

三种香辛料水提物腌制对烤鸭腿脂质氧化和挥发性风味物质的影响

孙震¹, 黄苓¹, 赵金¹, 吴振¹, 何俊¹, 潘道东^{1,2,*}

(1. 宁波大学浙江省动物蛋白食品精深加工技术重点实验室, 浙江宁波 315800;

2. 南京师范大学食品科学与营养系, 江苏南京 210097)

摘要: 为研究不同浓度的(0.05%, 0.1%)香叶(X0.05组、X0.1组)、高良姜(J0.05组、J0.1组)、花椒水提物(H0.05组、H0.1组)腌制对烤鸭腿挥发性风味物质和脂质氧化的影响, 利用顶空固相微萃取-气质联用技术结合感官评价及相对气味活度值(Relative Odor Activity Value, ROAV)分析, 并测定烤鸭腿中硫代巴比妥酸值(Thiobarbituric Acid Reactive Substances, TBARS)来评价其脂肪氧化程度。结果表明: 与对照组(未添加香辛料水提物)相比, 各香辛料水提物组的感官评分均无显著性差异; 对照组烤鸭腿中的关键挥发性成分为1-辛烯-3-醇、己酸乙酯、壬醛、己醛、癸醛、辛醛。0.05%的香叶、高良姜、花椒水提物腌制能够较好地保持烤鸭腿中关键挥发性成分的种类和ROAV, 0.1%的香叶、高良姜、花椒水提物腌制能够显著降低烤鸭腿中己醛、癸醛的ROAV, 显著增加2-甲基丁酸甲酯的ROAV($P < 0.05$), 而对关键挥发性成分的种类无明显影响; 此外, 各香辛料水提物组的TBARS值均显著降低($P < 0.05$)。总之, 香叶、高良姜、花椒水提物腌制既能够有效抑制烤鸭腿中的脂质氧化, 又不会对烤鸭腿的整体香味产生明显影响, 这为香叶、高良姜、花椒水提物在烤鸭腿中的应用提供了一定的理论依据。

关键词: 香叶水提物, 高良姜水提物, 花椒水提物, 烤鸭腿, 脂质氧化, 挥发性风味物质

Effects of Marinating of Three Spice Water Extracts on Lipid Oxidation and Volatile Flavor Substances in Roasted Duck Legs

SUN Zhen¹, HUANG Ling¹, ZHAO Jin¹, WU Zhen¹, HE Jun¹, PAN Dao-dong^{1,2,*}

(1. Key Laboratory of Animal Products Food Deep Processing Technology of Zhejiang Province, Ningbo University, Ningbo 315800, China;

2. Food Science & Nutrition Department of Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Headspace solid phase microextraction - gas chromatography - mass spectroscopy and combined with sensory evaluation were used to investigate the effect of different concentrations of (0.05%, 0.1%) bay leaf (X0.05 group, X0.1 group), galangal (J0.05 group, J0.1 group), pepper water extract (H0.05 group, H0.1 group) on volatile flavor substances and lipid oxidation of the roast duck legs. Both relative odor activity value (ROAV) and Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS) value were obtained to evaluate the degree of fat oxidation in the roast duck leg. It was found that there was no significant difference in the sensory scores of the water extracts of each spice. The key volatile components in the roast duck leg of the control group were 1-octene-3-ol, vinyl hexanoate, furfural, hexanal, furfural, octanal. 0.05% bay leaf, galangal, and pepper water had a higher control on the key volatile components and ROAV of roast duck leg, and 0.1% bay leaf, galangal, and pepper water extracts could significantly reduce the ROAV of hexanal, furfural and significantly increase the ROAV of 2-Methylbutyric acid methyl ester ($P < 0.05$), but there was no significant effect on the numbers of key volatile components. In addition, the TBARS values of the water extracts of each spice were significantly reduced ($P < 0.05$). It revealed that the marinating of bay leaf, galangal, and pepper water extracts could effectively inhibit lipid oxidation in roast duck legs without significantly affecting the overall flavor of roast duck legs. Meanwhile, this data provides some evidence of the application of bay leaf, galangal and pepper water extracts in roast duck legs.

Key words: bay leaf water extracts; galangal water extracts; pepper water extract; roast duck leg; lipid oxidation; volatile flavoring

收稿日期: 2019-03-04

作者简介: 孙震(1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 畜产品科学, E-mail: 583720594@qq.com。

* 通讯作者: 潘道东(1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 畜产品加工科学, E-mail: daodongpan@163.com。

基金项目: 国家水禽产业技术体系岗位科学家基金(CARS-42-25); 浙江省重点研发计划(2019C02085); 宁波市公益性项目(2019C10017)。

中图分类号:TS254.4 文献标识码:A 文章编号:1002-0306(2019)23-0024-07
doi:10.13386/j.issn1002-0306.2019.23.004
引文格式:孙震,黄苓,赵金,等.三种香辛料水提物腌制对烤鸭腿脂质氧化和挥发性风味物质的影响[J].食品工业科技,2019,40(23):24-30.

鸭肉滋味鲜美,适于滋补,是多种美味名菜的主要原料,其蛋白质含量与畜肉相比较,脂肪含量适中且分布均匀。烤鸭腿因制作工艺简单、口味独特、食用方便而深受消费者青睐,但其在加工过程中易出现因脂质过度氧化引起的变味、营养价值降低等情况^[1]。在肉类工业中,通常使用合成抗氧化剂来控制肉制品中氧化反应的进程,但由于其在肉品中的残留及对人体的潜在危害等安全因素^[2-3],越来越多的人开始反对合成抗氧化剂的使用。因此,天然抗氧化剂的研究和开发显得十分重要。香辛料提取物作为天然抗氧化剂中的一种,其也越来越多地受到国内外众多学者的重视。

风味是评定肉品品质的重要指标之一,也是影响消费者选购的重要指标之一^[4]。目前,国内外对于香辛料提取物在肉制品中应用的研究主要集中在对生鲜肉、调理肉及腌腊肉的抗氧化、抑菌等方面。如陈璐等^[5]研究了迷迭香、丁香、桂皮提取物对速冻肉丸脂肪氧化影响,结果表明香辛料提取物可以部分替代合成抗氧化剂,起到延缓脂肪氧化,延长产品货架期的作用;Weerakkody等^[6]研究高良姜和迷迭香提取物处理对即食虾中的腐败微生物群落的影响,发现高良姜和迷迭香提取物的组合可用来控制即食虾中腐败微生物的生长。

目前有关香辛料提取物对烤制肉制品挥发性风味物质影响的研究鲜有报道。基于此,本文利用顶空固相微萃取-气质联用(HS-SPME-GC-MS)并结合感官评价及挥发性风味物质的相对气味活度值对不同浓度(0%、0.05%、0.1%)的香叶、高良姜、花椒水提物腌制制得的烤鸭腿中脂质氧化和挥发性风味物质进行研究,以期香叶、高良姜、花椒水提物在烤制肉制品加工中的应用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

华英鸭腿 购于天猫生鲜超市;食盐 浙江绿海制盐有限责任公司;白砂糖 上海甘怡园食品有限公司;蜂蜜 上海冠生园蜂制品有限公司;香叶水提物、高良姜水提物、花椒水提物(规格1:10) 西安赛奥生物技术有限公司;三氯乙酸、2-硫代巴比妥酸、乙二胺四乙酸二钠(EDTA-Na₂)、三氯甲烷 均为国产分析纯。

Agilent 7890B-7000C 气相色谱-三重四级杆质谱联用仪(带自动进样装置) 美国 Agilent 科技有限公司;50 μm PDMS/DVB(聚二甲基硅氧烷/二乙烯基苯)型萃取头 美国 Supelco 公司;XFH-D 高速分散器(内切式匀浆机) 宁波新芝生物科技股份有限公司;Centrifuge 5804R 高速离心机 德国 Eppendorf 公司;Spectar Max 190 微孔板读数仪 Molecular Devices Inc.,USA;格兰仕 iK2R(TM) 上下独立控温

型电烤箱 广东格兰仕集团有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 烤鸭腿制作工艺 新鲜鸭腿洗净、修整(220 g/条)→腌制(4℃,24 h)→挂糖(蜂蜜:水=1:1)→风干(20℃,2~3 h)→烤制(220℃,40 min)→冷却真空包装→零下36℃保存备用^[7]。

1.2.2 实验设计 本实验共制作了35条烤鸭腿,分为7组,每组5条,分别为CK组、X0.05组、X0.1组、J0.05组、J0.1组、H0.05组、H0.1组。所有组别除腌制配料组成不同外,其他加工条件均相同。CK组为基础腌制料(2%食盐、1%白砂糖^[8]),所有辅料的添加量均以肉重计)腌制,X0.05组、X0.1组、J0.05组、J0.1组、H0.05组、H0.1组的腌制料分别为向基础腌制料中添加0.05%的香叶水提物、0.1%的香叶水提物、0.05%的高良姜水提物、0.1%的高良姜水提物、0.05%的花椒水提物、0.1%的花椒水提物。

1.2.3 感官评定 样品处理:将新鲜烤制的烤鸭腿肉切成形状均匀的小块(近似2 mm×2 mm×2 mm),并混匀,平铺在一次性培养皿(直径9 cm,高度2 cm)中,各培养皿中的样品厚度(大约1 cm)保持一致,并将不同组别用三位数随机进行编码。

人员组成:感官评定小组由10名食品专业成员组成,包括教师、研究生和本科生,男女比例为1:1,年龄在18~45周岁之间,且他们均有一年以上的肉制品感官评定经验。

环境条件:感官评定在食品感官分析实验室中进行,并设置了10个相同空间的分隔室,室内温度为22℃,相对湿度保持在50%~60%,通风良好。感官评定期间,各感官评定小组成员被随机分配到各个分隔室内进行评定。

评定标准:对各组烤鸭腿整体气味(包括香味的浓烈程度和有无异味两个方面)的强烈程度进行感官评定,具体评价标准见表1。

表1 烤鸭腿感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation criteria for roast duck legs

分数	气味描述
9~10	烤鸭腿香味浓郁
7~8	烤鸭腿香味一般
5~6	烤鸭腿香味较弱
3~4	烤鸭腿香味弱,有异味
0~2	无烤鸭腿香味,异味重

1.2.4 挥发性风味成分的萃取及GC-MS条件 萃取条件:准确称取已搅碎均质的肉样5.00 g,置于20 mL顶空进样瓶中,加盖密封,将萃取头插入样品瓶中,60℃吸附30 min,210℃解析5 min,用于GC-MS分析检测。

色谱条件:采用Vocol毛细管色谱柱(柱长60 m,

内径 0.32 mm,膜厚 0.18 μm);载气 He 流速为 2.25 mL/min;进样口温度 210 $^{\circ}\text{C}$,不分流进样模式;采用程序升温,初始温度为 35 $^{\circ}\text{C}$,保持 3 min,以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 上升到 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 1 min,再以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 上升到 200 $^{\circ}\text{C}$,保持 20 min。

质谱条件:电离方式 EI,电子轰击能量为 70 eV,接口温度 220 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$,四级杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$,扫描质量范围 40~600 u;采用全扫描模式^[9-10]。

定性分析:质谱数据经计算机检索,与 NIST14 标准谱库相匹配,仅报道得分大于 80(总分为 100)的鉴定结果。

定量分析^[11]:按面积归一法进行各挥发性化合物的定量分析。

1.2.5 ROAV 法确定烤鸭腿主体风味成分 参考刘登勇等^[12-13]的方法对各挥发性成分的相对气味活度值(ROAV)进行计算,ROAV ≥ 1 ,说明该组分可能对总体风味有直接影响,被确定为烤鸭腿中的主体风味成分。

1.2.6 硫代巴比妥酸含量的测定 参照 Wu^[14]的方法稍作修改。取 2.00 g 样品,加入 10 mL 17.5% (W/V) 的三氯乙酸(TCA)溶液和 4 mL 蒸馏水,10000 r/min 匀浆 30 s,离心(4500 r/min 10 min,4 $^{\circ}\text{C}$)后用中速滤纸过滤 2 次。准确移取上述滤液 2 mL 置于 10 mL 试管中,加入 2 mL 0.02 mol/L 的 2-硫代巴比妥酸(TBA)溶液,沸水浴保温 40 min,取出冷却后,532 nm 测定吸光度。用 1,1,3,3-四乙氧基丙烷做标准曲线,TBARS 值表示为 mg MDA/kg 肉样。标准曲线方程:Y=0.0412X-0.002, $R^2=0.9984$ 。

$$\text{TBARS 值} = \frac{A \times 14}{m \times 2 \times 2}$$

式中:A 表示试样中丙二醛的相应含量, μg ;m 表示试样质量,g。

1.3 数据处理

采用 SPSS Statistics 21.0 进行数据处理。实验结果用平均值 $\pm$ 标准差来表示,基于单因素方差分析(One-way ANOVA)中的 Duncan 检验法分析不同数据间是否存在显著性差异。 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 香叶、高良姜、花椒水提物腌制对烤鸭腿感官评分的影响

香叶、高良姜、花椒水提物腌制对烤鸭腿感官评分的影响结果如表 2 所示,各香辛料水提物腌制组的感官得分与对照组相比,均无显著性差异($P > 0.05$)。各香辛料水提物组之间也无显著性差异($P > 0.05$)。

表 2 香叶、高良姜、花椒水提物对烤鸭腿感官评分的影响

Table 2 Effect of bay leaf, galangal and pepper water extract on sensory score of roast duck leg

组别	CK	X0.05	X0.1	J0.05	J0.1	H0.05	H0.1
感官得分	7.40 $\pm$ 0.77 ^a	7.60 $\pm$ 0.50 ^a	7.39 $\pm$ 2.01 ^a	7.19 $\pm$ 0.76 ^a	6.69 $\pm$ 1.70 ^a	7.72 $\pm$ 1.38 ^a	6.90 $\pm$ 1.52 ^a

注:同行字母不同代表差异显著($P < 0.05$);表 3、表 4 同。

2.2 香叶、高良姜、花椒水提物腌制的烤鸭腿中挥发性风味成分分析

采用顶空固相微萃取-气质联用技术检测 7 组烤鸭腿中的挥发性风味成分,结果如表 3 所示。对照组中共鉴定出 51 种挥发性化合物,酯类、醛类、醇类挥发性化合物含量较高,与对照组相比,除 X0.1 组(42 种)中挥发性化合物种类数明显减少外,其他组挥发性化合物种类数均变化较小。

醛类一般是脂质的热降解产物,Strecker 降解也能产生挥发性醛,其阈值较低,是肉制品中重要的风味物质^[15]。对照组中共鉴定出 9 种醛类化合物,与对照组相比,除 X0.1 组减少 2 种,H0.1 组减少 1 种外,其它组与对照组保持一致。另外,各香辛料水提物组中醛类挥发性化合物的相对含量发生了不同程度的变化,具体表现为 X0.05 组、H0.05 组无显著性变化($P > 0.05$),其它组均显著性降低($P < 0.05$)。

醇类可能由脂质氧化酶对脂肪酸的作用、脂肪的氧化分解、羰基化合物还原生成^[16]。饱和醇一般阈值较高,对风味贡献较小,不饱和醇的阈值较低,对风味贡献较大。对照组中共鉴定出 4 种醇类化合物,与对照组相比,X0.1 组减少了 2 种,J0.05 组、J0.1 组、H0.05 组、H0.1 组增加了 1 种。其它组无变化。另外,各香辛料水提物组中醇类化合物的相对含量与对照组相比,除 X0.1 组显著性降低外($P < 0.05$),其他组均无显著性差异($P > 0.05$)。

酯类是由醇和酸经酯化作用而成,一般具有水果香味,对风味贡献较大^[17]。与对照组相比,其它组中酯类化合物的种类并没有发生变化。但相对含量却发生了不同程度的变化。X0.1 组和 H0.1 组较对照组显著性降低($P < 0.05$),X0.05 组较对照组无显著性变化($P > 0.05$),其他组均显著性升高($P < 0.05$)。

此外,对照组中还检测出了一定含量的烃类、酮类、含氮含硫类、杂环类化合物。烃类、酮类化合物含量相对较低,阈值较高,对风味贡献较小。杂环类化合物阈值通常较低,对烤鸭腿的风味有一定的贡献。对照组中共鉴定出 6 种杂环类化合物,与对照组相比,X0.1 组减少了 3 种,H0.1 组减少了 1 种,其它组均无变化。另外,各香辛料水提物组种杂环类化合物的相对含量较对照组发生了不同程度的变化。其中,X0.05 组、X0.1 组显著性升高($P < 0.05$),H0.1 组显著性降低($P < 0.05$),其他组无显著性变化($P > 0.05$)。

2.3 挥发性风味化合物的 ROAV 分析

根据各挥发性成分的相对含量和嗅觉阈值,经计算可知,7 组烤鸭腿中对整体风味贡献最大的均为 1-辛烯-3-醇,因此我们定义 1-辛烯-3-醇的 ROAV 为 100,根据公式计算出其它挥发性成分的 ROAV,

表3 不同处理的烤鸭腿挥发性成分相对含量(%)
Table 3 Relative content of volatile components in different processed roast duck legs(%)

挥发性化合物	相对含量						
	CK	X0.05	X0.1	J0.05	J0.1	H0.05	H0.1
醛类							
戊醛	0.36 ± 0.14 ^{bc}	0.42 ± 0.09 ^c	0.30 ± 0.03 ^b	0.08 ± 0.02 ^a	0.08 ± 0.01 ^a	0.17 ± 0.02 ^a	0.10 ± 0.02 ^a
己醛	9.24 ± 0.41 ^c	9.27 ± 0.74 ^c	3.14 ± 0.24 ^a	6.21 ± 0.95 ^b	3.98 ± 1.21 ^a	7.63 ± 2.70 ^{bc}	2.32 ± 0.09 ^a
庚醛	0.62 ± 0.05 ^c	0.63 ± 0.12 ^c	0.32 ± 0.05 ^a	0.54 ± 0.01 ^{bc}	0.41 ± 0.05 ^{ab}	0.59 ± 0.14 ^c	0.27 ± 0.02 ^a
辛醛	1.00 ± 0.04 ^c	0.92 ± 0.01 ^e	0.64 ± 0.08 ^{bc}	0.71 ± 0.08 ^{cd}	0.49 ± 0.11 ^b	0.88 ± 0.25 ^{de}	0.25 ± 0.02 ^a
壬醛	3.96 ± 0.28 ^{cd}	4.29 ± 0.53 ^d	3.15 ± 0.11 ^b	3.44 ± 0.30 ^{bc}	3.29 ± 0.36 ^{bc}	3.95 ± 0.75 ^{cd}	1.29 ± 0.13 ^a
癸醛	0.18 ± 0.01 ^c	0.17 ± 0.05 ^c	ND	0.10 ± 0.01 ^{ab}	0.13 ± 0.02 ^b	0.18 ± 0.01 ^c	0.06 ± 0.00 ^a
苯甲醛	0.25 ± 0.03 ^b	0.48 ± 0.05 ^c	0.41 ± 0.15 ^c	0.08 ± 0.01 ^a	0.11 ± 0.01 ^a	0.11 ± 0.05 ^a	0.11 ± 0.04 ^a
E-2-辛烯醛	0.29 ± 0.01 ^a	0.31 ± 0.05 ^a	0.26 ± 0.03 ^a	0.50 ± 0.01 ^c	0.31 ± 0.07 ^a	0.43 ± 0.01 ^b	0.25 ± 0.01 ^a
E-2-壬烯醛	0.05 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.02 ^a	ND	0.07 ± 0.00 ^b	0.05 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.00 ^a	ND
小计	15.94 ± 0.63 ^e	16.55 ± 1.53 ^e	8.21 ± 0.15 ^b	11.73 ± 1.40 ^{cd}	8.85 ± 1.64 ^{bc}	13.98 ± 3.90 ^{de}	4.66 ± 0.04 ^a
醇类							
壬醇	ND	ND	ND	0.09 ± 0.01 ^b	0.04 ± 0.01 ^a	0.04 ± 0.01 ^a	ND
十一醇	0.46 ± 0.06 ^{ab}	0.25 ± 0.06 ^{ab}	0.85 ± 0.16 ^c	0.71 ± 0.31 ^{bc}	0.2 ± 0.04 ^a	0.29 ± 0.36 ^a	0.24 ± 0.05 ^a
2,3-丁二醇	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3.14 ± 1.82
4-甲基-5-癸醇	1.39 ± 0.30 ^c	0.72 ± 0.09 ^{bc}	ND	1.39 ± 0.05 ^c	1.31 ± 0.32 ^{bc}	1.01 ± 0.03 ^b	0.59 ± 0.05 ^a
1-辛烯-3-醇	6.39 ± 0.84 ^{bc}	7.02 ± 1.06 ^c	4.27 ± 0.84 ^a	6.52 ± 0.21 ^c	6.33 ± 0.66 ^{bc}	5.50 ± 0.06 ^b	4.33 ± 0.26 ^a
顺-5-辛烯-1-醇	0.21 ± 0.02 ^{ab}	0.12 ± 0.03 ^{ab}	ND	0.26 ± 0.08 ^b	0.22 ± 0.07 ^{ab}	0.22 ± 0.01 ^{ab}	0.16 ± 0.00 ^a
小计	8.44 ± 1.09 ^b	8.98 ± 0.31 ^b	5.12 ± 1.00 ^a	8.96 ± 0.48 ^b	8.11 ± 1.10 ^b	7.06 ± 0.35 ^b	8.47 ± 2.07 ^b
酯类							
甲酸己酯	45.11 ± 2.75 ^b	47.81 ± 1.04 ^b	32.29 ± 1.00 ^a	58.69 ± 0.77 ^d	53.58 ± 2.18 ^c	53.87 ± 3.67 ^c	35.15 ± 1.02 ^a
甲酸庚酯	0.28 ± 0.03 ^b	0.11 ± 0.06 ^{ab}	0.14 ± 0.03 ^a	0.21 ± 0.07 ^{ab}	0.22 ± 0.02 ^{ab}	0.20 ± 0.08 ^{ab}	0.14 ± 0.03 ^a
甲酸辛酯	0.15 ± 0.00 ^a	0.17 ± 0.04 ^b	0.21 ± 0.12 ^{ab}	0.29 ± 0.01 ^b	0.21 ± 0.08 ^{ab}	0.22 ± 0.03 ^{ab}	0.11 ± 0.02 ^a
丙酸丁酯	0.92 ± 0.12 ^d	0.33 ± 0.11 ^c	2.62 ± 0.11 ^f	0.09 ± 0.00 ^a	0.36 ± 0.02 ^b	0.37 ± 0.10 ^b	1.78 ± 0.09 ^c
丁酸甲酯	0.17 ± 0.02 ^b	0.04 ± 0.01 ^a	0.45 ± 0.01 ^d	0.09 ± 0.02 ^{ab}	0.29 ± 0.05 ^c	0.26 ± 0.09 ^c	1.85 ± 0.06 ^c
己酸甲酯	0.96 ± 0.29 ^a	0.62 ± 0.30 ^a	2.07 ± 0.41 ^b	0.46 ± 0.05 ^a	0.64 ± 0.11 ^a	0.59 ± 0.16 ^a	3.49 ± 0.49 ^c
己酸乙酯	5.43 ± 0.38 ^b	4.82 ± 0.43 ^b	1.74 ± 0.00 ^a	5.94 ± 0.69 ^b	4.92 ± 0.92 ^b	4.68 ± 1.73 ^b	0.98 ± 0.25 ^a
乙酸异戊酯	0.17 ± 0.03 ^{de}	0.08 ± 0.02 ^{cd}	0.19 ± 0.00 ^c	0.06 ± 0.00 ^a	0.13 ± 0.01 ^c	0.10 ± 0.01 ^b	0.16 ± 0.01 ^{de}
2-甲基丁酸甲酯	0.12 ± 0.03 ^a	0.10 ± 0.01 ^a	0.57 ± 0.11 ^c	0.06 ± 0.00 ^a	0.26 ± 0.03 ^b	0.15 ± 0.02 ^{ab}	0.54 ± 0.13 ^c
小计	53.30 ± 2.66 ^c	55.09 ± 1.96 ^c	40.28 ± 0.20 ^a	65.89 ± 0.04 ^c	60.63 ± 1.58 ^d	60.44 ± 2.22 ^d	44.21 ± 0.16 ^b
烃类							
己烷	1.89 ± 1.40 ^{ab}	0.53 ± 0.00 ^a	10.63 ± 0.86 ^d	0.53 ± 0.13 ^a	2.90 ± 1.05 ^{bc}	1.45 ± 0.12 ^{ab}	3.90 ± 1.74 ^c
环己烷	0.24 ± 0.16 ^a	0.21 ± 0.07 ^{ab}	1.65 ± 0.21 ^c	0.18 ± 0.06 ^a	0.48 ± 0.08 ^{ab}	0.48 ± 0.09 ^{ab}	0.57 ± 0.32 ^b
庚烷	0.42 ± 0.09 ^c	0.07 ± 0.04 ^a	0.07 ± 0.03 ^a	0.19 ± 0.07 ^{ab}	0.07 ± 0.00 ^a	0.81 ± 0.14 ^d	0.33 ± 0.18 ^{bc}
癸烷	0.33 ± 0.03 ^b	0.19 ± 0.03 ^b	0.48 ± 0.07 ^c	0.11 ± 0.01 ^a	0.27 ± 0.03 ^b	0.13 ± 0.02 ^a	0.32 ± 0.02 ^b
十二烷	0.22 ± 0.01 ^{ab}	0.19 ± 0.04 ^{bc}	0.99 ± 0.21 ^e	0.11 ± 0.01 ^a	0.44 ± 0.08 ^{cd}	0.17 ± 0.02 ^{ab}	0.53 ± 0.05 ^d
十三烷	0.10 ± 0.00 ^{ab}	0.13 ± 0.00 ^c	0.38 ± 0.04 ^d	0.13 ± 0.02 ^{ab}	0.07 ± 0.01 ^a	0.07 ± 0.00 ^a	0.16 ± 0.08 ^b
2-甲基戊烷	1.67 ± 0.15 ^{bc}	0.31 ± 0.14 ^{ab}	2.67 ± 1.09 ^{cd}	0.27 ± 0.03 ^a	1.42 ± 0.67 ^{ab}	0.66 ± 0.19 ^{ab}	3.03 ± 1.06 ^d
2,2,4,6,6-五甲基庚烷	0.47 ± 0.05 ^c	0.11 ± 0.01 ^b	0.57 ± 0.20 ^c	ND	0.13 ± 0.04 ^{ab}	0.12 ± 0.02 ^{ab}	0.21 ± 0.01 ^b
1-乙基-1-甲基-环己烷	ND	ND	ND	0.03 ± 0.01 ^a	0.04 ± 0.00 ^b	ND	ND
环辛烯	0.05 ± 0.01 ^b	ND	ND	0.03 ± 0.00 ^a	0.07 ± 0.02 ^{bc}	0.08 ± 0.02 ^c	ND
甲苯	0.34 ± 0.04 ^b	0.19 ± 0.01 ^b	1.12 ± 0.13 ^c	0.11 ± 0.02 ^a	0.30 ± 0.03 ^b	0.29 ± 0.07 ^b	0.37 ± 0.02 ^b
乙苯	0.09 ± 0.02 ^{abc}	0.10 ± 0.03 ^d	0.31 ± 0.03 ^c	0.05 ± 0.01 ^a	0.11 ± 0.01 ^{bc}	0.07 ± 0.02 ^{ab}	0.12 ± 0.00 ^c
对二甲苯	0.18 ± 0.04 ^c	0.14 ± 0.00 ^d	0.66 ± 0.00 ^f	0.06 ± 0.00 ^a	0.20 ± 0.00 ^c	0.11 ± 0.00 ^b	0.34 ± 0.05 ^c
均三甲苯	ND	0.02 ± 0.00 ^a	0.12 ± 0.01 ^c	0.02 ± 0.00 ^a	0.02 ± 0.00 ^a	0.03 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.02 ^b
苯乙烯	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3.49 ± 0.49
D-柠檬烯	0.07 ± 0.02 ^{bc}	0.04 ± 0.02 ^{bc}	0.25 ± 0.04 ^d	0.01 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.01 ^{ab}	0.08 ± 0.01 ^c	0.08 ± 0.00 ^c
小计	6.07 ± 1.82 ^b	3.94 ± 0.19 ^{ab}	19.90 ± 0.48 ^d	1.84 ± 0.31 ^a	6.56 ± 1.73 ^b	4.56 ± 0.44 ^{ab}	13.54 ± 3.65 ^c
酮类							
丙酮	0.14 ± 0.02 ^a	0.04 ± 0.01 ^a	0.48 ± 0.36 ^b	0.03 ± 0.00 ^a	0.25 ± 0.00 ^{ab}	0.15 ± 0.07 ^a	0.89 ± 0.05 ^c
2-戊酮	0.47 ± 0.01 ^b	0.07 ± 0.01 ^a	0.84 ± 0.12 ^c	ND	0.24 ± 0.03 ^a	0.18 ± 0.11 ^a	0.39 ± 0.01 ^b
2-庚酮	2.67 ± 0.08 ^c	1.19 ± 0.04 ^b	3.31 ± 0.11 ^d	1.31 ± 0.23 ^a	2.67 ± 0.50 ^c	1.85 ± 0.08 ^b	ND
2-辛酮	0.06 ± 0.01 ^{ab}	ND	ND	0.07 ± 0.02 ^{ab}	0.05 ± 0.01 ^{ab}	0.08 ± 0.00 ^c	0.04 ± 0.03 ^a
3-羟基-2-丁酮	3.71 ± 1.71 ^a	1.17 ± 0.27 ^a	10.14 ± 1.12 ^b	1.81 ± 0.50 ^a	3.76 ± 0.00 ^a	3.00 ± 1.01 ^a	11.96 ± 5.52 ^b
6-甲基-2-庚酮	0.13 ± 0.01 ^c	0.05 ± 0.00 ^b	ND	0.06 ± 0.03 ^a	0.06 ± 0.02 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.03 ^{ab}
6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.16 ± 0.00 ^d	0.07 ± 0.01 ^b	0.14 ± 0.02 ^c	0.06 ± 0.00 ^a	0.11 ± 0.00 ^b	0.07 ± 0.00 ^a	0.07 ± 0.00 ^a
小计	7.34 ± 1.81 ^b	4.65 ± 0.67 ^a	14.91 ± 1.23 ^c	3.34 ± 0.26 ^{ab}	7.13 ± 0.45 ^b	5.37 ± 1.13 ^{ab}	13.43 ± 5.55 ^c
含氮含硫类							
3-甲基噻吩	0.08 ± 0.00 ^a	0.10 ± 0.08 ^a	0.13 ± 0.03 ^a	0.03 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.16 ± 0.13 ^a	1.27 ± 0.45 ^b
甲氧基苯基胍	0.52 ± 0.24 ^{ab}	0.38 ± 0.19 ^{ab}	1.01 ± 0.19 ^b	0.38 ± 0.15 ^a	0.53 ± 0.21 ^{ab}	0.50 ± 0.04 ^{ab}	0.74 ± 0.53 ^{ab}
3-环己烯-1-腈	0.53 ± 0.24 ^c	0.11 ± 0.04 ^{ab}	1.22 ± 0.08 ^d	0.11 ± 0.01 ^a	0.34 ± 0.04 ^b	0.21 ± 0.00 ^{ab}	0.29 ± 0.02 ^b
小计	1.14 ± 0.00 ^a	1.07 ± 0.21 ^a	2.36 ± 0.24 ^b	0.52 ± 0.13 ^a	0.93 ± 0.18 ^a	0.87 ± 0.17 ^a	2.30 ± 0.99 ^b

续表

挥发性化合物	相对含量						
	CK	X0.05	X0.1	J0.05	J0.1	H0.05	H0.1
杂环类							
2-丁基呋喃	0.09 ± 0.01 ^{bc}	0.06 ± 0.01 ^c	ND	0.07 ± 0.01 ^b	0.03 ± 0.02 ^a	0.07 ± 0.02 ^b	0.07 ± 0.00 ^b
2-戊基呋喃	1.62 ± 0.13 ^b	2.18 ± 0.06 ^d	1.13 ± 0.20 ^a	1.89 ± 0.02 ^c	1.86 ± 0.17 ^c	2.02 ± 0.07 ^{cd}	1.43 ± 0.06 ^b
(1-甲基丁基)环氧乙烷	1.53 ± 0.72 ^{bc}	0.74 ± 0.14 ^{bc}	5.21 ± 0.34 ^d	0.47 ± 0.24 ^a	1.21 ± 0.16 ^{bc}	0.82 ± 0.16 ^{ab}	1.69 ± 0.49 ^c
2-(1,1-二甲氧乙基)-3-甲基-环氧乙烷	3.45 ± 0.24 ^{bc}	2.80 ± 0.11 ^e	2.87 ± 0.19 ^{ab}	4.20 ± 0.02 ^d	3.79 ± 0.13 ^{cd}	4.13 ± 0.03 ^d	2.56 ± 0.72 ^a
5-己基二氢-4-甲基-2(3H)-呋喃酮	0.06 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.01 ^c	ND	0.08 ± 0.01 ^b	0.05 ± 0.02 ^a	0.08 ± 0.01 ^b	ND
5-(乙酰氧基)-4,5-二氢-5-甲基-2(3H)-呋喃酮	1.02 ± 0.09 ^d	0.49 ± 0.13 ^{bc}	ND	1.01 ± 0.00 ^d	0.86 ± 0.17 ^{bc}	0.60 ± 0.04 ^a	0.67 ± 0.13 ^{ab}
小计	7.76 ± 0.76 ^b	9.72 ± 0.07 ^c	9.21 ± 0.34 ^c	7.73 ± 0.18 ^b	7.81 ± 0.06 ^b	7.73 ± 0.08 ^b	6.42 ± 0.29 ^a
总计	51(100.00)	50(100.00)	42(100.00)	52(100.00)	54(100.00)	52(100.00)	50(100.00)

注:“ND”表示未检出;表4同。

表4 不同处理的烤鸭腿挥发性成分的相对气味活度值(ROAV)

Table 4 Relative odor activity value(ROAV) of volatile components in different processed roast duck legs

化合物种类及嗅觉 阈值(μg/kg) ^[18-19]	ROAV						
	CK	X0.05	X0.1	J0.05	J0.1	H0.05	H0.1
1-辛烯-3-醇(1)	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a
己酸乙烯酯(1)	85.41 ± 5.28 ^c	68.66 ± 5.57 ^{bc}	41.88 ± 8.23 ^{ab}	91.42 ± 13.45 ^c	79.33 ± 22.98 ^c	84.86 ± 30.49 ^c	22.51 ± 4.50 ^a
壬醛(1)	62.26 ± 3.93 ^b	61.08 ± 8.32 ^{bc}	75.26 ± 12.39 ^c	52.98 ± 6.33 ^b	52.73 ± 11.22 ^b	71.66 ± 12.92 ^c	29.79 ± 1.16 ^a
己醛(4.5)	32.39 ± 2.90 ^c	29.36 ± 2.81 ^{bc}	16.93 ± 4.63 ^a	21.27 ± 3.92 ^{ab}	14.38 ± 5.76 ^a	30.76 ± 10.56 ^{bc}	11.94 ± 1.20 ^a
癸醛(0.1)	27.95 ± 2.48 ^{cd}	24.77 ± 7.73 ^{bc}	ND	14.88 ± 1.71 ^a	21.01 ± 0.42 ^{ab}	32.40 ± 2.60 ^d	15.06 ± 1.84 ^a
辛醛(0.7)	22.60 ± 2.18 ^d	18.73 ± 0.41 ^{cd}	21.65 ± 1.62 ^d	15.62 ± 2.36 ^{bc}	11.26 ± 3.66 ^{ab}	22.71 ± 6.22 ^d	8.11 ± 0.05 ^a
E-2-壬烯醛(0.08)	9.75 ± 0.50 ^{ab}	8.24 ± 3.30 ^a	ND	14.26 ± 0.39 ^c	9.44 ± 0.79 ^{ab}	10.93 ± 0.63 ^b	ND
2-甲基丁酸甲酯(0.25)	7.50 ± 3.04 ^{ab}	5.59 ± 0.44 ^{ab}	53.24 ± 0.18 ^d	3.50 ± 0.30 ^a	16.69 ± 0.13 ^c	11.20 ± 1.85 ^{bc}	49.50 ± 9.35 ^d
2-戊基呋喃(6)	4.24 ± 0.22 ^a	5.18 ± 0.06 ^c	4.43 ± 0.08 ^a	4.84 ± 0.20 ^b	4.89 ± 0.06 ^b	6.12 ± 0.14 ^c	5.52 ± 0.11 ^d
庚醛(3)	3.24 ± 0.15 ^{cd}	3.01 ± 0.61 ^{bcd}	2.51 ± 0.08 ^{abc}	2.76 ± 0.14 ^{abc}	2.20 ± 0.51 ^{ab}	3.57 ± 0.80 ^c	2.09 ± 0.29 ^a
E-2-辛烯醛(3)	1.51 ± 0.16 ^a	1.47 ± 0.28 ^a	2.07 ± 0.15 ^c	2.55 ± 0.14 ^d	1.61 ± 0.19 ^{ab}	2.60 ± 0.06 ^d	1.91 ± 0.17 ^{bc}
总计	356.85 ± 19.84 ^b	326.09 ± 18.47 ^{ab}	317.97 ± 27.36 ^{ab}	324.05 ± 28.15 ^{ab}	313.54 ± 42.66 ^{ab}	376.81 ± 57.37 ^{ab}	246.42 ± 11.46 ^a

并选取 ROAV 大于等于 1 的挥发性成分进行分析。由表 4 可知,对照组烤鸭腿中共筛选出 11 种主体挥发性成分(ROAV≥1),分别为 1-辛烯-3-醇、己酸乙烯酯、壬醛、己醛、癸醛、辛醛、E-2-壬烯醛、2-甲基丁酸甲酯、2-戊基呋喃、庚醛、E-2-辛烯醛。为进一步筛选出对烤鸭腿整体风味贡献较大的挥发性成分,定义各组中 ROAV 之和占有主体挥发性成分总 ROAV 90% 以上的几种挥发性成分为关键挥发性成分,经计算可知,对照组、X0.05 组、J0.05 组、H0.05 组中关键挥发性成分均为 1-辛烯-3-醇、己酸乙烯酯、壬醛、己醛、癸醛、辛醛;X0.1 组中关键挥发性成分为 1-辛烯-3-醇、壬醛、2-甲基丁酸甲酯、己酸乙烯酯、辛醛;J0.1 组、H0.1 组中关键挥发性成分为 1-辛烯-3-醇、己酸乙烯酯、壬醛、己醛、癸醛、2-甲基丁酸甲酯。从关键挥发性成分的种类分析,与对照组相比,X0.05 组、J0.05 组、H0.05 组中关键挥发性成分的种类均与对照组保持一致。J0.1 组和 H0.1 组中关键挥发性成分的种类减少了辛醛,增加了 2-甲基丁酸甲酯。X0.1 组中关键挥发性成分的种类减少了己醛、癸醛,增加了 2-甲基丁酸甲酯。从各关键挥发性成分 ROAV 变化的角度分析,与对照组相比,X0.05 组、H0.05 组中各关键性挥发性成分的 ROAV 均无显著性差异($P>0.05$);J0.05 组中己醛、癸醛、辛醛的 ROAV 均显著性降低($P<0.05$),其它关键挥发性成分的 ROAV 均无显著性变化($P>0.05$);X0.1 组中己酸乙烯酯、己醛的 ROAV 均显著性降低($P<$

0.05),2-甲基丁酸甲酯的 ROAV 显著性增加($P<0.05$),1-辛烯-3-醇、壬醛、辛醛的 ROAV 均无显著性变化($P>0.05$);J0.1 组中己醛、癸醛、辛醛的 ROAV 均显著性降低($P<0.05$),2-甲基丁酸甲酯的 ROAV 显著性增加($P>0.05$),1-辛烯-3-醇、己酸乙烯酯、壬醛的 ROAV 均无显著性变化($P>0.05$);H0.1 组中己酸乙烯酯、壬醛、己醛、癸醛、辛醛均显著性降低($P<0.05$),2-甲基丁酸甲酯的 ROAV 显著性增加($P<0.05$),1-辛烯-3-醇无显著性变化($P>0.05$)。

2.4 香叶、高良姜、花椒水提物腌制对烤鸭腿 TBARS 值的影响

香叶、高良姜、花椒水提物腌制对烤鸭腿 TBRAS 值的影响结果如图 1 所示,与对照组相比,各香辛料水提物组烤鸭腿的 TBARS 值均显著性降低($P<0.05$)。另外,同种香辛料水提物腌制组相比,仅 X0.05 组与 X0.1 组之间存在显著性差异($P<0.05$);同种浓度不同香辛料水提物组相比,H0.05 组显著性低于 X0.05、J0.05 组($P<0.05$),但 X0.05 组和 J0.05 组之间并无显著性差异($P>0.05$);X0.1 组、H0.1 组均显著性低于 J0.1 组($P<0.05$),X0.1 组和 H0.1 组之间无显著性差异($P>0.05$)。

3 讨论

挥发性风味物质的含量与风味特征没有直接关系,对总体风味的贡献由挥发性化合物组分在风味体系中的浓度和感觉阈值共同决定^[20]。7 组烤鸭腿

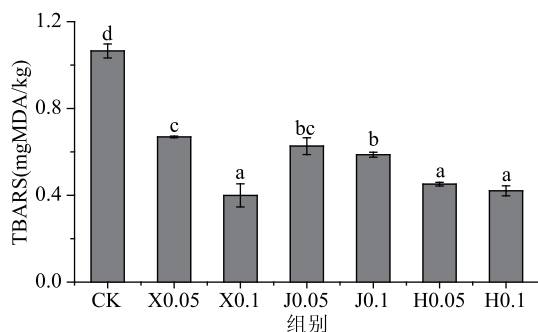


图1 香叶、高良姜、花椒水提取物
对烤鸭腿 TBARS 值的影响

Fig.1 Effects of water extracts of bay leaf, galangal
and pepper on TBARS value of roast duck legs

注:不同小写字母代表差异显著($P < 0.05$)。

中挥发性风味物质的 ROAV 分析结果表明,对照组中关键挥发性成分为 1-辛烯-3-醇、己酸乙烯酯、壬醛、己醛、癸醛、辛醛。与对照组相比, X0.05 组、J0.05 组、H0.05 组中关键挥发性成分的种类均无变化, X0.05 组、H0.05 组中各关键性挥发性成分的 ROAV 也均无显著性差异($P > 0.05$), 虽然 J0.05 组中己醛、癸醛、辛醛的 ROAV 均显著性降低($P < 0.05$), 但其它关键挥发性成分的 ROAV 均无显著性变化($P > 0.05$)。结合感官评分结果可知, 0.05% 的香叶、高良姜、花椒水提取物腌制能够较好地保持烤鸭腿的整体香味。另外, X0.1 组中关键挥发性成分的种类仅有两种发生变化, J0.1 组、H0.1 组中关键挥发性成分的种类均仅有一种发生变化。与对照组相比, X0.1 组、J0.1 组、H0.1 组中己醛的 ROAV 均显著性下降($P < 0.05$)。X0.1 组中癸醛消失, J0.1 组、H0.1 组中癸醛的 ROAV 均显著性下降($P < 0.05$)。Mottram^[21]等认为己醛等饱和直链醛会产生令人不愉快的、刺激性的、辛辣的气味。谢凡^[22]认为己醛在高浓度时会散发出令人作呕的气味。癸醛被认为具有土腥味^[23]。由此可知, 0.1% 的香叶、高良姜、花椒水提取物腌制能够降低烤鸭腿中令人不愉快的的气味。此外, 与对照组相比 X0.1 组中己酸乙烯酯的 ROAV 显著性降低($P < 0.05$), J0.1 组中辛醛的 ROAV 显著性降低($P < 0.05$), H0.1 组中己酸乙烯酯、壬醛、辛醛的 ROAV 均显著性降低($P < 0.05$)。己酸乙烯酯具有果香, 辛醛具有硫味和肉香味, 壬醛具有甜味、焦味和肉香味^[18,24]。它们相对气味活度值的减小可能会降低烤鸭腿的肉香味和果香味。另外, 值得注意的是, 2-甲基丁酸甲酯为 X0.1 组、J0.1 组、H0.1 组新增的关键挥发性成分且其 ROAV 较对照组均显著性增加($P < 0.05$), 被认为具有甜味、苹果香味^[18]。感官分析结果表明, X0.1 组、J0.1 组、H0.1 组的感官评分较对照组并无显著性差异($P > 0.05$)。这可能是 2-甲基丁酸甲酯 ROAV 的显著性增加与壬醛、辛醛的 ROAV 显著性降低共同作用的结果($P < 0.05$)。综上可知, 香叶、高良姜、花椒水提取物腌制对烤鸭腿的整体气味并无明显影响。刘文营^[25]等利用电子鼻、热脱附-气相色谱-质谱(TDS-GC-MS)联用技术对茶多酚、甘草提取物及二者复合物处理对广式腊肠挥发性风味

物质的影响进行了研究, 结果表明, 除二者复合物处理组的主体风味与对照组有微小差异外, 其它组产品间主体风味较对照组差异不明显。本实验的研究结果与之较为相似。

脂质氧化是由自由基的自动催化引起的, 主要包括链的引发、传递和终止 3 个反应阶段^[26]。有研究表明, 天然香辛料中的酚类、黄酮类等抗氧化物质的分子结构中含有活性氢, 能够与活泼的过氧自由基结合, 清除自由基, 同时自身转变成稳定半醌式结构的酸基自由基, 螯合金属离子, 减缓自动氧化链反应的传递速度, 阻断链反应, 从而抑制脂质氧化^[27-28]。TBARS 值能反映脂质氧化分解所产生的次级产物(如丙二醛)含量的高低, 能够较为准确地评价脂质氧化程度^[29]。图 1 结果表明, 各香辛料水提取物组的 TBARS 值均显著低于对照组($P < 0.05$)。这与赵钜阳^[30]等的研究结果相似。说明香叶、高良姜、花椒水提取物腌制均能有效的抑制烤鸭腿中的脂质氧化。香叶、高良姜、花椒水提取物抑制烤鸭腿中脂肪氧化的原因可能与三者中的多酚、黄酮类物质能够清除烤鸭腿加工过程中产生的过氧化物自由基、抑制与脂质氧化相关酶的酶活有关^[31]。

4 结论

利用顶空固相微萃取-气质联用技术结合感官评价, 并以 TBARS 值表示脂质氧化状态对香叶、高良姜、花椒水提取物腌制对烤鸭腿挥发性风味物质和脂质氧化的影响进行研究, 结果表明 0.05% 的香叶、高良姜、花椒水提取物腌制能够较好地保持烤鸭腿的整体香味。0.1% 的香叶、高良姜、花椒水提取物腌制能够显著降低己醛、癸醛的 ROAV ($P < 0.05$), 显著增加 2-甲基丁酸甲酯的 ROAV ($P < 0.05$), 但对烤鸭腿的整体气味并不会造成明显影响。此外, 香叶、高良姜、花椒水提取物腌制均能有效的抑制烤鸭腿中的脂质氧化。因此, 香叶、高良姜、花椒水提取物腌制既能有效的抑制烤鸭腿中的脂质氧化, 又不会对烤鸭腿的整体香味产生明显影响。

参考文献

- [1] 黄晨, 龙森. 天然抗氧化剂对动物肉品的作用[J]. 肉类研究, 2015, 29(3): 30-32.
- [2] Shah M A, Bosco S J, Mir S A. Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products[J]. Meat Science, 2014, 98(1): 21-33.
- [3] Karre L, Lopez K, Getty K J K. Natural antioxidants in meat and poultry products[J]. Meat Science, 2013, 94(2): 220-227.
- [4] 陈璐. 香辛料提取物在肉糜制品中抗氧化效果的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012: 43-47.
- [5] 陈璐, 孔保华, 刘鹭, 等. 香辛料提取物对速冻牛肉丸脂肪氧化控制的研究[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 281-285.
- [6] Weerakkody N S, Caffin N, Dykes G A, et al. Effect of antimicrobial spice and herb extract combinations on *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, and spoilage microflora growth on cooked ready-to-eat vacuum-packaged shrimp[J]. Journal of Food Protection, 2011, 74(7): 1119-1125.
- [7] 郑海洲, 冯改霞, 何孟晓, 等. 传统烤鸭的加工方法[J]. 肉

类研究,2001(4):32-15.

[8] 廖国周,王桂瑛,徐幸莲,等.葡萄籽提取物对烤羊肉中杂环胺形成的影响[J].食品与发酵工业,2011,37(6):98-101.

[9] Yang Y, Zhang X, Wang Y, et al. Study on the volatile compounds generated from lipid oxidation of Chinese bacon (unsmoked) during processing: Aroma generated from lipid oxidation in bacon (unsmoked) [J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2017, 119(10): 1600512(1-10).

[10] Zhou J, Han Y Q, Zhuang H N, et al. Influence of the type of extraction conditions and fiber coating on the meat of sauced duck neck volatile compounds extracted by solid-phase microextraction (SPME) [J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(7): 1661-1672.

[11] 黄忠白,丁媛,黄健,等.带孔扇贝柱和扇贝裙边中挥发性物质的比较分析[J].食品科学,2016,37(4):98-102.

[12] 庞雪莉,胡小松,廖小军,等.FD-GC-O 和 OAV 方法鉴定哈密瓜香气活性成分研究[J].中国食品学报,2012,12(6):174-182.

[13] 刘登勇,周光宏,徐幸莲.确定食品关键风味化合物的一种新方法:“ROAV”法[J].食品科学,2008(7):370-374.

[14] Wu X, Song X, Qiu Z, et al. Mapping of TBARS distribution in frozen-thawed pork using NIR hyperspectral imaging [J]. Meat Science, 2016, 113: 92-96.

[15] 谢恬,王丹,马明娟,等.OAV 和 GC-O-MS 法分析五香驴肉风味活性物质[J].食品科学,2018,39(8):123-128.

[16] 杨晋,陶宁萍,王锡昌.水产调味料的研究现状和发展趋势[J].食品科技,2006(11):51-54.

[17] 朱丹实,吴晓菲,王立娜,等.电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析冷藏真鲷挥发性风味物质变化[J].中国食品学报,2016,16(12):227-234.

[18] 孙宝国.食用调香术[M].第三版.北京:化学工业出版社,2015:32-69.

[19] Chen G, Song H, Ma C. Aroma-active compounds of Beijing roast duck [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2009, 24(4): 186-191.

(上接第 23 页)

protein in presence of low methoxyl pectin: Effect of Na⁺ and/or Ca²⁺ ions on rheology and microstructure of the systems [J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19(3): 549-556.

[25] 朱圣陶,吴坤.蛋白质营养价值评价:氨基酸比值系数法[J].营养学报,1988(10):187-190.

[26] Grazziotin A, Pimentel F A, Jong E V D, et al. Nutritional improvement of feather protein by treatment with microbial keratinase [J]. Animal Feed Science & Technology, 2006, 126(1): 135-144.

[27] Crisan E V, Sands A. 6-nutritional value [J]. Biology & Cultivation of Edible Mushrooms, 1978, 315(8180): 137-168.

[28] Alsemeyer R H, Cunningham A E, Happich M L. Equations predict PER from amino acid analysis [J]. Food Technol, 1974, 28: 34-38.

[29] Boza J J, Jiménez J, Martínez O, et al. Nutritional value and antigenicity of two milk protein hydrolysates in rats and guinea pigs [J]. Journal of Nutrition, 1994, 124(10): 1978-1986.

[30] Mengxia X, Yuan L. Studies on the hydrogen bonding of

[20] 杨文鸽,邓思瑶,吕梁玉,等.电子束辐照前处理对梅鱼鱼糜凝胶挥发性成分的影响[J].农业机械学报,2017,48(9):344-351.

[21] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: A review [J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.

[22] 谢凡.烤鸭中美拉德反应的研究[D].上海:上海应用技术学院,2015.

[23] 王清,陈舜胜.油爆工艺对上海熏鱼风味物质的影响[J].食品科学,2019,40(2):171-179.

[24] 张杰,唐善虎,李思宁,等.加热温度对牦牛肉肌原纤维蛋白与葡萄糖或果糖美拉德反应挥发性成分的影响[J].食品工业科技,2018,39(7):222-231.

[25] 刘文营,乔晓玲,成晓瑜,等.天然抗氧化剂对广式腊肠感官品质及挥发性风味物质的影响[J/OL].中国食品学报,2019,19(2):206-215.

[26] Jan P. Are natural antioxidants better and safer than synthetic antioxidants? [J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2010, 109(6): 629-642.

[27] Lu M, Yuan B, Zeng M, et al. Antioxidant capacity and major phenolic compounds of spices commonly consumed in China [J]. Food Research International, 2011, 44(2): 530-536.

[28] Hernandez-herandez E, P Ponce-alquicira E, Jaramillo-flores M E, et al. Antioxidant effect rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and oregano (*Origanum vulgare* L.) extracts on TBARS and colour of model raw pork batters. [J]. Meat Science, 2009, 81(2): 410-417.

[29] Hudayi E, Sami G Ö. Kinetics of traditional Turkish sausage quality aspects during fermentation [J]. Food Control, 2011, 22(2): 165-172.

[30] 赵钜阳,石长波,左嵩.香辛料提取物对低温油炸肉丝软罐头的抗氧化效应研究[J].食品安全质量检测学报,2017,8(9):3334-3340.

[31] 罗雨婷,谷大海,徐志强,等.天然香辛料在肉制品中抗氧化活性研究进展[J].肉类研究,2017,31(10):53-57.

aniline's derivatives by FT-IR. [J]. Spectrochimica Acta Part A Molecular & Biomolecular Spectroscopy, 2002, 58(13): 2817-2826.

[31] Yu P, Christensen DA, Christensen CR, et al. Use of synchrotron FTIR microspectroscopy to identify chemical differences in barley endosperm tissue in relation to rumen degradation characteristics [J]. Canadian Journal of Animal Science, 2004, 84(3): 523-527.

[32] Yu P. Protein molecular structures, protein subtractions, and protein availability affected by heat processing [J]. American Journal of Biochemistry & Biotechnology, 2007, 3(2): 66-86.

[33] Yu P, Mckinnon J J, Christensen C R, et al. Using synchrotron-based FTIR microspectroscopy to reveal chemical features of feather protein secondary structure: Comparison with other feed protein sources [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2004, 52(24): 7353-7361.

[34] 酃旭文,王进波.池养南美白对虾与南美白对虾肌肉营养品质的比较[J].水生生物学报,2006,30(4):453-458.