

烹饪方法对兔排油脂氧化和挥发性呈味物的作用研究

陈嘉琪¹, 张后程², 李苗苗¹, 徐大伦¹, 王金凤³, 张进杰¹

(1. 宁波大学食品系, 浙江宁波 315211) (2. 宁波大学理学院, 浙江宁波 315211)

(3. 浙江双凤食品有限公司, 浙江温州 325300)

摘要: 本文对比研究了煎、炸、微波和烤 4 种中式烹饪方式处理的兔排脂质氧化程度和挥发性呈味物的异同与联系。烹饪导致兔排油脂氧化, 以微波和烤制样品的 TBARS 值升高最为显著($P < 0.05$), 分别达到 1.31 mg MDA/kg 样品和 1.23 mg MDA/kg 样品。烹制兔排样品中共检测出 56 种挥发性化合物, 不同烹制方式导致兔排中各挥发性化合物含量存在一定差异; 烤兔排的总挥发性化合物含量最高。新鲜兔排挥发性化合物的主成分是酯类, 而醛类是烹饪样品中挥发性化合物的主成分, 在煎制、油炸、微波和烤制兔排样品中醛类化合物分别占据总挥发性化合物的 54.31%、53.21%、59.99% 和 65.19%。兔排油脂氧化指数 TBARS 值与挥发性化合物中总酯类含量呈线性负向相关, 与总醛类、总呋喃类及总挥发性化合物含量呈正相关, 其中与己醛的相关系数高达 0.793, 说明油脂氧化产物是烹制兔排挥发性化合物的主成分来源。

关键词: 兔排; 烹饪方法; 烹饪损失; 油脂氧化; 挥发性物质

文章编号: 1673-9078(2015)10-247-256

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.10.041

Effects of Different Cooking Methods on Lipid Oxidation and Volatile Compounds in Rabbit Chops

CHEN Jia-qi¹, ZHANG Hou-cheng², LI Miao-miao¹, XU Da-lun¹, WANG Jin-feng³, ZHANG Jin-jie¹

(1. Department of Food Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China) (2. College of Physical Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China) (3. Zhejiang Shuangfeng Foods, Wenzhou 325300, China)

Abstract: Rabbit chops were treated by four different cooking methods: shallow-frying, deep-frying, microwaving, and roasting. The lipid oxidation and volatile compound profiles of the cooked chops were compared. The lipid oxidation caused by cooking of rabbit chops was the most significant after microwaving and roasting ($P < 0.05$), as measured by thiobarbituric acid reactive substance assay (TBARS) to quantify malondialdehyde (MDA). The TBARS values were 1.31 mg MDA/kg sample and 1.23 mg MDA/kg sample, respectively. A total of 56 volatile compounds were detected in the cooked rabbit chops. The amounts of the volatile compounds varied in rabbit chops cooked by different methods. The roasted rabbit chops had the highest total volatile compound content. The dominant volatile compounds in fresh rabbit chops were esters, while the main volatile compound in cooked rabbit chops was aldehyde. The percentages of aldehydes in all volatile compounds after shallow-frying, deep-frying, microwaving, and roasting were 54.31%, 53.21%, 59.99% and 65.19%, respectively. The lipid oxidation index, thiobarbituric acid reactive substance value, and the total ester content showed a negative correlation, while the contents of total aldehydes, total furans, and total volatile compounds showed positive correlation. The correlation coefficient with aldehyde was 0.793. These results indicate that the lipid oxidation products were the main contents of volatile compounds in cooked rabbit chops.

Key words: rabbit chop; cooking methods; cooking loss; lipid oxidation, volatile compounds

兔肉具有高磷脂、高蛋白、高消化率和低胆固醇、低脂肪、低热量的“三高三低”的特点, 集美容、保健

收稿日期: 2014-12-22

基金项目: 国家科技支撑项目(2014BAD04B00); 浙江省公益性项目(2013C32109)

作者简介: 陈嘉琪(1994-), 女, 本科生, 研究方向为食品科学与工程

通信作者: 张进杰(1981-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为食品加工

和滋补为一体的上等食品, 堪称肉中之王。兔排以其味美、营养高、加工方便而深受消费者喜爱, 但烹饪方式不同会致产品食用品质迥异, 其中以食用前的风味差异为最直接的评判指标。

肉类食材在中式饮食文化中首先要进行烹饪处理方可食用, 因为烹饪热处理可一定程度杀灭病原微生物提高肉制品的安全性, 合理烹饪处理能改善肉类

食品风味和适口性^[1-2]。不同烹饪方式中的不同加热速率、时间和加热温度、终点温度等烹饪技法会引起食材内部发生不同的化学反应至最终食品的食品品质不同^[3-4]。肉类食材在烹饪过程中产生的香味,来自于包括游离氨基酸、肽、还原糖、维生素、核苷酸和不饱和脂肪酸在加热过程中发生美拉德反应、脂质氧化、硫胺素的热降解以及这些反应的交互等复杂反应而产生^[5]。

动物脂肪氧化对肉制品的特征风味的形成有重要作用,肉类食品贮藏过程中脂质自动氧化可产生异味,酸败味;而合理的烹饪加工能导致适度的脂肪氧化有助于肉类食品特殊香气的产生^[6]。在烹饪肉类食材时有很多因素影响脂质氧化效果,最重要因素是热处理方式,另外包括原料肉中甘油三酸脂的含量及脂肪酸组成、抗氧化剂和金属离子等因素也起到关键性作用^[7]。对不同的烹饪方法进行比较,Roberts等^[8]研究表明高温长时间的烤制和短时间的微波处理相对于其他方法均产生了较强烈的脂质氧化反应。油炸是最传统的烹饪方法之一,能提高肉制品的感官品质让产品产生诱人的色泽、特殊的肉香和适宜的口感但也导致油脂氧化^[9],同时用于油炸的油(或脂肪)一定程度上改变了原料的脂肪酸组^[1]。

油脂发生氧化的反应形式及氧化程度影响最终肉制品的食品品质。不同热处理形式对肉制品油脂氧化作用不同,因此对不同烹饪方法作用于肉类食材的油脂氧化和风味研究具有重要意义。本文以兔排为研究对象,研究不同中式烹饪方法对兔肉排油脂氧化及挥发性化合物的影响。对比分析煎制、烤制、微波和油炸烹饪方式下兔排的烹饪损失、脂质氧化程度和挥发性化合物之间差异,得出烹制方式、兔排油脂的氧化程度和挥发性化合物之间的相关性。研究结果可为中式烹饪技法工业化生产兔排产品或家庭健康烹饪提供技术理论基础。

1 材料与方法

1.1 主要材料与仪器

分析纯硫代巴比妥酸(TBA)(上海生工);大豆油:金龙鱼牌大豆油。

原料兔为浙江文成县浙江双凤食品有限公司獭兔养殖基地养殖獭兔,体重3.5 kg。新鲜兔排2013年9月18日采自浙江双凤食品有限公司兔肉加工车间,采同批当天宰杀獭兔兔排120块,经车间工人师傅整形(规格12 cm×8 cm×1 cm,90~100 g,含5根肋条。规格大小误差在10%以内)筛选后,每40块兔排一包

置于保鲜袋中-20℃速冻,低温下送至实验室于-80℃条件下冷藏。实验前6 h将兔排单排摆放于不锈钢架中空气自然解冻。

日本岛津公司GC-MS QP2010 Plus气相色谱法-质谱联用仪;毛细管色谱柱为Stabilwas(R)-DA(30 m×0.32 mm×0.25 μm);萃取手柄和萃取头DVB/CRA/PDMS(二乙烯基苯/羧基/聚二甲基硅氧烷)50/30 μm(美国Supelco公司);加热固相微萃取装置。Foss 2300自动凯氏定氮仪(Foss公司,丹麦);紫外-可见分光光度计UV-2550/2450(日本岛津);超声波清洗器(KQ5200E,昆山市超声仪器有限公司);红外测温仪(testo 826-T4)。

1.2 烹制处理

四种中式烹调方法为:油煎、油炸、微波烹制和烤制。各烹饪方式条件设定,以中国家庭油煎、油炸、微波烹制和烤制烹制完全成熟兔排经验为基础;再在实验室中,以感官品质为指标,通过预实验量化各烹制方式的条件设定。

1.2.1 煎制

大豆油先在家用不粘平底锅(美的MF-LTJ28A,内径28 cm)置于电磁炉(美的WT2121)中预热至180℃,保持2 min。油温通过红外测温仪进行监控,当温度升至165℃后缓慢加热。油量控制在兔排厚度的1/4~1/3,且每一批样品均重新换油,每一批煎完后需对平底锅进行清洗、晾干处理。兔排在油煎3 min时起每隔30 s翻面煎,至总共煎制6 min。煎好兔排置于不锈钢架上晾干,并在空气中冷却10 min。每批烹饪3块兔排,3次平行处理。

1.2.2 油炸烹制

将兔排置于175℃油温(大豆油)的油炸锅(艾拓ITO-82电炸炉)中,炸制12 min,炸制结束兔排经吸油纸吸油后置于不锈钢架上沥油,并在空气中冷却10 min。每批烹饪3块兔排,3次平行处理。

1.2.3 烤制

将兔排并排摆放固定于烤架置于电烤箱(美的ETC56MY-ERS)中,设置温度为200℃,旋转烤制15 min取出。烤制结束兔排经吸油纸吸油后置于不锈钢架上晾干,并在空气中冷却10 min。每批烹饪3块兔排,3次平行处理。

1.2.4 微波烹制

将兔排置于浅盘。微波设置为2450 MHz,在高火中加热5 min。微波烹制结束后,将兔排置于不锈钢架上,并在空气中冷却10 min。每批烹饪3块兔排,3次平行处理。

每块兔排烹饪处理前后均进行称重,以计数烹饪损失;各批次烹饪处理样品6 h内完成剔骨并绞碎均匀处理,24 h内完成油脂氧化指标检测和挥发性化合物成分检测。

1.3 检测指标

1.3.1 硫代巴比妥酸(TBARs)的测定

TBARs 值的测定参照张进杰等^[10]的方法,如下所述:取10 g肉样研细,加50 mL 7.5%(m/V)的三氯乙酸(含0.1% EDTA),用高速组织匀浆机连续均质处理30 s(15,000 r/min),混合物用Whatman No.1滤纸过滤。取滤液5 mL,加入5 mL 0.02 mol/L TBA溶液,100 °C沸水浴中保持30 min,取出后流动自来水冷却10 min,用紫外可见分光光度计检测反应溶液在532 nm处的吸光值。通过与TEP标准曲线的对照计算TBARS值,其结果用mg MDA/kg肉样表示。

1.3.2 烹饪损失的测量

记录每块兔排的烹饪前后重量,烹饪损失即兔排烹饪前后重量减少的百分数。烹饪损失计算为:

$$\text{烹饪损失率}/\% = \frac{\text{新鲜兔排重} - \text{烹制后兔排重}}{\text{新鲜兔排重}} \times 100\%$$

1.3.3 挥发性化合物

1.3.3.1 样品处理方法

称取5.0 g碎肉样品置于20 mL SPME萃取瓶中,加入10 μ L正癸烷(2 μ g/mL)作为内标物,用聚四氟乙烯隔垫密封,将50/30 μ m的DVB/CAR/PDMS萃取头插入萃取瓶中,于50 °C水浴中顶空吸附40 min后,在GC-MS进样口250 °C解吸附5 min,同时启动仪器采集数据。

1.3.3.2 GC/MS 操作条件

色谱柱:DB-5MS 石英毛细柱 Stabilwas (R)-DA (30 m \times 0.32 mm \times 0.25 μ m); 升温程序:

50 °C,保持2 min,以10/min升至60 °C;再以4/min上升至160 °C;再以10/min上升至200 °C;再以8/min上升至230 °C,保持10 min;进样口温度250 °C;载气He(99.999%),柱流量2.0 mL/min;压力55 kPa;进样量为0.8 μ L;分流进样;分流比50:1。

质谱条件:电子电离源;检测器电压830 eV;离子源温度230 °C;接口温度230 °C;数据采集方式Scan;扫描速率为769 u/s;质量扫描范围m/z 40~400。

分析结果运用NIST08标准谱库进行检索。

1.3.3.3 挥发性成分定性与定量分析

定性分析:样品中各未知挥发性成分定性由计算机检索与仪器所配置的NIST 08.LIB和NIST 08s.LIB谱库匹配,结合相似度并参考相关文献求得,其中记

录相似度大于85的化学物质^[11]。

定量分析:以正癸烷为内标,根据内标物的量、样品各组分的峰面积与内标峰面积的比值,计算样品中各挥发性组分的绝对含量:

$$\text{绝对含量}(\mu\text{g 正癸烷/g}) = \Omega A_i / (A \times m)$$

式中: Ω 为添加入检测样品的正癸烷内标的质量(μ g); A_i 为各挥发性组分的峰面积; A 为内标物质的峰面积; m 为被检测样品的质量(g)。

采用面积归一化法计算含量^[12]。

1.3.4 统计分析

用Excel 2003和SPSS 11.5.0软件进行数据分析。所有实验均作三次重复,测定结果以均值 \pm 标准差表示。实验数据采用ANOVA进行邓肯氏(Duncan)差异分析,以 $P < 0.05$ 为显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 烹饪损失和TBARS指数

烹饪损失是食品的水分和可溶性物质在烹饪过程中随温度升高和时间延长与食品固形物失去结合而流失或者挥发而导致的质量降低。通常烹饪损失的主要部分是水^[3]。不同的热处理方式导致不同的传质形式,因此不同的烹饪方法会导致不同的烹饪损失^[13]。食材在烹调过程中,热能的传递会诱导蛋白质变性,蛋白质结合水被释放,水和水溶物流出,导致水分含量降低,脂肪和蛋白质含量增加^[14]。

如表1所示,不同烹饪方式处理兔排导致的烹饪损失,煎制、油炸、微波和烤制4种烹饪方法导致兔肉的烹饪损失显著($P < 0.05$)且各烹调方法之间的差异也明显,烹饪损失范围在21.56-30.95%。微波热处理导致兔肉烹饪损失最为显著($P < 0.05$),高达 $30.95 \pm 5.47\%$,其次是烤制($26.78 \pm 3.5\%$),煎($21.56 \pm 1.87\%$)和油炸($22.75 \pm 3.85\%$)兔肉样品相对烹饪损失率较低。

微波烹制也导致其他肉类有较高的烹饪损失率^[15]。微波处理时样品受热相对均匀,整个烹饪过程样品表面未形成致密的“壳”层阻断水分的扩散^[16],从而水分的由内至外的扩散路径畅通,导致烹饪损失率最高;而从本实验过程样品的表象观察得“油煎”、“油炸”和“烤”均易形成样品表面“壳”层,这可能是导致其烹饪损失率相对较低的原因。

烹饪热处理导致兔排内的油脂发生氧化反应。丙二醛(MDA)是脂质氧化反应形成脂质过氧化分解产物。TBARS值是脂质氧化和MDA含量的衡量指标。不同烹饪方式对兔排的油脂氧化作用如表1所示,各烹饪处理均显著性的提高了兔排TBARS值。这与猪

肉经热加工后其 TBARs 值升高现象一致^[1,17]。但因为兔肉中脂肪成分含量低, 但兔肉油脂中含有较高比例的不饱和脂肪酸使其在烹饪过程中更易发生氧化, 所

以烹饪后兔肉的 TBARs 值的升高量比其他家畜肉高^[18~19]。

表 1 兔肉的烹饪损失率(g/100 g 样品)和 TBARs 值(mg MDA/kg 肉)

Table 1 Cooking loss (g/100 g sample) and TBARS values (mg MDA/kg sample) of raw and cook rabbit chops

	新鲜	油煎	油炸	微波	烤制	S.E.M.	P 值
烹饪损失率	-	21.56±1.87 ^a	22.75±3.85 ^{ab}	30.95±5.47 ^c	27.78±3.5 ^b	0.87	0.000
TBARs	0.11±0.04 ^a	0.40±0.16 ^a	0.41±0.19 ^a	1.31±0.52 ^b	1.23±0.78 ^b	0.09	0.000

注: a, b, c 小写字母表示显著性差异, P<0.05; S.E.M.: 平均数标准误差。

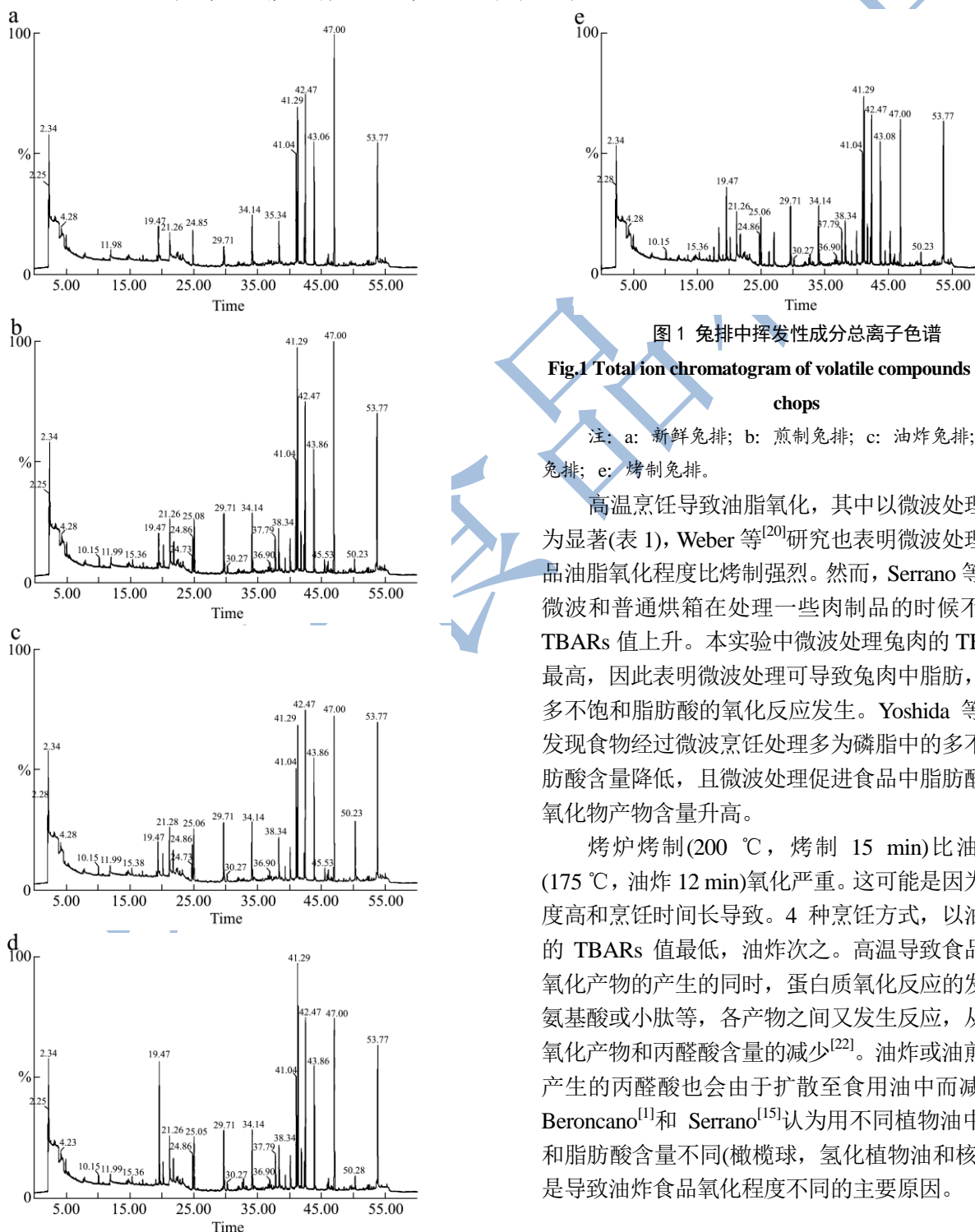


图 1 兔排中挥发性成分总离子色谱

Fig.1 Total ion chromatogram of volatile compounds in rabbit chops

注: a: 新鲜兔排; b: 煎制兔排; c: 油炸兔排; d: 微波兔排; e: 烤制兔排。

高温烹饪导致油脂氧化, 其中以微波处理效果最为显著(表 1), Weber 等^[20]研究也表明微波处理导致食品油脂氧化程度比烤制强烈。然而, Serrano 等^[15]认为微波和普通烘箱在处理一些肉制品的时候不会导致 TBARs 值上升。本实验中微波处理兔肉的 TBARs 值最高, 因此表明微波处理可导致兔肉中脂肪, 尤其是多不饱和脂肪酸的氧化反应发生。Yoshida 等^[21]研究发现食物经过微波烹饪处理多为磷脂中的多不饱和脂肪酸含量降低, 且微波处理促进食品中脂肪酸的二次氧化物产物含量升高。

烤炉烤制(200 °C, 烤制 15 min)比油炸兔排(175 °C, 油炸 12 min)氧化严重。这可能是由于烤制温度高和烹饪时间长导致。4 种烹饪方式, 以油煎兔肉的 TBARs 值最低, 油炸次之。高温导致食品中油脂氧化产物的产生的同时, 蛋白质氧化反应的发生产生氨基酸或小肽等, 各产物之间又发生反应, 从而导致氧化产物和丙醛酸含量的减少^[22]。油炸或油煎过程中产生的丙醛酸也会由于扩散至食用油中而减少^[23]。Beroncano^[1]和 Serrano^[15]认为用不同植物油中多不饱和脂肪酸含量不同(橄榄球, 氢化植物油和核桃油), 是导致油炸食品氧化程度不同的主要原因。

2.2 挥发性化合物

兔排烹制前后挥发性化合物的典型离子色谱图如图1所示,不同烹饪方式处理后其各挥发性气味物质的含量见表2。本实验采用的SPME法在兔排样品中共检测出56种挥发性化合物,其中19种烷烃、9种酯、7种醛、4种芳烃、4种酮,3种呋喃、3种环烃、2种烯烃和2种醇。挥发性风味物质是熟肉制品品质最重要的组成部分,直接影响消费者对肉的种类及加工方式的选择偏向^[24]。烹饪过程中产生这些挥发性化合物的最主要的机制是脂质的热降解(主要是氧

化还原反应),美拉德反应,美拉德反应产物与脂质的氧化产物和维生素降解产物之间的相互作用^[25]。烹制温度和烹制时间是影响食品挥发性化合物产生的重要因素,一定程度上决定肉制品的风味品质。烤兔排的烤箱温度达200℃,较其他烹制处理方式温度高,兔排表面接触的温度最高,导致烘烤的成品兔排样品具有最高的挥发物含量,这表明较高的烹饪温度会导致较高含量的挥发性化合物形成。这与Ames等^[26]研究膨化饲料加工过程中发现的产品总挥发性风味物质含量与加热温度和时间正相关的结论一致。

表2 各烹饪处理兔排挥发性化合物含量对照表

Table 2 Volatile compound contents (expressed as μg decane/g sample) of raw and cooked rabbit chops

挥发性化合物名称	挥发性化合物绝对含量(μg 正癸烷/g)				
	新鲜	煎制	油炸	烤制	微波
线性烷烃类	58.62 \pm 4.57 ^a	64.29 \pm 10.32 ^b	95.91 \pm 13.17 ^c	78.29 \pm 14.22 ^{bc}	89.08 \pm 18.76 ^c
庚烷	1.83 \pm 1.77 ^a	2.36 \pm 0.78 ^a	8.60 \pm 3.52 ^b	3.20 \pm 1.62 ^a	4.36 \pm 1.58 ^a
辛烷	5.23 \pm 0.84 ^{ab}	3.61 \pm 1.30 ^a	11.67 \pm 2.36 ^d	7.05 \pm 3.91 ^{bc}	9.56 \pm 3.40 ^{cd}
3-乙基庚烷	0.00 \pm 0.00 ^a	0.26 \pm 0.07 ^b	0.38 \pm 0.27 ^{bc}	0.52 \pm 0.27 ^c	0.54 \pm 0.23 ^c
2,2,5-三甲基己烷	0.00 \pm 0.00 ^a	5.11 \pm 2.01 ^b	7.48 \pm 2.91 ^{bc}	7.04 \pm 1.80 ^c	9.87 \pm 4.16 ^c
2,2,5,5-四甲基庚烷	1.06 \pm 0.08 ^a	3.36 \pm 1.10 ^b	4.39 \pm 2.00 ^b	0.65 \pm 0.47 ^a	4.06 \pm 1.61 ^b
3-甲基十一烷	0.00 \pm 0.00 ^a	2.16 \pm 0.80 ^b	3.95 \pm 1.36 ^{cd}	3.01 \pm 0.97 ^{bc}	4.90 \pm 2.20 ^d
癸烷类	2.12 \pm 0.47 ^a	4.06 \pm 1.37 ^b	5.79 \pm 2.21 ^{bc}	4.92 \pm 1.48 ^b	6.93 \pm 3.16 ^c
2,3,5-三甲基癸烷	4.59 \pm 0.89 ^b	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a
2,2,4,4,6,8,8-七甲基壬烷	0.00 \pm 0.00 ^a	7.01 \pm 1.96 ^b	12.36 \pm 3.57 ^d	6.76 \pm 2.92 ^b	9.72 \pm 2.97 ^c
2,6-二甲基辛烷	0.00 \pm 0.00 ^a	2.27 \pm 0.96 ^b	2.95 \pm 0.90 ^c	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a
2,5-二甲基十一烷	0.00 \pm 0.00 ^a	1.83 \pm 0.49 ^b	0.00 \pm 0.00 ^a	2.32 \pm 0.49 ^b	2.90 \pm 0.90 ^c
3,6-二甲基十一烷	0.00 \pm 0.00 ^a	3.68 \pm 2.23 ^b	3.76 \pm 1.57 ^b	2.37 \pm 0.67 ^b	3.88 \pm 1.50 ^b
3-甲基癸烷	1.07 \pm 0.37 ^{bc}	0.89 \pm 0.24 ^b	1.57 \pm 0.61 ^{cd}	1.70 \pm 0.97 ^d	0.00 \pm 0.00 ^a
2,8-二甲基十一烷	0.82 \pm 0.25 ^a	1.84 \pm 0.84 ^b	3.54 \pm 1.16 ^c	2.11 \pm 0.70 ^b	3.06 \pm 1.24 ^c
4-甲基十一烷	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.47 \pm 0.17 ^b	1.11 \pm 0.49 ^c
十一烷	33.45 \pm 9.27 ^c	21.24 \pm 4.74 ^a	21.84 \pm 5.22 ^{ab}	27.57 \pm 5.57 ^b	22.68 \pm 3.90 ^{ab}
十二烷	2.11 \pm 0.74 ^a	3.45 \pm 1.45 ^a	6.01 \pm 2.72 ^b	3.32 \pm 1.62 ^a	5.31 \pm 2.29 ^b
十三烷	1.41 \pm 0.60 ^a	1.97 \pm 0.71 ^a	2.44 \pm 0.75 ^{ab}	2.47 \pm 1.44 ^{ab}	3.21 \pm 1.88 ^b
十四烷	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.37 \pm 0.16 ^b	0.41 \pm 0.16 ^b
十九烷	0.00 \pm 0.00 ^a	0.30 \pm 0.07 ^b	0.31 \pm 0.10 ^b	0.00 \pm 0.00 ^a	0.39 \pm 0.13 ^c
酯类	145.37 \pm 34.53 ^c	48.67 \pm 10.72 ^b	55.38 \pm 15.83 ^b	22.00 \pm 3.39 ^a	28.19 \pm 11.71 ^{ab}
正丁酸甲酯	27.76 \pm 1.22 ^b	6.72 \pm 3.59 ^a	3.93 \pm 1.50 ^a	3.51 \pm 0.81 ^a	1.98 \pm 0.41 ^a
2-[(苯基甲氧基)亚氨基]丁酸	0.00 \pm 0.00 ^a	3.16 \pm 1.13 ^c	3.42 \pm 0.74 ^c	2.71 \pm 0.62 ^{bc}	2.28 \pm 0.67 ^b
三甲基甲硅烷基酯					
丁酸 3-甲基甲酯	17.37 \pm 5.31 ^d	6.52 \pm 1.53 ^c	0.00 \pm 0.00 ^a	3.23 \pm 1.16 ^b	0.00 \pm 0.00 ^a
戊酸甲酯	2.74 \pm 0.71 ^b	2.01 \pm 1.05 ^{ab}	2.73 \pm 1.14 ^b	1.17 \pm 0.55 ^a	1.19 \pm 0.35 ^a
乙酸甲酯	32.01 \pm 10.55 ^c	19.05 \pm 7.55 ^b	27.60 \pm 8.38 ^c	5.64 \pm 2.36 ^a	16.48 \pm 6.28 ^b
庚酸甲酯	6.06 \pm 2.17 ^b	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a

转下页

接上页

辛酸甲酯	24.95±4.70 ^c	5.76±1.90 ^a	11.66±3.13 ^a	3.49±1.27 ^a	4.00±1.13 ^a
壬酸甲酯	11.87±4.08 ^b	2.87±0.85 ^a	3.90±1.15 ^a	1.77±0.68 ^a	2.25±0.82 ^a
癸酸甲酯	22.61±9.15 ^b	2.58±1.62 ^a	2.14±0.47 ^a	0.48±0.26 ^a	0.00±0.00 ^a
醛类	7.94±1.14 ^a	220.04±47.37 ^b	274.19±32.21 ^{bc}	427.29±99.86 ^d	376.90±76.84 ^c
戊醛	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	28.49±3.97 ^b	26.58±7.23 ^b
己醛	4.16±1.48 ^a	212.59±46.82 ^b	234.06±33.20	364.02±85.37 ^d	325.40±70.63 ^{cd}
2-己醛	0.00±0.00 ^a	0.74±0.32 ^c	0.00±0.00 ^a	0.71±0.25 ^c	0.47±0.19 ^b
庚醛	0.00±0.00 ^a	4.22±1.55 ^b	6.32±3.42 ^{bc}	7.12±3.78 ^c	7.84±2.75 ^c
苯甲醛	3.78±1.08	2.49±1.15	2.57±0.26	3.61±1.36	3.47±0.76
辛醛	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	10.37±4.09 ^c	6.39±2.22 ^b	0.00±0.00 ^a
壬醛	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	20.87±5.37 ^d	16.95±3.79 ^c	12.87±2.39 ^b
芳族烃类	44.14±8.29	49.13±13.08 ^a	42.65±12.52 ^a	64.16±12.84 ^b	50.76±10.26 ^a
甲苯	11.29±2.56 ^a	18.43±5.46 ^b	11.36±2.50 ^a	26.12±5.10 ^c	18.38±3.56 ^b
乙苯	5.79±1.56	4.94±1.20	5.06±1.37	4.91±2.21	5.92±1.55
对二甲苯	20.23±3.10 ^a	21.06±4.75 ^a	20.72±3.87 ^a	26.53±7.66 ^b	21.10±4.53 ^a
邻二甲苯	6.83±1.96 ^c	4.70±1.15 ^a	5.51±1.58 ^{abc}	6.60±1.23 ^{bc}	5.36±1.17 ^{ab}
酮类	16.77±4.46 ^c	8.88±0.42 ^b	10.44±3.79 ^b	5.83±1.04 ^b	3.05±0.75 ^a
2-戊酮	6.92±1.88 ^c	3.07±0.88 ^b	2.99±1.03 ^{ab}	2.35±0.68 ^{ab}	2.00±0.66 ^a
3-戊酮	9.15±3.05 ^d	3.01±0.06 ^b	6.17±0.72 ^c	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
2-庚酮	0.00±0.00 ^a	1.89±0.80 ^b	0.00±0.00 ^a	3.48±1.52 ^c	0.00±0.00 ^a
3-壬酮	0.70±0.24 ^b	0.91±0.32 ^{bc}	1.28±0.71 ^c	0.00±0.00 ^a	1.05±0.40 ^{bc}
咪喃类	0.00±0.00 ^a	2.54±1.82 ^b	1.73±0.67 ^b	4.12±2.28 ^b	5.27±2.00 ^c
2-乙基咪喃	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	1.06±0.45 ^c	0.37±0.24 ^b
2-正丁基咪喃	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.80±0.23 ^b
2-戊基咪喃	0.00±0.00 ^a	2.54±1.82 ^b	1.73±1.00 ^b	3.06±1.75 ^{bc}	4.10±1.67 ^c
环烃类	5.94±1.34 ^b	2.92±0.88 ^a	7.58±3.54 ^b	3.54±1.02 ^a	2.08±0.45 ^a
蒽烯	0.80±0.21 ^b	0.69±0.31 ^b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
甲氧基苯基胍	5.14±1.20 ^b	2.23±0.72 ^a	6.00±3.44 ^b	2.87±0.79 ^a	2.08±0.45 ^a
环辛烷	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	1.58±0.72 ^c	0.67±0.31 ^b	0.00±0.00 ^a
烯烃类	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	2.24±0.89 ^{bc}	2.25±0.89 ^c	1.29±0.41 ^b
3-十二碳烯	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	1.09±0.52 ^b	0.91±0.48 ^b	0.00±0.00 ^a
6-十二碳烯	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	1.15±0.56 ^b	1.34±0.67 ^b	1.29±0.24 ^b
醇类	1.38±0.87 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	4.44±2.02 ^c	0.00±0.00 ^a
1-戊醇	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	4.44±2.02 ^b	0.00±0.00 ^a
2-乙基-1-己醇	1.38±0.87 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
其他成分	7.46±2.35 ^b	5.00±1.68 ^a	6.12±1.55 ^{ab}	6.56±2.74 ^{ab}	4.40±1.49 ^a
二甲基砷	7.46±2.35 ^b	3.40±1.57 ^a	5.37±1.66 ^a	5.22±2.50 ^a	4.22±1.56 ^a
2,2-二甲基-4-苯胺	0.00±0.00 ^a	1.21±0.37 ^c	0.00±0.00 ^a	0.90±0.35 ^b	0.00±0.00 ^a
甘油醋酸酯	0.00±0.00 ^a	0.39±0.07 ^b	0.75±0.43 ^c	0.44±0.15 ^b	0.18±0.07 ^{ab}
总挥发成分	287.63±41.92 ^a	401.47±56.56 ^b	496.24±53.66 ^c	618.48±87.26 ^d	561.02±68.11 ^c

注: a, b, c, d 不同字母表示相同指标内的显著性差异($P<0.05$)。

由表 2 可得,酯是新鲜兔排挥发性物质中最为丰富的成分,含量达到 145.37(μg 正癸烷/g 样品);经加热处理后,醛类是烹制兔排的最主要挥发性风味化合

物,在煎,微波,油炸和烤制的兔排样品中含量分别为 220.04、376.90、274.19 和 427.29(μg 正癸烷/g 样品)。如图所示,熟制兔肉样品中的醛类占总的挥发性化合

物的 53% 和 65% 之间。醛的感官特性, 脂肪酸受热氧化产生肉制品特殊的香味, 这些特殊香味就是醛类物质表现出的感官特性 Song 等人^[6]。从本文结果分析, 烹制兔肉的脂质氧化产生的挥发性醛类包括: 戊醛, 己醛, 2-己烯醛, 庚醛, 苯甲醛, 辛醛和壬醛。其中, 己醛为主要成分, 在煎、微波、油炸和烤制的兔排样品中, 己醛分别占总醛的 89.23%、97.87%、89.26% 和 82.55%。但是, 在新鲜兔排的挥发性物质中醛类物质仅占总挥发性化合物的 2.5%。各烹饪方式处理的样品总醛含量存在显著性差异($P < 0.05$), 烤制和微波处理样品中醛类物质含量较高, 而煎制和油炸兔排的醛类物质含量比例相对较低(表 3)。这表明烤和微波样品中的脂质氧化程度比煎制和油炸处理的高。此结果与 Broncano 等人^[1]研究结果一致。

Rabe 等^[27]的研究结果表明, 油脂氧化产物是影响肉制品香气品质的最关键因素。Chen 等^[28]报道熟肉制品挥发性化合物的 90% 是由油脂氧化而产生。Mottram 等^[6]还观察到, 具有 6~10 个碳原子的醛类挥发性物质, 是熟肉制品的主要挥发性化合物, 为肉香味的主要贡献成分。

与 TBARS 值相似, 烹制后的兔排样品的己醛含量均显著性升高($P < 0.05$), 表明烹制处理促发了油脂的氧化。本实验中经 4 种不同烹饪方式处理的兔排己醛含量顺序为: 烤制>微波>煎制>油炸。煎制和油炸样品的 TBARS 值低于烤制和微波处理样品。煎制和油炸制相对于烤制和微波处理, 样品仅表面受热, 且在 170~180 °C 的油温中处理时间为 4 min, 处理时间相对短, 因此油脂氧化程度低, 另外由于煎制和油炸有植物油的添加, 起到对兔排油脂氧化的保护和稀释作用也可能是本实验结果的因素之一。

Nieto 等人^[29]研究表明己醛也是熟羊肉样品中的主要醛类。此外, Ma 等^[30]表明, 己醛以及其他的醛是熟牛肉的味道的重要物质。己醛在肉类食品烹制过程中, 油脂初级氧化和后续深度氧化过程中均可产生^[31]; 且己醛对烹制肉类食品特殊的香味起到积极的贡献作用, Ma 等研究表明, 过高浓度的己醛对肉类食品的香味会起到相反的作用 Ma 等^[30]。

己醛相对于其他挥发性物质的具有较高含量比例的优势可以归因于它的合成途径的多样性。Nieto 等^[29]研究表明, 己醛可以由油酸、亚油酸和花生四烯酸氧化而产生, 也可以由其他的不饱和醛, 如 2,4-癸二烯醛的降解得到。

不饱和醛是肉类食品脂肪氧化产香的重要成分, 起到贡献肉类食品特征香气的作用^[32]。8~9 个碳原子的 n-2-烯醛具有坚果、脂或黄瓜的香气。庚醛具有有

果子香气味^[33,29]。本实验的烹制兔排的庚醛、辛醛和壬醛等醛类的含量也相对较高, 兔排的特征肉香味明显。这可以用 Elmore 等^[34]的理论来解释: 烹饪和食物再加热的高温环境, 有利于不饱和脂肪酸的迅速氧化和自由基数量的增加, 自由基化再与油酸等其他脂肪酸发生反应, 促使庚醛、辛醛和壬醛的合成。

醇和羧酸的酯化反应产生酯。酯含量最高的原始样本, 占 40%, 而在熟制兔排中酯类挥发性化合物仅占总挥发性化合物的 2.6% 至 8.9%。因此, 烹饪处理显著性的降低了酯类挥发性化合物的相对含量($P < 0.005$), 在新鲜兔排中, 最高量的酯是己酸甲酯, 丁酸甲酯, 辛酸甲酯和癸酸甲酯, 与由 Lorenzo^[35]在原马驹肉描述类似。

烷烃占熟制兔排总挥发性化合物的 18.5% 和 27.6% (表 3)。所有熟制兔排烷烃的含量高于新鲜兔排样品(表 2)。微波(89.08 μg 正癸烷/g)和油炸(95.91 μg 正癸烷/g)处理后的烷烃含量比烤制兔排(64.29 μg 正癸烷/g)含量要高。在这些化合物中, 十一烷是最丰富的(21.24~33.45 μg 正癸烷/g), 其次是壬烷, 2,2,4,4,6,8,8-七甲基壬烷。少于 10 个碳原子的脂肪烃的主要来源是脂质过氧化^[36]。

芳烃类具有果味和甜味^[37], 四种不同的烹饪方法处理芳香烃含量有显著($P < 0.05$)的差异, 最高的是烤兔排(64.16 μg 正癸烷/g)。碳氢化合物是在肉类风味中的最大类别之一, 是由长链脂肪酸 Song 等人^[7]的热裂解或脂质的热降解氧化而产生。这表明, 加热时间长的烤制兔排导致比其他的烹调方法较高量的芳族烃。芳族烃, 甲苯和二甲苯是最丰富的。芳烃, 特别是甲苯, 在熟兔排中起到重要作用。

呋喃类化合物具有果香味、咖啡味和焦香味^[38]。呋喃的形成通常与热处理相关联, 且是美拉德反应产物 Chen 等^[28]。在新鲜兔排的挥发性化合物中未检出呋喃类物质的存在, 加热烹制导致兔排挥发性化合物中呋喃类物质的产生, 且烹调方式对熟制兔排挥发物中的呋喃类物质含量作用显著($P < 0.05$), 以微波烹制兔排的呋喃化合物含量最高(5.27 μg 正癸烷/g)(表 2)。微波处理的样品中检测到呋喃、2-乙基呋喃、2-正丁基呋喃和 2-戊基呋喃; 烤兔排检测到呋喃、2-乙基和呋喃、2-戊基呋喃; 煎制和油炸兔排样品中仅检测到呋喃和 2-戊基呋喃。这些发现与其他作者的 Chen 等^[28], Ma 等^[30], Song 等人^[7], 在熟肉制品发现的呋喃类物质一致。

甘油三酯受热分解产生 β -酮酸, β -酮酸进一步发生氧化产生酮类化合物, 酮类, 尤其是 2-酮, 被认为对肉及肉制品的香气有很大的影响, 其中甲基酮具

有花香味^[18]。在本实验的兔排样品中未检测到甲基酮,这可能是由于本实验的烹饪温和的热处理方式导致无甲基酮产生。Mottram 等^[6]发现可以通过增加甘油三酯来增加加热处理后食品挥发性物中的酮类成分。在本研究中,兔排经热处理(表 3)总酮类物质比例却降低。新鲜兔排中酮类物质含量最高(16.77 μg 正癸烷/g),熟制兔排酮类物质含量却只有 3.05~10.44 μg 正癸烷/g。

醇类物质具有芬芳的香味,能赋予肉类物质特殊的香味,且呈味阈值低。研究表明 1-戊醇具有温和的醇香气味,与新鲜水果和鲜花的香味物质有叠加增效的作用;2-乙基-1-己醇具有树脂、花和绿叶的香气^[31]。本实验中被测兔排样品中仅检测出两种醇类物质,新鲜兔排挥发性物质中的 2-乙基-1-己醇,烤制兔排中的 1-戊醇。

表 3 各烹饪方式对兔排各类挥发性物质比例(%)的作用

Table 3 The effect of cooking methods on the percentage of volatile compounds in rabbit chops

挥发性成分	处理方法				
	新鲜/%	煎/%	油炸/%	微波/%	烤制/%
醇类	0.56 \pm 0.10 ^b	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.75 \pm 0.05 ^c
醛类	3.20 \pm 0.21 ^a	54.31 \pm 4.35 ^b	53.21 \pm 1.03 ^b	59.99 \pm 1.13 ^c	65.19 \pm 2.09 ^d
芳香烃类	15.83 \pm 2.01 ^c	10.17 \pm 1.13 ^c	6.96 \pm 0.33 ^a	8.00 \pm 1.52 ^b	9.86 \pm 0.31 ^b
酯类	39.86 \pm 2.11 ^c	8.9 \pm 0.43 ^b	7.59 \pm 0.11 ^b	3.82 \pm 0.13 ^a	2.59 \pm 0.35 ^a
吡喃类	0.00 \pm 0.00 ^a	0.64 \pm 0.13 ^c	0.29 \pm 0.05 ^b	0.83 \pm 0.22 ^c	0.49 \pm 0.23 ^b
环烃类	2.33 \pm 0.51 ^c	0.48 \pm 0.07 ^a	1.37 \pm 0.31 ^b	0.34 \pm 0.11 ^a	0.52 \pm 0.06 ^a
酮类	6.63 \pm 1.03 ^d	1.32 \pm 0.11 ^c	1.47 \pm 0.07 ^c	0.43 \pm 0.01 ^a	0.85 \pm 0.05 ^b
链烷类	28.58 \pm 1.92 ^c	23.18 \pm 1.02 ^b	27.64 \pm 2.01 ^c	25.66 \pm 1.05 ^{bc}	18.46 \pm 1.73 ^a
链烯类	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.32 \pm 0.11 ^b	0.21 \pm 0.02 ^b	0.33 \pm 0.06 ^b
其他成分	3.01 \pm 0.21 ^c	1.01 \pm 0.01 ^b	1.15 \pm 0.07 ^b	0.71 \pm 0.23 ^a	0.97 \pm 0.05 ^a

注:同行 a, b, c, d 不同字母表示相同指标内的显著性差异($P < 0.05$)。

表 3 TBARS 指数和烹制兔排中主要挥发性成分之间的相关性系数对照表

Table 3 Correlation coefficients between TBARS index and major volatile compounds in rabbit chops

	TBARS	己醛	总醛类	总酯类	总吡喃类
己醛	0.792 ^{**}				
总醛类	0.831 ^{**}	0.983 ^{**}			
总酯类	-0.540 ^{**}	-0.799 ^{**}	-0.806 ^{**}		
总吡喃类	0.812 ^{**}	0.766 ^{**}	0.788 ^{**}	-0.597 ^{**}	
总挥发成分	0.763 ^{**}	0.940 ^{**}	0.960 ^{**}	-0.752 ^{**}	0.722 ^{**}

注: ** $P < 0.05$ 。

Ahn 等人发现肉类食品的挥发性醛类物质与加热处理过程中脂质的氧化进程相关,随脂质的氧化逐渐增加^[39],且同时有研究表明 TBARS 值和己醛等醛类物质的含量之间具有较高的相关性^[29, 40]。本实验中各兔排的 TBARS 指数和各类挥发性化合物之间存在一定的相关性,见表 3。兔排 TBARS 指数与己醛($r=0.792$, $P < 0.05$)、总醛类物质($r=0.831$, $P < 0.05$)和吡喃类物质($r=0.812$, $P < 0.05$)呈线性正相关的关系,同时各兔排样品的挥发性成分中己醛与总醛类含量具有极高的正相关性($r=0.983$, $P < 0.05$)。

酯类物质和 TBARS 指标之间的关系呈显著的负相关性($r=-0.540$, $P < 0.05$),这说明挥发性酯类随着脂质氧化进程的增加而降低。总挥发性化合物含量与酯

类化合物含量也呈显著负相关($r=-0.752$, $P < 0.05$)。另外,总挥发性化合物含量与 TBARS 指数($r=0.763$; $P < 0.05$)、己醛含量($P < 0.05$, $R=0.940$)和总醛类物质含量($r=0.960$; $P < 0.05$)呈正相关关系。如上面所讨论的,脂质氧化而得的化合物是在熟制兔排挥发性化合物的主要化合物。Ahn 等人^[39]研究表明己醛是肉类食品在加热发生氧化反应生成的最主要挥发性组分,用己醛和总的挥发性化合物的含量来指示熟制肉制品的脂肪氧化状态的最为恰当。Shahidi 等^[41]报道熟制肉制品的挥发性物质中己醛的含量和其感官气味品质之间具有线性关系。但 Nieto 等^[29]认为仅己醛这一单一的挥发性化合物的含量是不能作为肉类食品中脂质的氧化程度和感官气味品质的衡量标准。

3 结论

脂肪的适度氧化是兔排形成独特熟制兔排特有风味的前提。不同的烹饪方式(煎, 烤, 微波和油炸)均对兔排样品造成不同的烹饪损失, 其中以微波处理样品烹饪损失最大。煎制和油炸相对于微波和烤制对兔排油脂的氧化程度作用较低。当烹饪温度升高时, 检测发现形成的挥发性化合物的总量也增加。煮熟的兔排挥发性化合物中含有大量的醛类和直系烷烃。烹饪热处理降低了兔排中的酯类和酮类挥发性化合物的含量。各烹制兔排挥发性化合物中己醛、总醛类和总挥发性化合物的含量与其 TBARS 值具有显著的正相关性($P < 0.05$), 因此在煎、油炸、微波和烤制 4 种中试烹饪方式对兔排的作用下, 挥发性化合物中的己醛和总醛类物质的含量可一定程度上指示兔排的脂质氧化程度。

参考文献

- [1] Broncano J M, Petrón M J, Parra V, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of free cholesterol oxidation products (COPs) in *Latissimus dorsi* muscle of Iberian pigs [J]. *Meat Science*, 2009, 83: 431-437
- [2] Rodríguez-Estrada M T, Penazzi G, Caboni M F, et al. Effect of different cooking methods on some lipid and protein components of hamburgers [J]. *Meat Science*, 1997, 45: 365-375
- [3] Clausen I, Ovesen L. Changes in fat content of pork and beef after pan-frying under different conditions [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2005, 18: 201-211
- [4] Kosulwat S, Greenfield H, Buckle K A. True retention of nutrients on cooking of Australian retail lamb cuts of differing carcass classification characteristics [J]. *Meat Science*, 2003, 65: 1407-1412
- [5] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: a review [J]. *Food Chemistry*, 1998, 62: 415-424
- [6] Song S, Zhang X, Havat K, et al. Formation of the beef flavour precursors and their correlation with chemical parameters during the controlled thermal oxidation of tallow [J]. *Food Chemistry*, 2011, 124: 203-209
- [7] Byrnea D V, Brediea W L P, Mottram D S, et al. Sensory and chemical investigations on the effect of oven cooking on warmed-over flavour development in chicken meat [J]. *Meat Science*, 2002, 61: 127-139.
- [8] Roberts D D, Pollien P, Antille N, et al. Comparison of nosespace, headspace, and sensory intensity ratings for the evaluation of flavor absorption by fat [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51: 3636-3642.
- [9] Bognár A. Comparative study of frying to other cooking techniques influence on the nutritive value [J]. *Grasas y Aceites*, 1998, 49: 250-260
- [10] 张进杰, 顾伟刚, 姚燕佳, 等. 柑橘幼果提取物对猪肉冷藏过程中抗脂质氧化影响[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(4): 282-286
ZHANG Jin-jie, GU Wei-gang, YAO Yan-jia, et al. Effect of citrus young fruit extract on lipid oxidation of raw ground pork during refrigerated storage [J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(4): 282-286
- [11] Domínguez R, Gómez M, Fonseca S, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat [J]. *Meat Science*, 2014, 97: 223-230
- [12] Zhao D, Tang J, Ding X. Analysis of volatile components during potherb mustard (*Brassica juncea* Coss.) pickle fermentation using SPME-GC-MS [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2007, 40(3): 439-447
- [13] Cheng Q, Sun D W. Factors affecting the water holding capacity of red meat products: A review of recent research advances [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2008, 48: 137-159
- [14] Zhang J, Wu D, Liu D, et al. Effect of cooking styles on the lipid oxidation and fatty acid composition of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillet [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2013, 37 (2): 212-219
- [15] Alfaia C P M, Alves S P, Lopes A F, et al. Effect of cooking methods on fatty acids, conjugated isomers of linoleic acid and nutritional quality of beef intramuscular fat [J]. *Meat Science*, 2010, 84: 769-777
- [16] Zhang J, Fang Z, Cao Y, et al. Effect of different drying processes on the Protein degradation and sensory quality of Layú A Chinese dry-curing grass carp [J]. *Drying Technology*, 2013, 31(13-14): 1715-1722
- [17] Juntachote T, Berghofer E, Siebenhandl S, et al. The effect of dried galangal powder and its ethanolic extracts on oxidative stability in cooked ground pork [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2007, 40: 324-330
- [18] Lorenzo J M, Bedía M, Bañón S. Relationship between flavour deterioration and the volatile compound profile of semi-ripened sausage [J]. *Meat Science*, 2013, 93: 614-620
- [19] Lorenzo J M, Fuciños C, Purriños L, et al. Intramuscular fatty acid composition of "Galician Mountain" foals breed. Effect of sex, slaughtered age and live stock production system [J].

- Meat Science, 2010, 86: 825-831
- [20] Weber J, Bochi V C, Ribeiro C P, et al. Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fillets [J]. Food Chemistry, 2008, 106: 140-146
- [21] Yoshida H, Hirakawa Y, Tomiyama Y, et al. Fatty acid distributions of triacylglycerols and phospholipids in peanut seeds (*Arachis hypogaea* L.) following microwave treatment [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2005, 18: 3-14
- [22] Meinert L, Andersen L T, Bredle W L P, et al. Chemical and sensory characterization of pan-fried pork flavour: Interactions between raw meat quality, ageing and frying temperature [J]. Meat Science, 2007, 75: 229-242
- [23] Weber J, Bochi V C, Ribeiro C P, et al. Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fillets [J]. Food Chemistry, 2008, 106: 140-146
- [24] Wilcock A, Pun M, Khanona J, et al. Consumer attitudes, knowledge and behaviour: A review of food safety issues [J]. Trends in Food Science and Technology, 2004, 15(2): 56-66
- [25] 张进杰, 顾伟钢, 吕兵兵, 等. 杨梅果渣提取物在鲜、熟猪肉中抗菌和抗脂质氧化作用研究 [J]. 中国食品学报, 2011, 11(5): 100-107
ZHANG Jin-jie, GU Wei-gang, LV Bing-bing, et al. Antioxidative and antibacterial actions of bayberry pomace extract in raw and cooked pork [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(5): 100-107
- [26] Ames J M, Guy R C E, Kipping G J. Effect of pH and temperature on the formation of volatile compounds in cysteine/reducing sugar/starch mixtures during extrusion cooking [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2001, 49: 1885-1894
- [27] Rabe S, Krings U, Berger R G. Influence of oil-in-water emulsion properties on the initial dynamic flavor release [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83: 1124-1133
- [28] Chen W S, Liu D C, Chen M T. The effect of roasting temperature on the formation of volatile compounds in Chinese-style pork Jerky [J]. Asian-Australia Journal Animal Science, 2002, 15: 427-431
- [29] Nieto G, Bañón S, Garrido M D. Effect of supplementing ewes' diet with thyme (*Thymus zygis ssp. gracilis*) leaves on the lipid oxidation of cooked lamb meat [J]. Food Chemistry, 2011, 125: 1147-1152
- [30] Ma Q L, Hamid N, Bekhit A E D, et al. Evaluation of pre-rigor injection of beef with proteases on cooked meat volatile profile after 1 day and 21 days post-mortem storage [J]. Meat Science, 2012, 92: 430-439
- [31] Calkins C R, Hodgen J M. A fresh look at meat flavor [J]. Meat Science, 2007, 77: 63-80
- [32] Rochat S, Chaintreau A. Carbonyl odourants contributing to the in-oven roast beef top note [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53: 9578-9585
- [33] Heiniö R L, Katina K, Wilhelmson A, et al. Relationship between sensory perception and flavour-active volatile compounds of germinated, sourdough fermented and native rye following the extrusion process [J]. LWT-Food Science and Technology, 2003, 36: 533-545
- [34] Elmore J S, Mottram D S, Enser M, et al. Effect of polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47: 1619-1625
- [35] Lorenzo J M. Changes on physico-chemical, textural, lipolysis and volatile compounds during the manufacture of dry-cured foal "cecina" [J]. Meat Science, 2014, 96: 256-263
- [36] Wettasinghe M, Vasanthan T, Temelli F, et al. Volatile flavor composition of cooked by-product blends of chicken, beef and pork: a quantitative GC-MS investigation [J]. Food Research International, 2001, 34: 149-158
- [37] Madruga M S, Elmore J S, Oruna-Concha M J, et al. Determination of some water-soluble aroma precursors in goat meat and their enrolment on flavour profile of goat meat [J]. Food Chemistry, 2010, 123: 513-520
- [38] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: a review [J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.
- [39] Ahn D U, Olson D G, Jo C, et al. Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork patties [J]. Meat Science, 1998, 49: 27-39
- [40] Brunton N P, Cronin D A, Monahan F J, et al. A comparison of solid-phase microextraction (SPME) fibres for measurement of hexanal and pentanal in cooked turkey [J]. Food Chemistry, 2000, 68: 339-345
- [41] Shahidi F, Pegg R B, Shamsuzzaman K. Color and oxidative stability of nitrite-free cured meat after gamma-irradiation [J]. Journal of Food Science, 1991, 56: 1450-1452