发酵成熟温度能降低 TBA 值和过氧化值<sup>[7]</sup>, 故本研究拟采用提高风干温度, 缩短发酵时间方法避免上述问题的出现。

由于受工艺设备的限制, 传统风鸭等禽类风干产品一般采用 16~18°C 的风干成熟工艺, 其风味品质的提高受到限制。目前高温风干成熟工艺对风鸭脂肪氧化及风味形成的影响鲜有报道, 本研究采用风干强化高温成熟工艺, 加速风鸭产品风味的产生, 探索其风干成熟过程中脂肪分解氧化与工艺参数的相关性, 以期研究开发风鸭新生产工艺提供理论依据。

## 1 材料与方法

收稿日期: 2008-10-29

基金项目: 江苏省科技攻关项目(BE2007322)

作者简介: 王永丽(1983—), 女, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工与质量控制。E-mail: lily8941@163.com

\* 通讯作者: 章建浩(1961—), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工与质量控制。E-mail: nau\_zjh@yahoo.com

### 1.1 材料与试剂

90日龄体重为1.63kg的樱桃谷冻鸭36只,购于南京农贸市场。

0.02mol/L 硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)、20% 三氯乙酸(*m/V*)、石油醚(30~60℃)、氯仿:冰乙酸(2:3, *V/V*)、饱和碘化钾、0.002mol/L 硫代硫酸钠标液、淀粉指示剂、酚酞指示剂、2mol/L 氢氧化钠溶液、0.1mol/L 硫氰酸钾标准溶液、0.1mol/L 硝酸银标准溶液、硫酸铁铵饱和溶液、0.05mol/L 磷酸缓冲液(pH7.0)、0.05mol/L 柠檬酸缓冲液(pH5.5)和吐温-20;氯仿、甲醇、正己烷等均为色谱纯;亚油酸底物、游离脂肪酸标样 Sigma 公司。

### 1.2 仪器与设备

RE-52AA 型旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂; UV-2450 紫外分光光度计 日本岛津公司; SPX-250 型恒温恒湿箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; 722 型可见光光度计 上海精密科学仪器有限公司; XHF-1 高速分散机 上海金达生化仪器公司; Allegra 64R 型高速冷冻离心机 美国 Beckman coulter 公司; GC-14B 气相色谱仪 日本岛津公司; HH-42 快速恒温数显水浴箱 上海亚荣生化仪器厂。

### 1.3 风鸭制作工艺及取样方法

采用控温控湿的现代风干成熟工艺制作,工艺流程为:原料鸭→清洗→湿腌→沥水→风干成熟4d(控温控湿)→成品。腌制液所用盐浓度为12%,具体工艺参数见表1。加工过程中分别于原料、腌制结束、风干24h、风干48h、风干72h、风干96h共6个工艺点取样( $n=3$ ),取鸭胸肉和皮下脂肪为测定样品,真空包装编号后存于4℃冰箱贮存备用。

表1 风鸭腌制风干成熟工艺参数

Table 1 Parameters for high-temperature and low-temperature ripening of dry-cured duck

工艺步骤	相对温度(%)	温度(℃)	
		高温风干成熟	低温风干成熟
腌制	86.4	4	4
风干24h	58~63	18	8
风干48h	58~60	21	11
风干72h	55~58	24	14
风干96h	55~58	26	16

### 1.4 理化指标测定

水分含量测定按 GB/T5009.3—2003 直接干燥法进行;盐分测定按 GB/T9695.8—88 的方法进行;过氧化值(peroxide value, POV)测定按 GB/T5009.37 的方法进行;硫代巴比妥酸值(TBARs)的测定参照 Mielche 等<sup>[8]</sup>的方法。

### 1.5 脂肪氧合酶活力的测定

参照 Gata 等<sup>[9]</sup>的方法并稍作修改。

粗酶液提取:取2g样品,剪碎,与5倍体积的0.05mol/L 磷酸缓冲液(pH7.0,内含1mmol/L的 $\beta$ -巯基乙醇,0.5mmol/L的苯磺酸氟化物和2mmol/L的EDTA)混合,冰水浴中匀浆40s,静置20~30min,15000×g离心15min,取上清液用于酶活力的测定并用凯式定氮法测定蛋白质含量。

底物溶液制备:140mg 亚油酸溶于5ml含有180 $\mu$ l吐温-20的脱氧重蒸水中,并用2mol/L NaOH 调节pH值至9.0,直到亚油酸完全溶解并且pH值保持稳定,然后用脱氧重蒸水定容到50ml,于-20℃氮气环境中贮存备用。

酶活力测定:取200 $\mu$ l亚油酸底物与2.9ml 0.05mol/L 柠檬酸缓冲液混合,于20℃水浴,待其在波长234nm处的吸光度稳定后,加入0.1ml酶液,迅速混匀,于20℃、234nm处测其1min内吸光度的增加量。1个酶活力单位定义为每分钟每克蛋白质吸光度增加1。

### 1.6 脂类分解氧化产物测定

#### 1.6.1 脂质提取

参照 Folch 等<sup>[10]</sup>的方法并稍作修改。取2g样品,剪碎,加入40ml氯仿-甲醇溶液(2:1, *V/V*),冰浴中4000r/min匀浆60s,静置1h过滤除去蛋白结缔组织,加入0.22倍体积盐水[根据肌肉中水分含量估算加入量,使氯仿-甲醇-水为8:4:3(*V/V*)],有利于脂质提取,3000r/min离心15min,吸净上清液(水、甲醇、离子杂质),下层液体转移至平底烧瓶,用旋转蒸发仪在真空条件下干燥,45℃水浴,得到油脂纯品,-20℃贮存备用。

#### 1.6.2 游离脂肪酸(free fatty acid, FFA)分离及测定

根据 Garcia-Regueiro 等<sup>[11]</sup>方法,用100mg的氨丙基硅柱分离。称取20.0mg脂质,用1.0ml氯仿溶解。吸取0.5ml脂质氯仿溶液(约含10mg脂质)上柱,然后依次用2ml氯仿-异丙醇(2:1, *V/V*)和3ml 2%乙酸-乙醚(*m/m*)洗出中性脂质和游离脂肪酸,游离脂肪酸收集备用。用氮吹仪挥干游离脂肪酸溶剂,然后加入2ml 10%三氟化硼-甲醇(*m/m*),加少量2,2-二甲氧基丙烷作为除水剂(吸收甲酯化产生的微量水),60℃水浴30min,使FFA甲酯化。冷却,加1ml蒸馏水和1ml正己烷振荡,静置分层后完全吸取上层有机层,加入400 $\mu$ g十七酸甲酯作为内标,用氮吹仪挥干溶剂,用正己烷定容,以备色谱测定。

各种游离脂肪酸甲酯采用气相色谱仪分析,色谱柱:CP-Sil 88 FAME 柱子(50m × 0.25mm, 0.2 $\mu$ m);升温程序:160~220℃,6℃/min;载气(高纯氮)流速为20ml/min,进样量:1.5 $\mu$ l,分流比1:40;进样口温

度 280℃; 火焰离子监测器(FID)检测温度 280℃。

### 1.7 数据统计与分析

应用 SAS(V8.2)统计软件, 计算 Pearson 相关系数, 进行 ANOVA 分析, 采用邓肯多重范围检验分析不同处理间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 低温和高温风干成熟工艺过程中鸭胸肉水分和盐分的变化

表2 高温风干成熟和低温风干成熟加工过程中鸭胸肉中水分和盐分含量变化情况( $\bar{x} \pm s$ )

Table 2 Changes of moisture and NaCl contents in brisket of dry-cured duck during high-temperature air-drying ripening ( $\bar{x} \pm s$ )

取样工艺点	水分含量(%)		盐分含量(%)	
	高温风干成熟	低温风干成熟	高温风干成熟	低温风干成熟
原料	76.96 ± 0.99 <sup>a</sup>	78.67 ± 1.54 <sup>a</sup>	0.35 ± 0.07 <sup>e</sup>	0.32 ± 0.04 <sup>f</sup>
腌制	71.65 ± 2.08 <sup>b</sup>	73.33 ± 1.52 <sup>b</sup>	3.11 ± 0.38 <sup>d</sup>	3.01 ± 0.07 <sup>e</sup>
风干 24h	69.63 ± 1.57 <sup>bc</sup>	70.01 ± 2.65 <sup>c</sup>	3.74 ± 0.69 <sup>cd</sup>	3.39 ± 0.22 <sup>d</sup>
风干 48h	68.31 ± 2.14 <sup>cd</sup>	69.33 ± 1.53 <sup>c</sup>	4.29 ± 0.36 <sup>c</sup>	3.94 ± 0.26 <sup>c</sup>
风干 72h	65.35 ± 2.05 <sup>de</sup>	67.66 ± 1.54 <sup>cd</sup>	5.24 ± 0.04 <sup>b</sup>	4.80 ± 0.10 <sup>b</sup>
风干 96h	63.67 ± 1.55 <sup>e</sup>	66.00 ± 1.00 <sup>d</sup>	6.41 ± 0.85 <sup>a</sup>	5.60 ± 0.19 <sup>a</sup>

注: 同列中均值标注字母者表示差异极著( $p < 0.01$ )。

如表2所示, 无论是低温风干成熟还是高温风干成熟, 加工工艺对盐分和水分含量都有极显著的影响( $p < 0.01$ ), 随着风干时间的延长, 鸭胸肉中盐分含量逐渐上升, 风干 96h 鸭胸肉中盐分含量达到最高水平(低温为 5.60%, 高温为 6.41%), 两种工艺结束时盐分含量分别比原料提高了 5.28% 和 6.06%; 水分含量随着加工的进行逐渐下降, 在风干后期下降极为显著( $p < 0.01$ )。风干 96h 低温风干和高温风干水分含量分别为 66.00% 和 63.67%, 与原料相比, 低温和高温工艺失水率分别为 16.11% 和 17.27%。

### 2.2 低温和高温风干成熟工艺过程中脂质分解氧化指标的变化

如表3所示, 无论是低温还是高温风干成熟, 在整个风干过程中 TBARs 值和 POV 值在鸭胸和皮下脂质变

化趋势是一致的。方差分析结果表明, 两种加工工艺对皮下脂肪中的 TBARs 值和鸭胸肉中 POV 值都有显著影响( $p < 0.05$ ), 高温风干成熟工艺对皮下脂质的 POV 值有显著影响( $p < 0.05$ ); 低温风干成熟工艺对鸭胸肉的 TBARs 值有显著影响( $p < 0.05$ )。

从生产过程中的变化情况看, 鸭胸肉和皮下脂质的氧化都是从腌制后开始, 皮下脂肪的 TBARs 值在腌制后极显著地增加( $p < 0.01$ ), 风干 48h 前呈上升趋势, 之后下降但无显著差别, 这可能是因为次级产物 MDA (malodialdehyde)与氨基相互作用生成 1-氨基-3-氨基丙烯<sup>[12]</sup>, 从而导致 TBARs 值的下降; Nassu<sup>[13]</sup>也发现发酵山羊肉香肠在贮存中 TBARs 值上升后又下降; Verma<sup>[14]</sup>研究表明山羊肉在低温贮藏过程中 TBARs 值也是先上升后下降。高温风干成熟工艺鸭胸肉的 TBARs 最高值出现在风干 96h, 而低温风干成熟工艺中出现在风干 24h 时, 表明高温风干成熟的脂质氧化出现滞后性, 说明脂质的分解速度大于氧化速度, 以丙二醛为主的醛类物质随着温度的提高可以进一步氧化为有机醇和羧酸<sup>[14]</sup>等风味物质; 但成熟结束时不同工艺处理的鸭胸肉 TBARs 均无显著差异。POV 值在低温和高温风干成熟加工工艺中最高值均出现在风干 72h, 低温风干成熟工艺皮下和鸭胸肉脂质的 POV 值分别为 0.13、0.11g/100g, 高温工艺皮下和鸭胸肉脂质都是 0.09g/100g, 风干 48h 后高温处理工艺的过氧化值显著低于低温处理工艺的过氧化值( $p < 0.05$ ), 说明脂肪氧化的初级产物过氧化物在低温条件下也能大量存在。

### 2.3 低温和高温风干成熟工艺过程中脂肪氧合酶活力的变化

如图1所示, 高温风干成熟工艺对脂肪氧合酶的活力有显著影响( $p < 0.05$ ), 而低温风干成熟工艺对脂肪氧合酶的活力无显著影响。脂肪氧合酶的活力在腌制后都有所提高, 分别达到了 6.66U/min·g (低温工艺)和 14.83U/min·g (高温工艺), 高温风干成熟工艺的酶活力比低温风干成熟工艺提高了 122.67%。风干成熟阶段酶活力逐渐下降, 低温风干 24、48 和 72h 这三个

表3 高温风干成熟和低温风干成熟加工过程中鸭胸肉及皮下脂肪中脂质分解氧化指标的变化( $\bar{x} \pm s$ )

Table 3 Changes of lipid oxidation indexes in brisket and subcutaneous lipids of dry-cured duck during high-and low-temperature air-drying ripening ( $\bar{x} \pm s$ )

取样工艺点	TBARs (mg/kg)				POV (g/100g)			
	鸭胸肉		皮下脂肪		鸭胸肉		皮下脂肪	
	高温风干成熟	低温风干成熟	高温风干成熟	低温风干成熟	高温风干成熟	低温风干成熟	高温风干成熟	低温风干成熟
原料	0.32 ± 0.19 <sup>ba</sup>	0.33 ± 0.02 <sup>ca</sup>	0.07 ± 0.03 <sup>ca</sup>	0.08 ± 0.01 <sup>da</sup>	0.03 ± 0.01 <sup>ca</sup>	0.03 ± 0.01 <sup>ba</sup>	0.03 ± 0.01 <sup>ca</sup>	0.03 ± 0.01 <sup>da</sup>
腌制	0.47 ± 0.05 <sup>abA</sup>	0.42 ± 0.07 <sup>bcA</sup>	0.27 ± 0.03 <sup>bB</sup>	0.44 ± 0.01 <sup>bA</sup>	0.08 ± 0.03 <sup>abA</sup>	0.08 ± 0.03 <sup>aA</sup>	0.08 ± 0.04 <sup>abA</sup>	0.07 ± 0.07 <sup>bcdA</sup>
风干 24h	0.48 ± 0.25 <sup>abA</sup>	0.54 ± 0.08 <sup>aA</sup>	0.31 ± 0.04 <sup>bB</sup>	0.74 ± 0.13 <sup>aA</sup>	0.04 ± 0.01 <sup>ca</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>ba</sup>	0.04 ± 0.02 <sup>bcA</sup>	0.05 ± 0.01 <sup>cdA</sup>
风干 48h	0.58 ± 0.08 <sup>abA</sup>	0.42 ± 0.04 <sup>bcB</sup>	0.46 ± 0.08 <sup>aA</sup>	0.23 ± 0.05 <sup>cB</sup>	0.06 ± 0.02 <sup>bcA</sup>	0.07 ± 0.02 <sup>aA</sup>	0.06 ± 0.01 <sup>abcB</sup>	0.10 ± 0.02 <sup>abcA</sup>
风干 72h	0.58 ± 0.10 <sup>abA</sup>	0.41 ± 0.05 <sup>bcA</sup>	0.42 ± 0.04 <sup>aA</sup>	0.34 ± 0.05 <sup>bca</sup>	0.09 ± 0.00 <sup>ba</sup>	0.11 ± 0.03 <sup>aA</sup>	0.09 ± 0.02 <sup>aB</sup>	0.13 ± 0.01 <sup>aA</sup>
风干 96h	0.60 ± 0.18 <sup>aA</sup>	0.43 ± 0.01 <sup>bA</sup>	0.42 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.35 ± 0.01 <sup>bB</sup>	0.03 ± 0.03 <sup>cB</sup>	0.08 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.08 ± 0.02 <sup>abA</sup>	0.12 ± 0.03 <sup>abA</sup>

注: 同列中标注不同小写字母者表示差异显著( $p < 0.05$ ); 行中标注不同大写字母者表示差异显著( $p < 0.05$ )。

工艺阶段酶活力变化不显著( $p > 0.05$ )。低温风干成熟结束后, 仍有较高的酶活表现, 比原料肉提高了 25.88%, 因为该实验中酶活测定是在酶的最适条件下进行, 因此所测酶活实际上是酶的潜在活力, 而不是生产过程中酶所表现的实际活力。

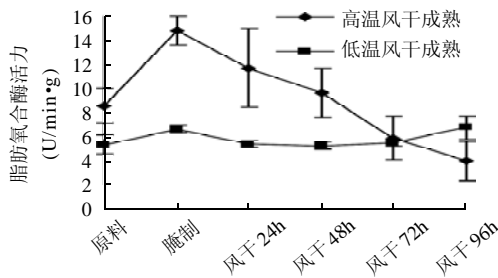


图1 低温和高温风干成熟工艺过程中鸭胸肉脂肪氧合酶活力的变化

Fig.1 Changes of lipoygenase activity in brisquet of dry-cured duck during high- and low-temperature air-drying ripening

#### 2.4 高温风干成熟工艺过程产品鸭胸肉中游离脂肪酸的变化

表4为风鸭高温风干成熟工艺过程中鸭胸肉游离脂肪酸(FFA)含量的变化情况。饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)含量在高温成熟过程中有显著变化( $p < 0.05$ ), FFA总量与温度成正相关。除花生四烯酸( $C_{20:4}$ )外, 各种 FFA 含量在工艺过程中都经历了先上升、再下降后上升的变化过程, 在风干 96h 均达到最高值; 棕榈酸( $C_{16:0}$ )、硬脂酸( $C_{18:0}$ )、油酸( $C_{18:1}$ )和亚油酸( $C_{18:2}$ )是 FFA 的主体成分, 在风干结束时分别占 25.69%、12.54%、24.29% 和 19.35%。SFA 上升趋势显著, 与原料相比增加了 6.70mg/g, 其中棕榈酸( $C_{16:0}$ )和硬脂酸( $C_{18:0}$ )变化较大, 分别增加了 4.93mg/g 和 1.40mg/g; MUFA 增加了 4.64mg/g, 其中油

酸( $C_{18:1}$ )增加最多, 为 4.15mg/g; PUFA 增加了 8.46mg/g, 其中花生四烯酸( $C_{20:4}$ )增加最多, 为 4.16mg/g; PUFA 含量由风干 24h 的 19.07mg/g 下降到风干 48h 的 18.33mg/g, 因为亚油酸( $C_{18:2}$ )和亚麻酸( $C_{18:3}$ )分别从 13.14mg/g、2.40mg/g 下降到 11.85mg/g 和 2.26mg/g。无论在原料中还是产品中, 棕榈酸( $C_{16:0}$ )、硬脂酸( $C_{18:0}$ )、油酸( $C_{18:1}$ )和亚油酸( $C_{18:2}$ )的含量都较高。

#### 2.5 高温风干成熟工艺过程中鸭胸肉各指标的相关性

表5 高温风干成熟工艺过程中鸭胸肉各指标之间的 Pearson 相关系数  
Table 5 Pearson's correlation coefficients among all parameters in brisquet during high-temperature air-drying ripening

鸭胸肉	时间	水分	盐分	TBARS	POV	脂酶活力
水分	-0.87**					
盐分	0.87**	-0.92**				
TBARS	0.52*	-0.51*	0.47*			
POV	-0.01	-0.20	0.21	0.23		
脂酶活力	-0.61**	0.36	-0.36*	-0.04	0.25	
温度	0.93**	-0.83**	0.82**	0.51*	-0.07	-0.55*

注: \*.  $p < 0.05$ , \*\*.  $p < 0.01$ 。

由表5相关性分析可知: 鸭胸肉中盐分和 TBARS 值呈显著的正相关( $p < 0.05$ ), 这与 Andres 的研究结果: 6% 左右的盐分含量对产品 TBARS 值有显著影响, 而 1% 左右的含盐量没有影响相一致<sup>[5]</sup>, 同时 Coutron-Gambotti 认为适当的含盐量可以促进脂质氧化<sup>[15]</sup>。随着风干时间的延长, 温度不断上升, 鸭胸肉水分含量下降, 与此同时盐分含量不断上升, 与时间呈极显著正相关( $p < 0.01$ ); 盐分含量上升的同时脂肪氧合酶活力降低, 两者呈显著负相关( $p < 0.05$ ), 可能是因为随着风干时间的延长, 温度不断上升, 鸭胸肉中水分含量下降使盐分含量不断上升, 盐分含量上升的速度大于温度的提高速度, 盐分含量的上升表现为对脂肪氧合酶的抑制作用。脂肪氧合酶活力与温度呈显著负相关( $p < 0.05$ ), Gilabert<sup>[16]</sup>报道

表4 高温风干成熟工艺过程中鸭胸肉中游离脂肪酸含量的变化( $\bar{x} \pm s$ )

Table 4 Changes of free fatty acids content in brisquet of dry-cured duck during high-temperature air-drying ripening ( $\bar{x} \pm s$ )

脂肪酸	游离脂肪酸含量(mg/g 脂质)					
	原料	腌制后	风干 24h	风干 48h	风干 72 h	风干 96 h
豆蔻酸( $C_{14:0}$ )	0.54 $\pm$ 0.15 <sup>bc</sup>	0.48 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>	0.69 $\pm$ 0.08 <sup>ab</sup>	0.72 $\pm$ 0.03 <sup>ab</sup>	0.69 $\pm$ 0.15 <sup>ab</sup>	0.78 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>
棕榈酸( $C_{16:0}$ )	13.29 $\pm$ 1.34 <sup>b</sup>	12.79 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>	13.93 $\pm$ 0.39 <sup>ab</sup>	12.76 $\pm$ 1.19 <sup>b</sup>	14.83 $\pm$ 3.42 <sup>ab</sup>	18.22 $\pm$ 4.12 <sup>a</sup>
硬脂酸( $C_{18:0}$ )	7.49 $\pm$ 0.72 <sup>bc</sup>	6.81 $\pm$ 0.19 <sup>c</sup>	8.02 $\pm$ 0.58 <sup>ab</sup>	7.99 $\pm$ 0.74 <sup>ab</sup>	7.18 $\pm$ 0.51 <sup>bc</sup>	8.89 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>
花生酸( $C_{20:0}$ )	0.31 $\pm$ 0.02 <sup>bc</sup>	0.31 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	0.36 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.36 $\pm$ 0.05 <sup>bc</sup>	0.32 $\pm$ 0.00 <sup>bc</sup>	0.44 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>
饱和脂肪酸 $\Sigma$ SFA	21.63	20.39	23	21.83	23.02	28.33
棕榈油酸( $C_{16:1}$ )	1.19 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	1.33 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	1.41 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	1.24 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup>	1.41 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	1.68 $\pm$ 0.28 <sup>a</sup>
油酸( $C_{18:1}$ )	13.08 $\pm$ 0.57 <sup>c</sup>	14.65 $\pm$ 0.27 <sup>bc</sup>	16.76 $\pm$ 0.72 <sup>a</sup>	16.26 $\pm$ 1.49 <sup>ab</sup>	15.05 $\pm$ 0.80 <sup>b</sup>	17.23 $\pm$ 1.07 <sup>a</sup>
单不饱和脂肪酸 $\Sigma$ MUFA	14.27	15.98	18.17	17.5	16.46	18.91
亚油酸( $C_{18:2}$ )	10.66 $\pm$ 0.73 <sup>c</sup>	12.56 $\pm$ 0.23 <sup>ab</sup>	13.14 $\pm$ 0.96 <sup>ab</sup>	11.85 $\pm$ 1.13 <sup>bc</sup>	12.73 $\pm$ 1.10 <sup>ab</sup>	13.72 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>
亚麻酸( $C_{18:3}$ )	1.81 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	2.07 $\pm$ 0.07 <sup>bc</sup>	2.40 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	2.26 $\pm$ 0.23 <sup>bc</sup>	2.39 $\pm$ 0.23 <sup>b</sup>	3.05 $\pm$ 0.58 <sup>a</sup>
花生四烯酸( $C_{20:4}$ )	2.75 $\pm$ 0.86 <sup>c</sup>	1.45 $\pm$ 0.34 <sup>d</sup>	3.53 $\pm$ 0.31 <sup>bc</sup>	4.22 $\pm$ 0.60 <sup>b</sup>	6.03 $\pm$ 0.40 <sup>a</sup>	6.91 $\pm$ 0.79 <sup>a</sup>
多不饱和脂肪酸 $\Sigma$ PUFA	15.22	16.08	19.07	18.33	21.15	23.68

注: 同行中均值具有不同字母者为差异显著( $p < 0.05$ )。

在一定温度范围内温度的提高能促进脂肪氧合酶的活力, 因为该实验中酶活测定是在酶的最适条件下进行, 在高温风干成熟结束时较低, 说明温度和工艺时间对脂质分解氧化和脂肪氧合酶活力的影响是复杂的, 还会受到鸭胸肉中水分和盐分含量的联合影响。

### 3 讨论

#### 3.1 温度对脂质分解氧化的影响

TBARs 值是不饱和脂肪酸氧化分解所产生的衍生物如丙二醛(MDA)等与硫代巴比妥酸反应的结果, TBARs 值高低表示氧化最终生成物的多少。表 3 所示: 高温风干成熟鸭胸肉和皮下脂质中 TBARs 值在原料中最低, 分别为 0.32mg/kg 和 0.07mg/kg, 在风干 48h 达到最高值 0.58mg/kg 和 0.46mg/kg; 低温风干成熟产品鸭胸肉和皮下脂质中 TBARs 值在原料中分别为 0.33mg/kg 和 0.08mg/kg, 在风干 24h 达到最高值 0.54mg/kg 和 0.74mg/kg; 高温产品脂质氧化速度降低, 可能因为水分含量降低, 盐分升高, 抑制脂肪氧合酶活力。随着温度的升高, 促进脂质进一步氧化为醛、酮和醇等小分子风味物质。类似地, Antequera<sup>[17]</sup>报道 Iberian 火腿半膜肌、股二头肌肌肉中也有这些现象, 说明低温下脂质氧化也会持续进行, 经过后熟过程表层脂质更易进一步氧化, 说明不饱和脂肪酸氧化产物以丙二醛为主体的醛类物质在低温条件下也能大量增加, 本实验结果显示风干 24h 时, 低温成熟表层脂质 TBARS 值明显高于高温成熟表层脂质的 TBARs 值。Tarladgis 研究表明肌肉中丙二醛(MDA)含量在 0.5~1.0mg/kg 之间不会有腐败气味的产生, 丙二醛(MDA) < 1.0mg/kg 是可以接受的<sup>[12]</sup>; Watts 研究认为丙二醛(MDA)含量达 1~2mg/kg 就被认为肉质腐败开始<sup>[18]</sup>, 还有报道指出肉类中丙二醛(MDA)值为 0.6~2mg/kg 就能被非专业感官人员闻出脂肪氧化的气味<sup>[18-19]</sup>。26℃下强化高温风干成熟过程中 TBARs 值 < 1.0mg/kg, 不会出现腐败变质, 良好的生产系统是产品安全的关键。

过氧化值(POV)主要测定脂肪氧化初级产物——氢过氧化物, 过氧化值用来反映肉类中脂类氧化程度, 过氧化值高表明脂质氧化的中间产物积累多。无论是高温风干成熟还是低温风干成熟工艺, POV 最高值都出现在风干 72h, 之后下降, 变化范围从 0.03g/100g 到 0.13g/100g。原料中 POV 值最低, 这可能因为过氧化物作为脂肪氧化的初级产物, 很快就分解成为小分子碳水化合物及其他物质, 分解速度超过了其生成的速度, 导致 POV 值降低<sup>[20]</sup>。本实验表明: 低温风干成熟产品表层脂质和胸肉的 POV 值明显高于高温风干成熟产品表层脂质和胸肉的 POV 值, 原料 POV 值为 0.03g/100g, 最高值为 0.13g/100g, 远低于国家限量标准 0.50g/100g。

脂肪氧合酶是一种含非血红素铁的蛋白质, 大多数

的脂肪氧合酶以花生四烯酸为主要底物<sup>[21]</sup>, 风鸭风味的产生与脂肪氧合酶有关, 但有关风鸭生产过程中脂肪氧合酶变化情况的报导较少。一些学者通过利用脂肪氧合酶抑制剂证实了脂肪氧合酶与动物风味成分中的短链羰基化物的形成有关<sup>[9, 22-23]</sup>。温度升高可以促进脂肪氧合酶活性的提高, 使丙二醛(MDA)为主的醛类物质和脂肪氧化初级产物氢过氧化物进一步氧化分解。

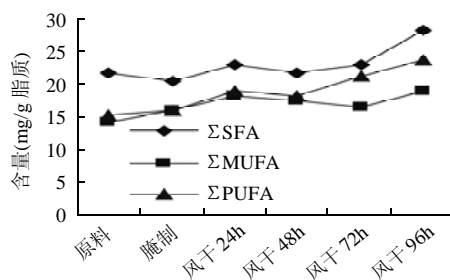


图2 高温风干成熟过程中鸭胸肉游离脂肪酸含量的变化趋势  
Fig.2 Changing trends of total SFA, MUFA and PUFA contents in brisquet of dry duck during high-temperature air-drying ripening

从图 2 可知: 在风鸭高温风干成熟过程中温度的升高使鸭肉中水分含量显著降低, 盐分含量显著提高, 胸肉脂肪中 FFA 中总量显著增加( $p < 0.05$ )。风干 48h 时强烈的脂质分解加剧了脂质氧化, 使 FFA 含量略微下降, 不饱和脂肪酸易氧化, 多不饱和脂肪酸比单不饱和脂肪酸更易氧化。风鸭在发酵成熟过程中 FFA 总量显著增加, 说明脂肪分解与氧化同时发生, 并且脂肪分解速度大于氧化速度, 受温度的调控, 受底物浓度的影响, 且表现出显著差异性。

#### 3.2 盐分和时间对脂质分解氧化的影响

生产过程中游离脂肪酸含量的变化趋势见图 2。游离脂肪酸含量变化比较复杂, 是个动态的过程, 一方面磷脂和甘油酯水解成游离脂肪酸, 其含量增加, 另一方面游离脂肪酸氧化, 含量减少<sup>[3]</sup>。饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸在生产过程中其含量总体上均呈上升趋势, 说明脂肪酸的生成速度大于分解速度<sup>[24]</sup>。其中饱和脂肪酸上升趋势更加明显, 因为不饱和脂肪酸更易受到脂肪水解酶的作用; 另外相对于单不饱和脂肪酸, 多不饱和脂肪酸易发生氧化分解, 在脂肪组织中脂肪分解释放油酸和亚油酸<sup>[25]</sup>。风鸭经过腌制以后脂肪酸 C<sub>14:0</sub>、C<sub>16:0</sub>、C<sub>18:0</sub> 和 C<sub>20:4</sub> 含量均下降, 醛类物质大量增加, TBARs 值显著提高, 脂类物质分解氧化明显。事实上, 以前的研究表明在脂肪组织的脂质氧化水平从加工过程的开始都是上升, 后保持稳定, 最后工艺阶段下降<sup>[26]</sup>。加工过程脂肪组织中亚油酸的下降表明脂肪酸的氧化程度, 脂肪酸的氧化产物存在的时间很短, 因为它们的大多数是挥发性的醛、酮和醇<sup>[17]</sup>或者和肉中的其他成分反应, 例如蛋白质<sup>[27]</sup>。许多研究表

明, 特征风味的形成物质与脂类的氧化分解有关, 例如 1- 戊醇来自亚油酸, 1- 己醇可能由棕榈酸和油酸生成。

脂肪氧合酶活力在腌制后出现显著升高, 之后逐渐下降, 这与郇延军研究金华火腿中脂肪氧合酶活力变化一致<sup>[21]</sup>。在腌制后该酶实际活力仍能保持比较高的状态, 这可能是由于腌制阶段游离脂肪酸含量持续保持增长的原因; 风干成熟中期酶的活力下降, 可能是该过程中盐分含量的上升速度大于温度的上升速度, 表现出对脂酶活力的抑制作用<sup>[21]</sup>。

由实验结果可知, 鸭胸肉在盐后的各氧化指标均明显升高( $p < 0.05$ ), 因此可以说, 鸭胸肉氧化现象大量发生在腌制工艺开始。从皮下脂肪氧化情况可以看出, TBARs 值和过氧化值在盐后也明显升高( $p < 0.05$ ), 说明皮下脂肪的氧化从腌制工艺开始, 大量氧化发生在风干工艺步骤。皮下脂肪的氧化略迟于肌肉的原因可能是因为皮下脂肪中铁离子含量较肌肉中低, 而铁离子对脂肪氧化有一定的促进作用。结合本实验结果同时考虑 Andres<sup>[5]</sup>和 Gambotti<sup>[15]</sup>的报道, 可以认为, 脂质氧化的发生与生产时间没有很大的必然联系, 而主要是与生产工艺有关。实验中氧化的大量发生在腌制后和风干步骤, 而在风干成熟阶段风鸭发生的主要变化是盐分含量的提高和温度的升高, 因此可以认为盐分含量和温度是影响脂质分解氧化的主要因素。

#### 4 结 论

高温风干成熟工艺(从 18℃ 到 26℃ 梯度升温)对风鸭过程产品各氧化指标和游离脂肪酸(FFA)均有显著影响( $p < 0.05$ )。与低温风干成熟工艺相比, 温度升高只是影响包括脂质分解氧化和 Maillard 反应等的速度, 不会使 TBARs 值和 POV 值显著提高, 但能显著提高游离脂肪酸含量( $p < 0.05$ ), 生成大量醛、酮和醇等小分子风味物质。高温风干成熟工艺中 TBARs 值  $< 1.0\text{mg/kg}$ , 在可接受范围内,  $\text{POV} < 0.50\text{g}/100\text{g}$  没有超过国家限量标准, 因此在 26℃ 下强化高温成熟是可行的。

#### 参考文献:

- [1] 余华, 王卫. 传统风鸭产品特性分析[J]. 食品工业科技, 2005, 26(9): 55-57.
- [2] 潘道东, 罗永康, 王善荣. 风鸭腌制新技术[J]. 食品与生物技术, 2002, 21(1): 84-87.
- [3] 戚巍巍, 徐为民, 徐幸莲, 等. 传统风鸭加工过程中脂肪水解和氧化的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(1): 35-38.
- [4] 徐为民, 郑安俭, 诸永志, 等. 南京板鸭加工过程中脂肪氧化研究[J]. 江苏农业学报, 2006, 22(4): 452-455.
- [5] 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.
- [6] CASABURI A, DI MONACO R, CAVELLA S, et al. Proteolytic and lipolytic starter cultures and their effect on traditional fermented sausages ripening and sensory traits[J]. Food Microbiology, 2008, 25(2): 335-347.
- [7] 章建浩, 唐志勇, 曾弢, 等. 金华火腿发酵成熟现代工艺及装备研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 230-234.
- [8] MIELCHE M B, AABY K. Quality of comminuted sausage formulated from mechanically deboned poultry meat[J]. Meat Science, 2002, 61: 73-84.
- [9] GATA J L, PINTO M C, MACIAS P. Lipoxigenase activity in pig muscle: purification and partial characterization[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(9): 2573-2577.
- [10] FOLCH J, LEES M, STANLEY G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226: 226-250.
- [11] GARCIA-REGUEIRO J A, GIBERT J, DIAZ I. Determination of neutral lipids from subcutaneous fat of cured ham by capillary gas chromatography and lipid chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 1994, 667: 225-233.
- [12] TARLADGIS B G, WATTS B M, YOUNATHAN M T, et al. A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1960, 37(1): 44-48.
- [13] NASSU R T, GONCALVES L A G, PEREIRA SILVA M A A, et al. Oxidative stability of fermented goat meat sausage with different levels of natural antioxidant[J]. Meat Science, 2003, 63(1): 43-49.
- [14] VERMA S P, SAHOO J. Improvement in the quality of ground chevon during refrigerated storage by tocopherol acetate preblending[J]. Meat Science, 2000, 56: 403-413.
- [15] COUTRON-GAMBOTTI C, GANDEMER G, ROUSSET S, et al. Reducing salt content of dry-cured ham: effect on lipid composition and sensory attributes[J]. Food Chemistry, 1999, 64(1): 13-19.
- [16] GILBERT M P, CARMONA F G. Chromatographic analysis of lipoxigenase products[J]. Analytica Chimica Acta, 2002, 465(1): 319-335.
- [17] ANTEQUERA T, LOPEZ-BOTE J, CORDOBA J J, et al. Lipid oxidative changes in the processing of Iberian pig hams[J]. Food Chemistry, 1992, 45(2): 105-110.
- [18] HAREL S, KANNER J. Hydrogen peroxide generation in ground muscle tissues[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1985, 33(6): 1186-1188.
- [19] GREENE B A, CUMUZE T H. Relationship between TBA numbers and inexperienced panelist's assessments of oxidized flavour in cooked beef[J]. Journal of Food Science, 1982, 47(1): 52-58.
- [20] 阚健全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 112-122.
- [21] 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.
- [22] TRIQUI R, REINECCIUS G A. Flavor development in the ripening of anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43(2): 453-458.
- [23] GROSSMAN S, BERGMAN M, SKLAN D. Lipoxigenase in chicken muscle[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1988, 36(6): 1268-1270.
- [24] 郇延军, 周光宏, 徐幸莲, 等. 金华火腿生产过程中脂类水解特性研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(3): 5-9.
- [25] COUTRON-GAMBOTTI C, GANDEMER G. Lipolysis and oxidation in subcutaneous adipose tissue during dry-cured ham processing[J]. Food Chemistry, 1999, 64: 95-101.
- [26] TIMON M L, VENTANAS J. Oxidative and lipolytic changes during ripening of iberian hams as affected by feeding regimen: wxtensive feeding and  $\mu$ -tocopheryl acetate supplementation[J]. Meat Science, 1999, 52: 165-172.
- [27] POKOMY J. Browning from lipid-protein interactions[J]. Progress in Food and Nutrition Science, 1981(5): 421-428.