

肉制品风味物质分析及其在加工中变化的研究进展

刁小琴, 孙薇婷, 徐筱君, 刘登勇*, 关海宁*

(渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁省食品安全重点实验室, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术
国家地方联合工程研究中心, 锦州 121013)

摘要: 风味是风味物质刺激人的感觉系统所产生, 是评价肉制品品质的一项重要指标。通过对肉制品风味物质的提取、检测, 进一步分析肉制品气味和滋味物质的组成、含量及形成途径, 能更好地探究肉制品风味物质在加工过程中的变化, 对肉制品的开发、风味的调和以及加工工艺的改进具有指导意义。本文综述了肉制品风味物质的产生途径, 并分别阐述了固相微萃取、同时蒸馏萃取以及顶空分析等技术在风味物质提取方面的优缺点, 同时总结了电子鼻、电子舌和气相色谱-质谱联用技术在风味物质检测方面的应用, 最后分析了烧烤、油炸、蒸煮、烟熏和酱卤等不同的传统加工方式对肉制品风味形成的影响, 为深入探究肉制品风味提供理论依据和指导作用。

关键词: 肉制品; 风味物质; 检测技术; 加工变化

Research progress on analysis of flavor compounds in meat products and their changes during processing

DIAO Xiao-Qin, SUN Wei-Ting, XU Xiao-Jun, LIU Deng-Yong*, GUAN Hai-Ning*

(College of Food Science and Technology, Bohai University, Key Laboratory of Food Safety of Liaoning Province, National and Local Joint Engineering Research Center for Storage, Processing and Safety Control Technology of Fresh Agricultural Products, Jinzhou 121013, China)

ABSTRACT: Flavor is produced by flavoring substances that stimulate human sensory system, and is an important indicator for evaluating the quality of meat products. Through the extraction and detection of meat flavor substances, the composition, content and formation way of meat odor and flavor substances are further analyzed, which could better explore the changes of meat flavor substances in the processing process and have guiding significance for the development of meat products, flavor blending and the improvement of processing technology. This paper reviewed the production pathways of flavor substances in meat products, and expounded

基金项目: 辽宁省教育厅科学技术研究项目(LJ2020006)、渤海大学博士科研启动基金项目(05013/0520bs007)、辽宁省重点研发计划项目(2017205003)

Fund: Supported by the Scientific Research Project from Education Department of Liaoning Province (LJ2020006), Doctoral Research Foundation of Bohai University Program (0520bs007), and Liaoning Science Key Research and Development Program (2017205003)

***通信作者:** 刘登勇, 博士, 教授, 主要研究方向为肉品加工与质量安全控制、食品风味与感官科学。E-mail: jz_dyliu@126.com

关海宁, 博士, 副教授, 主要研究方向为功能性成分分析及肉制品加工技术。E-mail: hai.ning2001@163.com

***Corresponding author:** LIU Deng-Yong, Ph.D, Professor, Bohai University, No.19, Keji Road, New Songshan District, Jinzhou 121013, China. E-mail: jz_dyliu@126.com

GUAN Hai-Ning, Ph.D, Associate Professor, Bohai University, No.19, Keji Road, New Songshan District, Jinzhou 121013, China. E-mail: hai.ning2001@163.com

the advantages and disadvantages of solid phase microextraction, simultaneous distillation extraction and headspace analysis in flavor substance extraction, at the same time, summarized the applications of electronic nose, electronic tongue and gas chromatography-mass spectrometry in flavor substance detection; finally, this article analyzed the effects of different traditional processing methods on the flavor formation in meat products, such as barbecue, frying, cooking, smoking and sauce halogen, which provided a theoretical basis and guidance for in-depth study on the flavor of meat products.

KEY WORDS: meat products; flavor substance; detection techniques; process change

0 引言

风味是动物制品一个重要又复杂的属性^[1],是风味物质刺激人的嗅觉系统和味觉系统所产生。肉制品的风味物质是由风味前体物质转化产生,风味前体物质本身并不产生风味,其一般分为滋味呈味物质和挥发性风味化合物,滋味物质一般包括无机盐、游离氨基酸、肌苷酸、肽和有机酸等,共同构成甜味、酸味、鲜味、苦味及咸味;醛类、酚类、烃类、杂环化合物及含硫化合物等挥发性化合物共同构成肉的香味^[2]。风味是评价动物制品品质的一项重要感官指标。

生肉本身没有香味,反而会因为储存不当产生腐败的酸臭味,但加工后的肉制品会产生特定的风味化合物^[3]。烧烤、烟熏、油炸、蒸煮和酱卤等烹饪技术由于传热方式不同,肉制品产生的风味也各有特点。肉制品在加工过程中通过脂肪氧化降解、美拉德反应以及风味前体物质的降解等,产生与释放大量产生风味的化合物,如:醇、醛、羧酸、酯、呋喃、吡啶、吡嗪、噻唑、噻吩、氮、硫的杂环化合物会产生肉香味^[4]。此外,反式-2-庚烯醛的含量与食品的腐臭程度相关,较高浓度的苯甲醛产生霉味,超量的乙醇和乙酸乙酯会产生酒味等。JIA等^[5]研究证实巯基甲烷和二甲基二硫是猪肉产生异味的主要化合物。因此,了解肉制品风味物质,能更好地控制风味产生的途径及影响因素,不仅可以推测肉制品特征风味的形成,还可以抑制不良风味的产生。此外,研究风味物质还有利于弥补肉制品在加工过程中散失的风味物质,从而保留原本风味,对原料肉和加工工艺的改进以及新型肉制品的研发、控制肉制品质量与安全具有积极作用。虽然张骞等^[6]对不同加工方式中肉香味的形成机制和提取进行了简要概述,但关于肉类风味物质的提取、检测技术的优缺点以及传统加工工艺中风味和有害物质的产生未做详细报道。

本研究对肉制品风味物质形成途径、提取检测技术以及传统加工方式对风味物质的影响进行总结,以便人们对肉制品风味进一步了解,以期对肉制品风味相关方面的研究提供参考和依据。

1 风味物质的产生途径

1.1 前体风味物质的降解

动物制品风味前体物质主要是蛋白质、糖类和大分子物质(硫酸素)。蛋白质在热降解时会产生游离氨基酸,如天冬氨酸(aspartic acid, Asp)、谷氨酸(glutamic acid, Glu)、谷氨酰胺(glutamine, Gln)、天冬酰胺(asparagine, Asn)等具有一定酸味的风味物质;糖类热降解产生的呋喃酮和 H₂S 会产生强烈的肉香气;硫酸素热降解,产生的 2-甲基-2,3-二羟基-3(或 4)-噻吩硫醇是肉汤的主要香味物质^[7]。曹辰辰等^[8]研究植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum* CD101)和模仿葡萄球菌(*Staphylococcus simulans* NJ201)为混合发酵剂对发酵香肠风味的影响,结果发现发酵过程中,功能性发酵剂能影响香肠中蛋白质和脂肪的降解,显著增加香肠中挥发性化合物的种类。孙姣林^[9]研究硫酸素对煮牛肉中香气成分的影响,结果发现硫酸素在参与热反应过程中发生降解,使牛肉中的含硫、含氮化合物及杂环化合物含量增加,生成噻吩和双二硫化物等产物,产生浓烈的肉香气,且表明煮牛肉过程中添加 0.6 g 硫酸素会使煮牛肉的口感风味和色泽最佳。

1.2 脂肪氧化

脂肪氧化产生风味一方面脂肪细胞中的脂溶性物质在加热时产生肉风味;另一方面,脂肪降解产生的不饱和脂肪酸再氧化降解产生醛、酸等羰基化合物,羰基化合物发生反应释放挥发性物质,使肉产生香味^[10]。张维悦等^[11]以干腌腊肉为研究对象,分析 20%~50% KCl 替代 NaCl 对腊肉脂肪氧化和脂肪酸组成的影响,结果显示 KCl 不仅促进亚油酸降解形成风味成分,而且 KCl 替代会增强多不饱和脂肪酸的降解,且替代比例越大对腊肉风味的影响越大。WEN 等^[12]研究 NaCl 替代品 SS1(70% NaCl, 30% KCl)和 SS2(70% NaCl, 20% KCl, 4%赖氨酸, 1%丙氨酸, 0.5%柠檬酸, 1%乳酸钙和 3.5%麦芽糖糊精)对哈尔滨干香肠脂质、蛋白质氧化及风味变化的影响,结果发现 SS2 显著降低了干香肠脂肪和蛋白质的自氧化程度,促进了 β -脂质氧化和酯化反应产生醛类、酮类和酯类挥

发性化合物, 减少了氯化钠含量, 改善了哈尔滨干香肠的风味。李俊霞等^[13]探讨发酵香肠中风味来源与形成机理, 发现发酵香肠风味物质主要来自于脂肪的自动氧化、美拉德反应和 Strecker 降解反应。齐银霞等^[14]采用固相微萃取-气质联用和感官评价的方法, 研究了脂肪氧化对热反应产物的影响, 结果发现控制脂肪氧化程度对形成愉快的、浓郁的、逼真的肉香味具有重要意义。肉制品的脂肪水解和氧化从胴体肉就开始存在, 且水解和氧化程度受多种因素影响。肉类的氧化酸败不仅影响产品风味, 而且脂质氧化产生的初级、次级产物等会影响肉中其他成分, 引起其他组分的反应变化^[15]。

随着社会进步, 人们生活质量提高, 人们对肉及肉制品风味需求有所提升, 了解脂肪风味物质的产生途径以及风味成分的变化显得更为重要。

1.3 美拉德反应

美拉德反应中的初期和中期阶段是肉产生香味的主要阶段, 初期阶段是羰氨反应到阿莫德瑞(Amadori)重排, 这一阶段主要产生吡嗪类、吡咯类等关键挥发性香味物质, 中期阶段是斯特勒克降解(Strecker), 氨基酸与二酮类化合物缩合生成希夫碱, 然后脱去羧基加水分解成醛类。含硫化合物也是肉香味的重要组成部分, 半胱氨酸经降解后产生硫化氢和乙醛, 硫化氢和吡喃酮发生反应, 生成肉类香味物质^[16]。ZOU 等^[17]研究酶解牛肉、水解含硫寡肽与木糖经热处理后的美拉德反应产物(maillard reaction products, MRPS), 结果发现并不是所有的含硫寡肽都能发生美拉德反应或具有相同的肉香气产生能力, 半胱氨酸-甘氨酸-缬氨酸体系对肉香气贡献最大。有研究者在半胱氨酸-木糖体系中分析甘氨酸的添加量对美拉德反应中间体产生肉香味的影响, 结果表明甘氨酸对肉味的形成呈钟形曲线, 含硫风味化合物的生成量与反应混合物中半胱氨酸与甘氨酸的摩尔比有关^[18-19]。康乐^[20]对牛肉中美拉德反应风味前体肽的鉴定及其产物的形成机理进行研究, 结果发现牛肉中一些含硫肽参与美拉德反应, 是风味前体肽对肉的鲜味有一定影响。肽类和氨基酸的裂解是美拉德反应中肉类产生香味的主要途径, 其中肽类物质可直接产生肉香, 改善肉的口感。

2 风味物质的提取及检测技术

2.1 风味物质的提取

动物制品在分析其风味化合物之前, 需要将风味物质进行提取, 再进行定量和定性分析。风味物质含量低、易挥发、易氧化, 对提取技术要求特殊。常用的提取技术主要有固相微萃取(solid-phase micro-extraction, SPME)、同时蒸馏萃取法(simultaneous distillation extraction, SDE)及顶空(headspace, HS)分析技术。

2.1.1 固相微萃取法

固相微萃取法是一种简单、经济、灵敏度高的挥发性化合物提取技术, 它可以使用较低的温度, 更好的感知人类鼻子的香味剖面。MÓNICA 等^[21]针对 SPME 的技术缺陷, 选择最佳萃取纤维对 SPME 技术进行优化, 分析了不同脂质氧化程度对生牛肉中挥发性化合物的影响, 结果发现优化后的 SPME 是一种很好的风味物质提取技术。周恒量等^[22]以风味泡鹅肉为原料, 利用顶空-固相微萃取结合技术对风味泡鹅肉进行风味物质提取, 并对 HS-SPME 技术进行优化, 研究发现风味泡鹅肉风味物质的最佳萃取工艺条件为: 75 μm 萃取头、萃取温度 55 $^{\circ}\text{C}$ 、萃取时间 53 min、解吸时间 4 min, 在该条件下检测的风味化合物种类最多。冯宇隆^[23]用 SPME 对北京鸭肉风味物质进行提取, 利用气相色谱-质谱分析法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)进行分析, 结果发现鸭肉的特异风味主要由肌内脂肪和脂溶性物质引起。固相萃取技术在各类风味物质分析中, 不同萃取头能萃取出不同的风味物质^[24]。然而, 利用 SPME 技术, 在挥发性化合物吸附 SPME 纤维时, 由于物质之间的竞争吸附会影响其定量。因此, 选择吸附性最优的纤维, 优化 SPME 技术, 能使其在风味物质提取方面发挥更大的作用。

2.1.2 同时蒸馏萃取法

SDE 是将水蒸气蒸馏和溶剂萃取相结合, 使含有样品组分的水蒸气和萃取溶剂蒸气在一定的装置中充分混合, 冷凝后两相充分接触实现组分的相转移, 且在反复循环中实现高效萃取、减少实验步骤、缩短分析时间, 通常作为风味分析的前处理方法, 广泛应用于食品、香精等挥发性化合物的前处理^[25]。徐欢等^[26]以金华火腿为原料, 乙醚作为提取溶剂, 采用 SDE 提取金华火腿风味物质, 结果发现提取时间对金华火腿风味物质的影响最显著, 而乙醚用量影响最小。WATKINS 等^[27]通过气相色谱-质谱联用技术比较了 SPME 和 SDE 在热牛肉和羊脂肪中挥发性化合物提取中的差异, 结果发现利用固相萃取和同时蒸馏萃取得到的挥发性香味物质存在一定差异, 但 SPME 和 SDE 应该相互补充应用。RIU-AUMATELL 等^[28]研究发现 SDE 法能检测出酸类、酯类等大分子风味物质。同时蒸馏萃取法快速、高效, 然而会使一些热敏性较高的物质流失。

2.1.3 顶空分析技术

顶空分析技术包括静态顶空分析技术(static headspace, SHS)和动态顶空取样技术(dynamic headspace, DHS)。SHS 适用于检测组分含量或挥发度高的样品, 该法操作简单, 无需其他溶剂, 对环境无污染, 在一定程度上用于提取肉类食品的风味物质; GKARANE 等^[29]采用 SHS 技术提取羊肉中的挥发性成分, 分析日粮时间对羔羊肉挥发性化合物的影响, 研究发现集中喂食的羔羊的肉香味、涩味含量较高。王军喜等^[30]采用 HS-SPME 对酱油鸡的挥

发性风味物质进行提取, 并利用 GC-MS 联用技术和保留指数(retention index, RI)分离定性, 结果表明酱油鸡的主要关键性风味物质为 1-辛烯-3-酮、辛醛、反,反-2,4-癸二烯醛、反-2-壬烯醛、反,反-2,4-壬二烯醛、丁香酚等物质。

2.2 风味物质的检测

2.2.1 电子鼻

电子鼻是一种应用广泛的分析、识别、检测复杂气味和挥发性成分的仿生物嗅觉感受系统, 主要是由气味传感器、信号处理系统和模式识别系统等功能性元件构成, 又称气味扫描仪。近年来, 电子鼻检测系统在挥发性化合物检测方面得到了广泛的应用, 在肉品的新鲜度、风味等方面也应用广泛。蔡雪梅等^[31]应用电子鼻和顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术研究啤酒鸭的风味物质, 以及啤酒对啤酒鸭风味的影响, 结果表明啤酒鸭的主要挥发性物质是醇类和烃类, 包括乙醇、正己醇和戊烷, 然而未添加啤酒的鸭肉其挥发性化合物的组成较少。另外, 啤酒不同添加量对啤酒鸭的风味也存在影响, 随着添加量的增大, 醇类物质呈上升趋势, 而醛类和烃类整体呈下降趋势。SULLIVAN 等^[32]利用电子鼻和 GC/MS 对猪肉的陈腐风味进行分析, 结果表明猪肉脂质氧化过程中产生的戊醛、2-戊基呋喃、辛醛、壬醛、1-辛烯-3-醇和己醛含量越高, 猪肉的腐败程度越大; 另外, 冷藏期间的氧化变化导致电子鼻的重现性降低。XU 等^[33]应用感官评价和 E-nose 技术鉴别中国白切鸡屁股、头、胸、大腿、皮的风味差异, 结果表明鸡胸肉风味优于其他部位。崔晓莹等^[34]利用电子鼻和气相色谱-质谱联用仪对德州扒鸡关键风味物质进行检测, 结果表明德州扒鸡挥发性风味物质中烯烃类物质种类最多, 关键风味化合物为醛类物质; 肉香味、五香味和药材香为德州扒鸡的关键风味。SHI 等^[35]利用电子鼻对酱排骨的挥发性风味物质进行分析, 结果表明电子鼻通过不同传感器能很好地区分不同地区酱焖排骨的香味化合物, 酱焖排骨中含硫化合物较丰富。电子鼻不仅可以快速分析肉中的挥发性风味物质, 在肉的新鲜度评定和肉类掺假方面也应用广泛, 然而作为一项前沿的科学技术, 也存在一些不足, 如: 电子鼻检测系统的开发及应用在硬件方面尚存在前后采集气体相互干扰, 进样装置和气室自动清洗困难, 气敏传感器阵列响应信号易受环境因子(温度、湿度)和空气中的其他气体的影响等问题^[36]。

2.2.2 电子舌

电子舌是基于生物味觉模式建立起来的检测体系, 作为一种分析、识别和检测复杂呈味物质的仪器, 电子舌以其快速、简便、安全等特点迅速在肉制品风味化合物检测方面应用广泛。LIU 等^[37]利用化学分析和电子舌系统对德州扒鸡在烹饪过程中滋味成分的演化进行评价, 味觉活性值(taste activity value, TAV)显示, 肌苷酸(inosine

monophosphate, IMP)、谷氨酸(glutamic acid, Glu)、赖氨酸(lysine, Lys)对德州扒鸡的最终产品的味道属性如鲜味和苦味有显著的贡献; 同时, 扒鸡主要的味觉变化是咸味和苦味。LEE 等^[38]用电子舌研究水分蒸发对干熟和湿熟牛肉口感特性的影响, 结果表明水分蒸发有助于提高牛肉的风味, 与湿法陈酿相比, 干法陈酿能产生更高浓度的味觉活性化合物和挥发性香气前体。吴慧琳等^[39]利用电子舌对热加工酸肉的滋味特征进行研究, 结果表明不同种类及经过不同加热处理的酸肉, 电子舌滋味强度存在显著差异($P < 0.05$), 酸肉中酸、苦、涩、咸、鲜、甜味均存在显著差异($P < 0.05$)。TIAN 等^[40]用电子舌法分析了不同盐含量(0%、1%、3%、5%、7%)的干腌猪肉样品的游离氨基酸和滋味成分, 并用顶空-气相色谱-离子迁移谱法分析了挥发性有机成分, 结果表明含盐量为 3%和 5%的干腌猪肉中挥发性有机化合物含量最高, 风味指标最高。随着传感器技术的进步, 新型化学敏感材料在电子舌传感器中的应用, 使电子舌的功能日益增强。

2.2.3 GC-MS

GC-MS 技术是目前最为成熟的一种双光谱技术, 既能有效弥补气相色谱(gas chromatography, GC)技术的缺陷, 又能发挥质谱(mass spectrometry, MS)高灵敏度和强识别性能的优势, 可以有效对食品中复杂的化合物进行定性和定量分析^[41]。ZHAO 等^[42]采用溶剂辅助风味蒸发与气相色谱-质谱联用的方法, 对黑猪肉汤中 104 种挥发性化合物进行了鉴定, 鉴定结果表明黑猪肉汤中主要挥发性化合物是脂肪酸、醛类、醇类和酯类等风味物质, 香气较强的化合物是 2-甲基-3-呋喃硫醇、3-丙醛、 γ -癸内酯、2-呋喃硫醇等, 含量较高的香气化合物有 3-羟基-2-丁酮、己醛、戊醛和 1-辛烯-3-醇。SABILLA 等^[43]用 GC-MS 对牛肉、鸡肉和猪肉肉块的挥发性化合物分布的传感器阵列系统进行研究, 结果表明 GC-MS 能高效准确分析鉴定出肉香味的差异, 鉴别出不同的肉块。ZHANG 等^[44]用 GC-MS 技术分析不同品种对羔羊肉挥发性气味化合物前体以及气味特性的影响, 结果表明 Dorper 品种羔羊的多不饱和脂肪酸含量、氨基酸含量和挥发性风味化合物高于 Tan 和 Hu 品种, 风味口感更佳。近年来, GC-MS 技术与 SPME 技术联用作为对食品中香气成分进行分析的新型手段, 因其高效、简便、准确的特点被广泛应用^[45]。

除以上几种常用的风味检测方法外, 还有气相色谱-嗅闻技术(gas chromatography-smelling technique, GC/O)、气相色谱-嗅闻-质谱联用技术(gas chromatography-sniffing-mass spectrometry, GC-O-MS)、顶空-固相微萃取-气相色谱-离子迁移谱(headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-ion migration spectroscopy, HS-SPME-GC-IMS)等复合联用检测技术。随着科技的进步,

现有的风味物质提取、检测技术不断被优化,更多高效、快速、准确性高的检测技术也逐渐应用于肉类风味物质的检测。

3 加工过程中风味物质的变化

脂肪氧化和美拉德反应释放的挥发性化合物产生的香味是固定的,不同的香味和口感与肉的种类、烹饪方式等也有很大关系。对于动物制品,我国采用的传统烹饪技术多为蒸煮、油炸、烤制、酱卤和烟熏工艺。其中,蒸煮肉制品多为鲜香味,烤制肉品多为焦香味。

3.1 蒸 煮

蒸煮主要是利用水或蒸汽对肉进行热加工的方法。蒸煮过程中脂肪氧化和美拉德反应促进香味挥发性化合物的释放,增加了肉的香气。秦艳秀等^[46]研究香叶循环煮制(5次)对猪里脊肉汤挥发性风味的影响,结果表明煮制1次时,香叶组肉汤中挥发性化合物种类和总含量最多,且均随煮制次数的增加而减少,醇类、醚类、酚类、酯类化合物在煮制2次后含量骤减。张慢^[47]对传统砂锅与商用砂锅煮肉汤时对风味物质进行了比较,结果发现传统砂锅炖的肉汤风味更佳,对比加热模式 C₁₂ 与 C₄ 对风味的影响发现,100 °C的蒸煮容易造成风味物质的蒸发和损失,脂肪氧化和美拉德反应过度,导致一些刺激性小分子酸类和酮类物质的生成或含量增加。

3.2 烤 制

肉品烤制过程中色泽、气味等都会发生变化,肉在烤制中香味的产生主要是由各种羰基化合物和醛类物质散发,其中丁二酮会产生一种诱人的风味,烤肉中的金黄色和焦糖味主要是由美拉德反应和焦糖化反应产生。脂肪的加热、氧化也会使烤肉产生独特的风味,氨基酸、糖类是烤肉制品的重要前体物质。姚文生等^[48]对5家烧烤店的烤羊肉风味物质进行气相色谱-离子迁移谱分析,结果发现5家烤羊肉中共有的风味物质主要是醛类(戊醛、壬醛、辛醛等)、酮类(2-庚酮、2-丁酮、甲基庚烯酮、3-羟基-2-丁酮等)、醇类(戊醇等)和酯类(乙酸乙酯)等,从加香辛料烤制和未加香辛料烤制的羊肉串风味指纹图谱中可明显观察到不同市售烤羊肉串样品的异同,羊肉串在加入香辛料烤制后甲基庚烯酮含量降低;2-庚酮、丙酮和戊醇的含量升高;己醛、壬醛、庚醛、异戊醛、苯甲醛、3-羟基-2-丁酮的含量几乎不变,可能是羊肉串烤制后本身的特征风味物质。ORTUÑO 等^[49]比较了烤制和真空低温烹饪对羊肉饼在65 °C放置4 h后风味物质的变化,结果表明羊肉饼含水量和脂肪含量相似,但是烤羊肉饼的脂肪氧化和美拉德反应明显,产生的挥发性香味物质增加。

烤肉外焦里嫩,香气扑鼻,让人口齿留香。但肉在烤制过程中容易产生一种致癌物质,即苯并芘。我们要开发

创新,既要保留烤肉最佳风味,又要优化工艺,达到降低烤肉有害物质的目的。

3.3 烟 熏

烟熏是将制品放入烟熏室,用熏材缓慢燃烧使其产生烟气,在一定温度下,食品吸收烟气,水分含量下降并产生独特的烟熏味,从而延长储存时间的一种加工方法。在熏制过程中,主要是美拉德反应和脂肪氧化等产生酚类、羰基化合物和烃类等物质。酚类物质除了抑菌和抗氧化作用,对风味的产生具有最重要的影响;羰基化合物是熏制中风味和芳香味的重要来源,烃类对风味并无影响。王道^[50]以常见的蔗糖、葡萄糖、果糖、木糖和麦芽糖在350 °C和400 °C下熏制的鸡腿肉为研究对象,探讨糖熏风味的形成规律,结果表明糠醛、5-甲基呋喃醛是糖熏风味的主要来源。毛永强等^[51]对传统陇西腊肉的挥发性风味物质进行检测分析,根据气味活度值(relative odor activity value, ROAV)分析结果显示,醛类、酮类、酯类物质是腊肉的主要挥发性化合物;主成分分析(principal component analysis, PCA)结果表明,己酸乙酯、茴香醚、己醛、3-甲基丁醛、(E)-2-辛烯醛、芳樟醇为腊肉中的关键香味物质。ERICK 等^[52]研究不同巴西木材对熏肉的挥发性化合物影响,研究表明熏肉在熏制过程中发生美拉德反应和脂肪氧化,且腊肉在吸烟过程中挥发性化合物数量增加,主要为醛、酚和酮。HU 等^[53]研究降低氯化钠对干香肠风味的影响,结果发现2%氯化钠是理想添加量,在不影响干香肠理化性能和感官性能的前提下,能达到更好的品质和风味。烟熏制品与烧烤制品一样,在熏制过程中会产生苯并芘致癌物质,然而烟熏制品产生的有害物质都留在表面,食用时可通过清洗表面去除。

3.4 油 炸

油炸是油脂在高温下对肉制品进行热加工的过程。肉制品在油炸时,表面脱水硬化,产生焦糖反应,外焦里嫩。蛋白质和脂质降解发生美拉德反应产生芳香物质,脂质的降解会散发大量的挥发性化合物,使肉产生独特的香味。孟祥忍等^[54]以黄金猪排为研究对象,比较分析不同油炸方式(传统、微波、空气炸锅)对其脂质氧化及挥发性风味成分的影响,结果表明微波油炸黄金猪排的脂质氧化程度最高,其次为空气炸锅,而传统油炸样品的氧化程度最低;不同油炸方式均使黄金猪排产生了挥发性醛类物质,同时,在空气炸锅油炸黄金猪排样品中还检测到了具有烘烤香味的2,3-二甲吡嗪。ZHANG 等^[55]用不同的超声波频率辅助煎炸的烹饪方法,分析煎炸肉丸的风味,结果表明超声处理辅助煎炸的方式,使总的游离脂肪酸(free fatty acid, FFA)含量下降,但加速了氧化,进一步促进挥发性香味化合物的产生。油炸过程中不仅产生大量游离脂肪酸会对人体造成危害,而且引起肥胖、高血压和动脉硬化等疾病,

同时还会产生丙烯酰胺有毒物质。陈伟玲等^[56]以贺州土猪五花肉为对象, 研究油炸条件对丙烯酰胺含量、色泽、硬度等的影响, 结果表明在黄酒浓度为 20%, 油炸时间 6 min, 油炸温度 170 °C 的最佳工艺条件下制备的五花肉中丙烯酰胺含量较少, 扣肉皮色泽金黄, 皮弹性良好, 硬度适中。油炸工艺的优化不仅能改良油炸肉制品的风味, 对肉制品中不良风味物质和有害物质的控制有积极作用。

3.5 酱 卤

酱卤肉制品是将鲜肉与食盐、酱油以及香辛料一起进行煮制而成的熟肉制品, 如: 烧鸡、酱鸭、酱牛肉, 酱猪蹄等。马菲等^[57]研究酱卤时间对传统酱卤猪肉制品风味及质构变化规律的影响, 结果表明酱制过程中样品硬度及咀嚼性呈先上升后下降的趋势, 结合感官评定发现酱制 40~60 min 时样品的质构较好, 酱制时间越长, 样品的风味越好, 但不利于样品质构的形成。李娟等^[58]等以北京地区老字号酱卤牛肉(稻香村、天福号、月盛斋、东来顺)为研究对象, 探究各酱卤牛肉产品中风味物质的组成, 结果发现庚醛、壬醛、肉豆蔻醛、桉叶油醇、芳樟醇、2-戊基呋喃等被确定为主体风味物质; 壬醛、桉叶油醇、芳樟醇、草蒿脑、茴香脑被认定为北京地区老字号酱卤牛肉的特征风味物质, 酮类、酯类和部分醇类为修饰风味物质。气味活性物质可聚为 4 类, 其分别来源于原料肉中脂肪的氧化降解、美拉德反应以及香辛料的添加等。

3.6 其 他

除了蒸煮、油炸、烤制、烟熏、酱卤等传统的烹饪方法, 微波技术、超声辅助烹饪技术等现代烹饪技术也应用于肉制品加工中。韦婕妤^[59]比较了微波、煎制、炸制、蒸制和煮制等热加工处理方式对羊肉熟制品质地特性和蛋白氧化以及美拉德反应程度的影响, 结果发现微波加热处理的羊肉, 游离氨基酸含量下降, 蛋白质氧化和美拉德反应程度不同, 进而风味和品质各有差异。ZOU 等^[60]分别用不同的超声功率烹饪五香牛肉 120 min, 测定了五香牛肉的氯化钠、糖、游离氨基酸、5'-核糖核苷酸、挥发性风味物质含量, 结果表明超声处理能显著提高牛肉样品中氯化钠的含量($P<0.05$); 与对照组相比, 糖和 5'-核糖核苷酸含量显著提高($P<0.05$); 脂质氧化反应表明, 超声处理显著增加了风味挥发物的种类和相对含量($P<0.05$), 尤其是醛类、醇类和酮类。超声辅助烹饪技术不仅能提高肉制品在加工过程中的风味, 对肉的嫩化和营养成分的提高也有积极作用。

4 展 望

随着社会的进步, 人民生活水平的提高, 未来消费者对于肉制品品质的色、香、味和安全会提出更高的要求。尽管肉制品在加工过程中产生的大量挥发性化合物有利于

肉香味的形成, 但部分化合物容易形成异味, 如: 肉制品中糖类降解产生的酮醛类化合物易构成臭味。油炸和烧烤是消费者比较受欢迎的加工方式, 但肉制品在加工过程中会产生致癌物-苯并芘, 危害人类健康。此外, 加工过程中容易造成一些热敏性风味化合物散失, 造成肉制品部分风味丧失。因此, 深入研究风味物质形成途径, 为下一步研究加工过程中不良风味的控制和风味的调和具有指导意义。此外, 弥补检测技术的缺陷, 积极开发新型检测技术, 改善加工工艺, 以减少有害物质对人体的伤害需要更深入地探究。

参考文献

- [1] NEETHLING J, HOFFMAN LC, MULLER M. Factors influencing the flavour of game meat: A review [J]. *Meat Sci*, 2016, 113: 139-153.
- [2] 李敬, 杨媛媛, 赵青余, 等. 肉风味前体物质与风味品质的关系研究进展[J]. *中国畜牧杂志*, 2019, 55(11): 1-7.
LI J, YANG YY, ZHAO QY, *et al.* Advances in the study on the relationship between meat flavor precursors and flavor quality [J]. *Chin J Anim Sci*, 2019, 55(11): 1-7.
- [3] 胡子璇, 徐乐, 梁小慧, 等. 肉制品挥发性风味物质研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(19): 219-224.
HU ZX, XU L, LIANG XH, *et al.* Research progress on volatile flavor substances in meat products [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(19): 219-224.
- [4] 于亚辉, 杨亚平, 方婷. 肉香味物质研究进展[J]. *中国调味品*, 2019, 44(10): 173-177.
YU YH, YANG YP, FANG T. Advances in meat flavor substances [J]. *China Cond*, 2019, 44(10): 173-177.
- [5] JIA W, SHI Q, ZHANG R, *et al.* Unraveling proteome changes of irradiated goat meat and its relationship to off-flavor analyzed by high-throughput proteomics analysis [J]. *Food Chem*, 2020, 127806.
- [6] 张骞, 冯平, 杨海花. 不同加工方式的肉制品中香味物质的形成机制与提取[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(14): 270-276.
ZHANG Q, FENG P, YANG HH. Formation mechanism and extraction of flavor substances in meat products with different processing methods [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(14): 270-276.
- [7] 欧全文, 王卫, 张崑, 等. 肉类风味的研究进展[J]. *食品科技*, 2012, 37(12): 107-111.
OU QW, WANG W, ZHANG Y, *et al.* Research progress on meat flavor [J]. *Food Sci Technol*, 2012, 37(12): 107-111.
- [8] 曹辰辰, 冯美琴, 孙健, 等. 功能性发酵剂对发酵香肠氧化稳定性及挥发性风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(20): 106-113.
CAO CC, FENG MQ, SUN J, *et al.* Effects of functional fermentation agents on oxidation stability and volatile flavor substances of fermented sausage [J]. *Food Sci*, 2019, 40(20): 106-113.
- [9] 孙姣林. 水解牛肉蛋白制备牛肉香精研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011.
SUN JL. Preparation of beef essence by hydrolysis of beef protein [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2011.

- [10] 柯海瑞, 康怀彬, 蔡超奇. 脂肪氧化对肉品风味影响的研究进展[J]. 肉类工业, 2019, (10): 52–58.
KE HR, KANG HB, CAI CQ. Advances in study on the effects of fat oxidation on flavor of meat products [J]. Meat Ind, 2019, (10): 52–58.
- [11] 张维悦, 夏杨毅, 侯佰慧, 等. KCl 部分替代 NaCl 对腊肉脂肪氧化和脂肪酸变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(9): 156–162.
ZHANG WY, XIA YY, HOU BH, *et al.* KCl effect of partial substitution NaCl on fat oxidation and fatty acid changes in bacon [J]. Food Ferment Ind, 2018, 44(9): 156–162.
- [12] WEN R, HU Y, ZHANG L, *et al.* Effect of NaCl substitutes on lipid and protein oxidation and flavor development of Harbin dry sausage [J]. Meat Sci, 2019, 156: 33–43.
- [13] 李俊霞, 王卫, 王新惠, 等. 发酵香肠风味物质的来源和形成[J]. 食品科技, 2015, 40(5): 160–165.
LI JX, WANG W, WANG XH, *et al.* Origin and formation of flavor substances in fermented sausages [J]. Food Sci Technol, 2015, 40(5): 160–165.
- [14] 齐银霞, 许彩虹. 脂肪氧化对热反应产物香气的影响[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(23): 17–20.
QI YX, XU CH. Effect of fat oxidation on the aroma of thermal reaction products [J]. Food Res Dev, 2016, 37(23): 17–20.
- [15] 吴宝森, 孙玥晖, 刘姝韵, 等. 肉和肉制品中脂质氧化的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(3): 814–818.
WU BS, SUN YH, LIU SY, *et al.* Research progress on lipid oxidation in meat and meat products [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(3): 814–818.
- [16] 文韬, 夏延斌. 肉类香精风味形成机理及其研究进展[J]. 中国酿造, 2010, (1): 9–12.
WEN T, XIA YB. Research progress on the formation mechanism of meat flavor [J]. Chin Brew, 2010, (1): 9–12.
- [17] ZOU T, KANG L, YANG C, *et al.* Flavour precursor peptide from an enzymatic beef hydrolysate Maillard reaction-II: Mechanism of the synthesis of flavour compounds from a sulphur-containing peptide through a Maillard reaction [J]. LWT-Food Sci Technol, 2019, 110: 8–18.
- [18] CAO C, XIE J, HOU L, *et al.* Effect of glycine on reaction of cysteine-xylose: Insights on initial Maillard stage intermediates to develop meat flavor [J]. Food Res Int, 2017, 99: 444–453.
- [19] ZHAO J, WANG T, XIE J, *et al.* Meat flavor generation from different composition patterns of initial Maillard stage intermediates formed in heated cysteine-xylose-glycine reaction systems [J]. Food Chem, 2018, 274: 79–88.
- [20] 康乐. 牛肉中 Maillard 反应风味前体肽的鉴定及其产物形成机理的研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2017.
KANG L. Identification of Maillard flavor-responsive precursor peptides in beef and its formation mechanism [D]. Beijing: Beijing Business University, 2017.
- [21] MÓNICA B, RESCONI VC, CAMPO MM, *et al.* Development of a robust HS-SPME-GC-MS method for the analysis of solid food samples. Analysis of volatile compounds in fresh raw beef of differing lipid oxidation degrees [J]. Food Chem, 2019, 281: 49–56.
- [22] 周恒量, 胡玉娇, 李诚, 等. 风味泡鹅肉挥发性风味物质 GC-MS 检测中的 HS-SPME 萃取工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 82–87, 112.
ZHOU HL, HU YJ, LI C, *et al.* The HS-SPME extraction technology of volatile flavor substances GC-MS flavor foamed goose meat [J]. Food Mach, 2016, 32(3): 82–87, 112.
- [23] 冯宇隆. 北京鸭风味物质的分离鉴定及其脂类对鸭肉风味的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
FENG YL. Isolation and identification of flavor substances of Beijing duck and effects of lipids on flavor of duck meat [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [24] 黄远标. 固相微萃取技术在食品风味分析中的应用分析[J]. 食品安全导刊, 2017, (18): 111.
HUANG YB. Application of solid phase micro extraction in food flavor analysis [J]. Chin Food Saf Magaz, 2017, (18): 111.
- [25] 谢诚, 欧昌荣, 汤海青, 等. 食品中挥发性风味成分提取技术研究进展[J]. 核农学报, 2015, 29(12): 2366–2374.
XIE C, OU CR, TANG HQ, *et al.* Advances in extraction of volatile flavor components from food [J]. Nuclear Agric Sci, 2015, 29(12): 2366–2374.
- [26] 徐欢, 励建荣, 韩晓祥. 同时蒸馏萃取法提取金华火腿风味物质条件优化[J]. 食品工业科技, 2009, 30(3): 128–131.
XU H, LI JR, HAN XY. Optimization of flavor material conditions for extraction of Jinhua ham by distillation and extraction [J]. Sci Technol Food Ind, 2009, 30(3): 128–131.
- [27] WATKINS PJ, ROSE G, WARNER RD, *et al.* A comparison of solid-phase micro extraction (SPME) with simultaneous distillation-extraction (SDE) for the analysis of volatile compounds in heated beef and sheep fats [J]. Meat Sci, 2012, 91(2): 99–107.
- [28] RIU-AUMATELL M, VARGAS L, VICHI S, *et al.* Characterization of volatile composition of white salsify (*Tragopogon porrifolius* L.) by headspace solid-phase micro extraction (HS/SPME) and simultaneous distillation-extraction (SDE) coupled to GC-MS [J]. Food Chem, 2011, 129(2): 557–564.
- [29] GKARANE V, BRUNTON NP, ALLEN P, *et al.* Effect of finishing diet and duration on the sensory quality and volatile profile of lamb meat [J]. Food Res Int, 2019, 115: 54–64.
- [30] 王军喜, 叶俊杰, 赵文红, 等. HS-SPME-GC-MS 结合 OAV 分析酱油鸡特征风味活性物质的研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(9): 160–164, 177.
WANG JX, YE JJ, ZHAN WH, *et al.* Study HS-SPME-GC-MS analysis of characteristic flavor active substances of soy sauce chicken with OAV combined [J]. China Cond, 2020, 45(9): 160–164, 177.
- [31] 蔡雪梅, 何莲, 易宇文, 等. GC-MS 结合电子鼻分析啤酒对啤酒鸭风味的影响[J]. 中国调味品, 2020, 45(7): 158–163.
CAI XM, HE L, YI YW, *et al.* Effects of beer on flavor of beer duck by GC-MS and electronic nose analysis [J]. China Cond, 2020, 45(7): 158–163.
- [32] SULLIVAN MGO, BYME DV, JENSEN MT, *et al.* A comparison of warmed-over flavour in pork by sensory analysis, GC/MS and the

- electronic nose [J]. *Meat Sci*, 2003, 65(3): 1125–1138.
- [33] XU Y, CHEN Y, DENG S, *et al.* Application of sensory evaluation, GC-TOF-MS, and E-nose to discriminate the flavor differences among five distinct parts of the Chinese blanched chicken [J]. *Food Res Int*, 2020, 137: 109669.
- [34] 崔晓莹, 张庆永, 刘登勇, 等. 德州扒鸡关键挥发性风味物质分析[J]. *肉类研究*, 2019, 33(11): 50–54.
- CUI XY, ZHANG QY, LIU DY, *et al.* Analysis of key volatile flavor substances of braised chicken, Texas [J]. *Meat Res*, 2019, 33(11): 50–54.
- [35] SHI J, NIAN Y, DA D, *et al.* Characterization of flavor volatile compounds in sauce spareribs by gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose [J]. *LWT- Food Sci Technol*, 2020, 124: 109182.
- [36] 余桂平, 朱建锡, 马晓钟, 等. 电子鼻技术在肉类品质检测中的应用[J]. *现代食品*, 2020, (5): 7–10.
- YU GP, ZHU JX, MA XZ, *et al.* Application of electronic nose technology in meat quality testing [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2020, (5): 7–10.
- [37] LIU D, LI S, WANG N, *et al.* Evolution of taste compounds of Dezhou-braised chicken during cooking evaluated by chemical analysis and an electronic tongue system [J]. *J Food Sci*, 2017, 82(5): 1076–1082.
- [38] LEE HJ, CHOE J, KIM M, *et al.* Role of moisture evaporation in the taste attributes of dry-and wet-aged beef determined by chemical and electronic tongue analyses [J]. *Meat Sci*, 2019, 151: 82–88.
- [39] 吴慧琳, 李苗云, 朱瑶迪, 等. 利用电子舌分析热加工酸肉滋味特征[J]. *肉类研究*, 2019, 33(12): 39–44.
- WU HL, LI MY, ZHU YD, *et al.* Analysis of the taste characteristics of hot processed acid meat with electronic tongue [J]. *Meat Res*, 2019, 33(12): 39–44.
- [40] TIAN X, LI ZJ, CHAO YZ, *et al.* Evaluation by electronic tongue and head SPACE-GC-IMS analyses of the flavor compounds in dry-cured pork with different salt content [J]. *Food Res Int*, 2020, 137: 109456.
- [41] 刘飞. 气相色谱-质谱联用技术在食品分析中的应用探讨[J]. *现代食品*, 2020, (11): 167–168.
- LIU F. Application of gas chromatography-food analysis [J]. *Mod Food*, 2020, (11): 167–168.
- [42] ZHAO J, WANG M, XIE JC, *et al.* Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig [J]. *Food Chem*, 2017, 226: 51–60.
- [43] SABILLA SI, SAMO R, TRIYANA K, *et al.* Deep learning in a sensor array system based on the distribution of volatile compounds from meat cuts using GC-MS analysis [J]. *Sens Bio-Sens Res*, 2020, 29: 100371.
- [44] ZHANG C, ZHANG H, LIU M, *et al.* Effect of breed on the volatile compound precursors and odor profile attributes of lamb meat [J]. *Foods*, 2020, 9(9): 1178.
- [45] 吴江超, 郭玉霞, 赵群. 国内应用 SPME-GC-MS 技术在食品挥发性风味物质检测中的研究进展[J]. *农产品加工*, 2017, (22): 62–64.
- WU JC, GUO YX, ZHAO Q. Advances in the detection of volatile flavor substances in food by domestic applied SPME-GC-MS technology [J]. *Agric Prod Mach*, 2017, (22): 62–64.
- [46] 秦艳秀, 蔡丹丹, 樊玉霞, 等. 香叶循环煮制对肉汤挥发性风味的影响研究[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(20): 271–277, 284.
- QIN YX, CAI DD, FAN YX, *et al.* Study on the influence of circular cooking on volatile flavor of broth [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(20): 271–277, 284.
- [47] 张慢. 清炖型肉汤的风味形成机制及电炖锅烹饪程序优化[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
- ZHANG M. The formation mechanism of flavor and optimization of cooking procedure of stewed soup [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [48] 姚文生, 马双玉, 蔡莹莹, 等. 基于气相-离子迁移谱技术分析烤羊肉串的挥发性风味成分[J/OL]. *食品工业科技*, 1-11 [2021-03-19]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060339>.
- YAO WS, MA SY, CAI YX, *et al.* Analysis of volatile flavor components of roast lamb kebab based on gas-ion migration spectrum [J]. *Sci Technol Food Ind*, 1-11 [2021-03-19]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060339>.
- [49] ORTUÑO J, MATEO L, RODRÍGUEZ EMT, *et al.* Effects of sous vide vs grilling methods on lamb meat colour and lipid stability during cooking and heated display [J]. *Meat Sci*, 2020, 171: 108287.
- [50] 王道. 糖熏鸡腿关键风味物质及其形成机理初探[D]. 锦州: 渤海大学, 2019.
- WANG X. Key flavor substances and formation mechanism of sugar-fumigation chicken leg [D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.
- [51] 毛永强, 李彦虎, 贲建民, 等. 传统陇西腊肉制作过程中挥发性风味物质变化分析[J/OL]. *食品与发酵工业*, 1-11 [2021-01-08]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025248>.
- MAO YQ, LI YH, YUN JM, *et al.* Analysis on the changes of volatile flavor substances in traditional longxi bologna [J]. *Food Ferment Ind*, 1-11 [2021-01-08]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025248>.
- [52] ERICK S, LUIZ S, JORGE C, *et al.* Relationship between volatile compounds and consumer-based sensory characteristics of bacon smoked with different Brazilian woods [J]. *Food Res Int*, 2019, 119: 839–849.
- [53] HU Y, ZHANG L, ZHANG H, *et al.* Physicochemical properties and flavour profile of fermented dry sausages with a reduction of sodium chloride [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2020, 124: 109061.
- [54] 孟祥忍, 陈胜姝, 陈昌, 等. 油炸方式对黄金猪排风味品质研究[J]. *食品科技*, 2019, 44(8): 97–103.
- MENG XR, CHENG SS, CHENG C, *et al.* Study on the flavor quality of gold pork chop by fried style [J]. *Food Technol*, 2019, 44(8): 97–103.
- [55] ZHANG J, ZHANG Y, WANG Y, *et al.* Influences of ultrasonic-assisted frying on the flavor characteristics of fried meatballs [J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2020, 62: 102365.
- [56] 陈伟玲, 黄双全, 杨小梅, 等. 黄田扣肉加工过程中油炸五花肉的工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(13): 176–180, 186.
- CHEN WL, HUANG SQ, YANG XM, *et al.* Optimization of the process of fried pork in Huangtian buckle meat [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(13): 176–180, 186.
- [57] 马菲, 郇延军, 刁欣悦. 酱制时间对传统酱卤猪肉制品风味及质构变化规律的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(9): 55–63.

MA F, XUN YJ, DIAO XY. Influence of time of sauce preparation on the changes of flavor and structure of traditional sauce pork products [J]. Food Mach, 2019, 35(9): 55–63.

[58] 李娟, 韩东, 米思, 等. 北京地区酱卤牛肉中挥发性风味物质剖面分析 [J]. 核农学报, 2020, 34(1): 94–103.

LI J, HAN D, MI S, *et al.* Analysis of volatile flavor substances in beef sauce in Beijing area [J]. Nuclear Agric Sci, 2020, 34(1): 94–103.

[59] 韦婕妤. 热加工方式对羊肉制品蛋白质氧化及体外模拟消化性的影响研究[D]. 成都: 西南民族大学, 2019.

WEI JY. Effect of heat processing on protein oxidation of mutton products and simulated digestion in vitro [D]. Chengdu: Southwest University for Nationalities, 2019.

[60] ZOU Y, KANG D, LIU R, *et al.* Effects of ultrasonic assisted cooking on the chemical profiles of taste and flavor of spiced beef [J]. Ultra Sonochem, 2018, 46(1): 36–45.

(责任编辑: 张晓寒)

作者简介



刁小琴, 博士, 副教授, 主要研究方向为肉制品加工与质量安全控制。

E-mail: diaoxiaoqing172@163.com



刘登勇, 博士, 教授, 主要研究方向为肉品加工与质量安全控制、食品风味与感官科学。

E-mail: jz_dyliu@126.com

关海宁, 博士, 副教授, 主要研究方向为功能性成分分析及肉制品加工技术。

E-mail: hai.ning2001@163.com