

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.07.005

柴利, 贺稚非, 李洪军. 发酵兔肉脯加工过程中挥发性风味物质变化研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(7): 40-48.

发酵兔肉脯加工过程中挥发性风味物质变化研究

柴利¹, 贺稚非^{1,2}, 李洪军^{1,2}

1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 川渝共建特色食品重庆市重点实验室, 重庆 400715

摘要: 为明确发酵兔肉脯在加工过程中挥发性风味物质的变化规律, 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术分析其在原料肉、腌制后、发酵后、烤制后和成品 5 个加工过程中的挥发性风味物质差异, 并利用相对气味活度值法和主成分分析法确定每个加工过程中的关键风味物质。结果表明: 发酵兔肉脯不同加工过程中的挥发性风味物质存在明显差异, 5 个加工过程中共检测出 128 种挥发性风味物质, 通过计算相对质量分数和相对气味活度值, 发现原料肉中主要的挥发性风味物质是己醛、1-辛烯-3-醇和 1-辛烯 3-酮; 腌制后和发酵后的样品中挥发性风味物质较为相似, 主要为丁香酚和茴香脑; 烤制后的样品中 3-羟基-2-丁酮、(+)-柠檬烯和癸酸乙酯等物质对其风味贡献较大; 成品由苯乙醛、(E)-2-壬烯醛、甲基环戊烯醇酮、芳樟醇和乙基麦芽酚等物质构成了主体风味。

关键词: 发酵兔肉脯; 挥发性风味物质; 相对气味活度值

中图分类号: S879.2; TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2024)07-0040-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on the Change of Volatile Flavour Substances during the Processing of Fermented Rabbit Jerky

CHAI Li¹, HE Zhifei^{1,2}, LI Hongjun^{1,2}

1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Key Laboratory of Special Food Co-built by Sichuan and Chongqing, Chongqing 400715, China

Abstract: To clarify the changes of volatile flavour substances during the processing of fermented rabbit jerky, headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to analyse the differences in volatile flavour substances in the meat of five processes: fresh meat, post-curing, post-fermentation, post-roasting and finished product, and to identify the key flavour substances in each process using the relative odour activity value method and principal component analysis. The results showed that there were significant differences in volatile flavour substances in the meat of dif-

收稿日期: 2023-06-07

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项(CSTB2022TIAD-KPX0080); 川渝地区兔产业协同创新与关键技术集成示范项目(2022YFQ0033); 重庆市特色食品工程技术研究中心能力提升项目(cstc2014pt-gc8001).

作者简介: 柴利, 硕士研究生, 主要从事肉类科学与酶工程研究。

通信作者: 李洪军, 教授, 博士研究生导师。

ferent processes of fermented rabbit preserved meat. 128 volatile flavour substances were detected in the five processes, and by calculating the relative percentage content and relative odour activity values, it was found that the main volatile flavour substances in the raw meat were hexanal, 1-octanol-3-ol and 1-octanol 3-one. The volatile flavour substances in the post-curing and post-fermentation samples were similar, and the main volatile flavour substances were eugenol and anise brain. The substances such as 3-hydroxy-2-butanone, (+)-limonene and ethyl sunflowerate in roasted sample had a large contribution to the flavor. The main flavour of finished product was composed by substances such as phenylethylaldehyde, (E)-2-nonenal, methylcyclopentenolone, linalool and ethyl maltol.

Key words: fermented rabbit jerky; volatile flavour substances; relative odour activity values

兔肉富含多不饱和脂肪酸、蛋白质和必需氨基酸,且脂肪、胆固醇和过敏源含量较少^[1],现已逐渐成为国民饮食结构中的理想肉食。肉脯是一种味道鲜美、芳香浓郁、食用方便、耐贮藏、便于运输的休闲干肉制品。发酵肉脯具有特殊的风味,并且还能改善传统肉脯的感官和质构特性,但目前关于发酵兔肉脯的研究还较少,主要集中于发酵剂对兔肉脯的游离氨基酸含量^[2]和游离脂肪酸含量^[3]的影响上。

风味是用于评判肉及肉制品食用品质的重要组成部分,其中风味物质包括挥发性风味物质和非挥发性物质。目前,气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术已广泛用于探究肉制品加工过程中挥发性风味物质的定性和定量分析。彭健斌^[4]研究发现,对照组和发酵羊肉脯的挥发性风味物质中,烯炔类、醛类和酸类物质的数量和相对质量分数存在统计学意义($p < 0.05$),烯炔类和醛类物质相对质量分数均高于30%。赵树斌^[5]的研究则发现,发酵鸭肉脯中化合物峰值增加,炔类、醛类、醇类、含氮化合物等提供风味的化合物含量显著增多,氧化物含量减少。目前关于发酵兔肉脯挥发性风味物质方面的研究还未见报道。

基于此,本研究使用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(headspace solid-phase micro-extraction and gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS),分析发酵兔肉脯加工过程中的挥发性风味物质的组成及相对质量分数,通过计算相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)确定不同加工阶段的关键风味物质和具有重要修饰作用的风味物质,并运用主成分分析法(principal component analysis, PCA)对挥发性风味物质的ROAV进行对比分析,确定不同加工过程中的主体风味物质,以此阐明发酵兔肉脯的风味特征,为发酵兔肉脯的风味研究提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

从重庆阿兴记挑选70~75日龄的雄性伊拉兔(1.5~1.7 kg),按照国家畜禽屠宰加工卫生规范宰杀,去除皮、头、内脏和骨后立即放入装有冰袋的冷藏箱(6℃左右)运送到实验室,再将兔肉于4℃排酸处理24 h,于-18℃冻藏备用。主要试验原料和试剂如表1。

表1 主要试验原料与试剂

原料与试剂名称	级别	生产厂家
发酵剂	食品级(B-LC-78)	科汉森股份有限公司
白砂糖	食品级	购于重庆市永辉超市
食盐	食品级	购于重庆市永辉超市
鸡蛋	食品级	购于重庆市永辉超市
味精	食品级	购于重庆市永辉超市
十三香	食品级	购于重庆市永辉超市
姜葱料酒	食品级	购于重庆市永辉超市

续表 1

原料与试剂名称	级别	生产厂家
鱼露	食品级	购于重庆市永辉超市
乙基麦芽酚	食品级	河南万邦化工科技有限公司
复合磷酸盐	食品级	河南万邦化工科技有限公司
红曲红	食品级	河南万邦化工科技有限公司
D-异抗坏血酸钠	食品级	河南万邦化工科技有限公司
瓜尔豆胶	食品级	河南万邦化工科技有限公司
大豆分离蛋白	食品级	河南万邦化工科技有限公司
氯化钠	分析纯	重庆跃翔化工有限公司

1.2 仪器与设备

试验所用主要仪器和设备如表 2.

表 2 主要仪器与设备

仪器与设备名称	型号	生产厂家
人工气候箱	RXZ-800B	宁波东南仪器有限公司
电热恒温鼓风干燥箱	DGG-9240A	上海森信试验仪器有限公司
电子分析天平	FA214A	上海豪晟科学仪器有限公司
气相色谱-质谱联用仪	GCMS-QP2010Plus	日本 SHIMADZU 公司
恒温水浴锅	HH-6	金坛市富华仪器有限公司

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备

原料肉处理→斩拌、腌制→发酵→抹片→烘干→熟化、压片、切片→冷却→包装

操作要点(工艺参数由前期单因素试验得出):

1) 原料肉处理: 试验前 12 h 将兔肉取出放于 4 °C 人工气候箱解冻, 解冻后除去肉眼可见的筋膜和淤血等, 切成小块.

2) 斩拌、腌制: 在兔肉中加入白砂糖、食盐、全蛋液、味精、乙基麦芽酚、复合磷酸盐、十三香、红曲红、D-异抗坏血酸钠、姜葱料酒、鱼露、瓜尔豆胶、大豆分离蛋白等辅料后混合均匀, 用斩拌机斩拌 4 min, 于 4 °C 腌制 2 h.

3) 发酵: 按发酵剂添加量加入发酵剂, 于 25 °C 恒温恒湿培养箱中发酵 24 h.

4) 抹片: 将肉糜抹到瓷盘上, 用抹刀打平整, 厚度为 2~3 mm.

5) 烘干: 将烘箱预热至 65 °C, 再将抹片的瓷盘放入, 在 65 °C 烘 5 h, 烘干期间每隔 30 min 翻 1 次.

6) 熟化、压片和切片: 将烘干后的肉脯放入烘箱中于 150 °C 熟化 2 min, 趁热压片, 然后切成 4 cm × 6 cm 的片状, 待自然冷却后用 PET/PE 包装袋包装.

1.3.2 挥发性风味物质的测定

参考 Wen 等^[6]的方法并稍作修改. 称取 5 g(精确到 0.001 g)肉脯于 50 mL 顶空萃取瓶中, 加入 2.5 mL 饱和氯化钠溶液, 旋紧瓶盖, 震荡均匀, 插入 SPME 萃取头, 75 °C 吸附 30 min, 随后于气相色谱仪进样口解析 5 min.

色谱条件: 气相分析毛细管柱为 DB-5MS(30 m × 0.2 mm, 0.25 μm), 压力为 100.0 kPa, 总流量为 50.0 mL/min, 柱流量为 1.01 mL/min, 进样口温度为 250 °C, 载气为氦气, 不分流进样. 升温程序: 柱初温 40 °C 保持 2 min; 然后以 5 °C/min 的速率升温到 90 °C, 保持 2 min; 再以 10 °C/min 的速率升温至 250 °C, 保持 5 min.

质谱条件:接口温度 250 ℃,离子源温度 250 ℃,电离方式为 EI⁺,电子能量为 70 eV,溶剂延迟时间 3 min,扫描质量范围 30~550 m/Z.

挥发性物质定性定量分析:利用 NIST17 谱库检索进行比对定性,且选择匹配度大于 80(最大为 100)的化合物,采用峰面积归一化法,计算挥发性风味物质的相对质量分数.

1.3.3 主要挥发性物质的确定

相对气味活度值(ROAV,以 R 表示)能表述风味化合物的贡献大小,故采用 ROAV 法来评价不同肉脯的主要挥发性物质^[7].首先定义对样品风味贡献最大的物质 $R_{\max}=100$,再计算其他物质的贡献值,计算公式为

$$R_i = \frac{C_i}{T_i} \times \frac{T_{\max}}{C_{\max}} \times 100$$

式中: R_i 为第 i 个挥发性风味化合物的相对气味活度值; C_i 和 T_i 分别为各挥发性化合物的相对质量分数(%) 和 阈值(mg/kg); C_{\max} 和 T_{\max} 分别为对样品整体风味贡献最大的挥发性化合物的相对质量分数(%) 和 阈值(mg/kg).

当样品中的挥发性组分 $R \geq 1$ 时,说明该化合物是样品的关键风味物质; $0.1 \leq R < 1$ 时,则说明挥发性组分对样品风味有重要修饰作用^[8].

1.3.4 数据处理

采用 SPSS 23 进行单因素方差分析,显著性分析采用 Duncan 检验法, $p < 0.05$ 表示差异有统计学意义;试验结果表示为 $\bar{x} \pm s$,使用 Origin 2021 软件制图.

2 结果与分析

2.1 加工过程中挥发性风味物质的变化

肉及肉制品中挥发性风味物质的主要形成途径是脂质分解、蛋白质水解和糖类代谢^[9].发酵兔肉脯加工过程中的挥发性风味物质共有 128 种(图 1),其中原料肉、腌制后、发酵后、烤制后及成品这 5 个加工过程分别检测出 23, 53, 55, 65 和 66 种挥发性风味物质.原料肉中主要是醛类、烃类和醇类物质,分别占 72.76%, 11.97% 和 8.16%;加入辅料腌制后挥发性风味物质的种类增加,主要是醚类、烃类和酚类,分别占 40.73%,

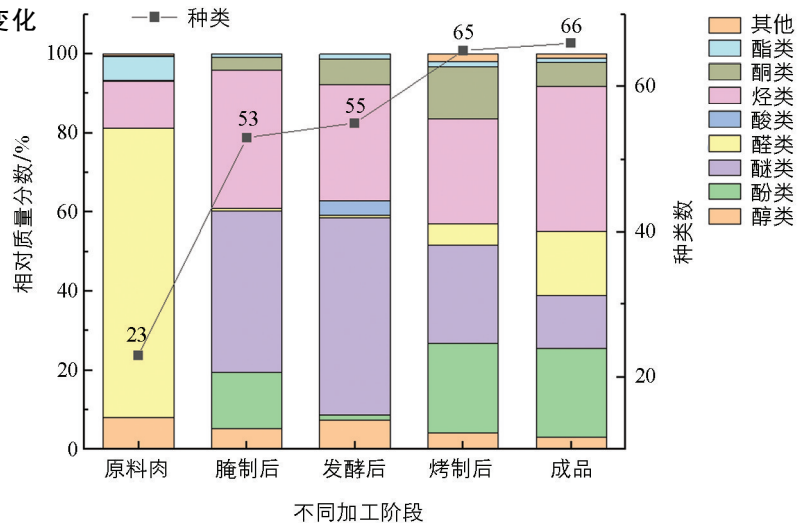


图 1 加工过程中的挥发性风味物质相对质量分数及数量

34.93% 和 14.12%; 在发酵阶段,挥发性风味物质主要是醚类和烃类,分别占 49.83% 和 29.37%; 经长时间的烤制后,挥发性风味物质的种类进一步增加,主要是烃类、醚类和酚类,分别占 26.35%, 24.72% 和 22.62%; 高温熟化后的成品中最多的挥发性风味物质是烃类和酚类,分别占 36.58% 和 22.42%. 总的来说,发酵兔肉脯在加工过程中的挥发性风味物质种类呈现逐渐增多的趋势.

醇类物质主要来源于脂肪的氧化和降解,具有令人愉悦的水果和花香气味^[10].虽然醇类的整体阈值较高,但阈值较低的不饱和醇类化合物对成品风味也有较大的贡献^[11].发酵兔肉脯加工过程中检测到少量的醇类物质,可能对发酵兔肉脯风味有影响的有 1-辛烯-3-醇、4-萜烯醇、芳樟醇和辛醇.1-辛烯-3-醇是亚油酸的降解产物之一,具有蘑菇香味^[12],其阈值较低,对发酵兔肉脯的风味有重要修饰作用.芳樟醇具有兰

花香气^[13],在发酵阶段生成,经发酵、烤制、熟化后,其相对质量分数逐渐增加,在成品中的相对质量分数最高,对发酵兔肉脯的风味有重要贡献。

醛类是脂肪氧化和热降解产生的化合物^[14],由于其阈值较低,故通常被认为是肉制品的主要风味贡献者^[15]。在加工过程中可能会对发酵兔肉脯风味有影响的主要有苯乙醛、(E)-2-壬烯醛、庚醛、葵醛、壬醛、十五醛、己醛和辛醛。庚醛、壬醛、己醛和辛醛是肉制品中常见的挥发性化合物,主要由不饱和脂肪酸的降解产生^[16]。苯乙醛具有花香,壬醛具有烤香味,庚醛呈现油脂香和果香,对发酵兔肉脯的风味有较大的贡献。己醛是兔肉腥味的主要来源^[17],其含量较低时能赋予产品肉味,但含量较高时会产生不愉悦的味道。在原料肉阶段,己醛的相对质量分数为 62.23%,在腌制后和发酵后均未检出,可能是腌制和发酵过程中其他风味物质对其进行了掩埋^[18],在烤制和熟化阶段己醛的相对质量分数分别为 4.16%和 8.15%,相对于原料肉有所降低。醛类化合物的相对质量分数在成品中较高,且风味阈值较低,在发酵兔肉脯风味中起着至关重要的作用。

烃类化合物可能来源于脂质的氧化分解和香辛料的添加^[19],通常具有甜香和清香味^[20]。原料肉中含有 7 种烃类物质,占 11.97%;加入辅料腌制后共检测到 37 种烃类物质,其相对质量分数增加至 34.93%;发酵后烃类物质的种类和相对质量分数分别下降至 32 种和 29.37%;烤制后共检测到 39 种烃类物质,占 26.35%;成品中共有 37 种烃类物质,占 36.58%。对成品的风味有修饰作用的烃类物质主要有(+)-柠檬烯、 α -石竹烯、 β -石竹烯、茴香烯、十二烷、十四烷、正十六烷、正十五烷,且(+)-柠檬烯的相对质量分数最高,达到 13.04%。在加工过程中检测到的烃类物质种类最多,且相对质量分数在各阶段占比均较大,但其阈值一般较大,故对成品的风味贡献较小。

酮类物质主要是由脂肪氧化和美拉德反应生成^[21]。一般酮类化合物的阈值较低,对风味的贡献较大,在整个加工过程中共检测出 11 种酮类物质,能为兔肉提供果香和清香味。在发酵后、烤制后和成品阶段都含有较多的 3-羟基-2-丁酮,其是肉制品中常见的甲基酮,一般出现在热处理后的肉制品中^[22]。甲基酮在烹调肉类中具有脂肪香气,且与脂肪的氧化程度密切相关^[23]。

酯类化合物来自于酸类和醇类物质的酯化反应^[24],发酵兔肉脯加工过程中共检测出 8 种酯类化合物。酯类一般呈果香,但其种类较少和相对质量分数较低,故对成品整体的风味影响不大。酚类物质主要来自于香料,在腌制后、烤制后和成品阶段的占比较高,分别占 14.12%,22.62%和 22.42%。大部分醚类化合物都具有令人愉悦的香气^[25],在加工过程中仅检测出茴香脑一种醚类物质,但其在腌制后、发酵后、烤制后和成品阶段的占比较大,分别占 40.73%,48.89%,24.72%和 13.34%。在加工过程中共检测出 4 种酸类物质,酸类物质主要来自于甘油三酯和磷脂的水解或脂肪的氧化反应^[26]。在所有挥发性物质中,酸类物质的相对质量分数远低于其他化合物。此外,还检测出了一些杂环化合物,包括吡嗪类和呋喃类等。杂环化合物有助于形成独特的肉类风味特征^[27],可能是由氨基酸与还原糖发生美拉德反应形成^[28]。

为了更直观地表达不同肉脯中挥发性风味物质的相对质量分数的差异,对检测到的挥发性风味物质的相对质量分数变化进行聚类热图分析。由图 2 可知,不同加工过程中各挥发性风味物质的相对质量分数有较大差异。综合来看,加辅料腌制后,原料兔肉中的部分异味物质,如己醛含量降低, α -松油烯、月桂烯和姜烯等烃类物质的相对质量分数增加,使腌制后的兔肉具有甜味或清香味。经乳酸片球菌和肉葡萄球菌发酵后,部分酸类、酮类和酯类物质增加,使发酵兔肉的风味物质更加丰富;烤制后,乙基麦芽酚和十六醛等酚类和醛类物质的相对质量分数增大;经过高温熟化后,植烷、 γ -榄香烯等烃类物质的相对质量分数增大。

2.2 加工过程中挥发性风味物质气味活度值(ROAV)分析

为研究发酵兔肉脯加工过程中的挥发性风味物质差异,将己醛的 ROAV 定义为 100,根据 ROVA 法选择出对发酵兔肉脯加工过程有贡献的挥发性风味物质。由表 3 可知,5 个加工过程中有贡献的物质共有 27 种,其中醇类 3 种、酚类 2 种、醚类 1 种、醛类 8 种、酸类 4 种、烃类 2 种、酮类 5 种、酯类 2 种。在原料肉阶段,1-辛烯-3-醇、壬醛、己醛和 1-辛烯-3-酮这 4 种物质的 ROAV 大于 1,且己醛的 ROAV 最大,表明

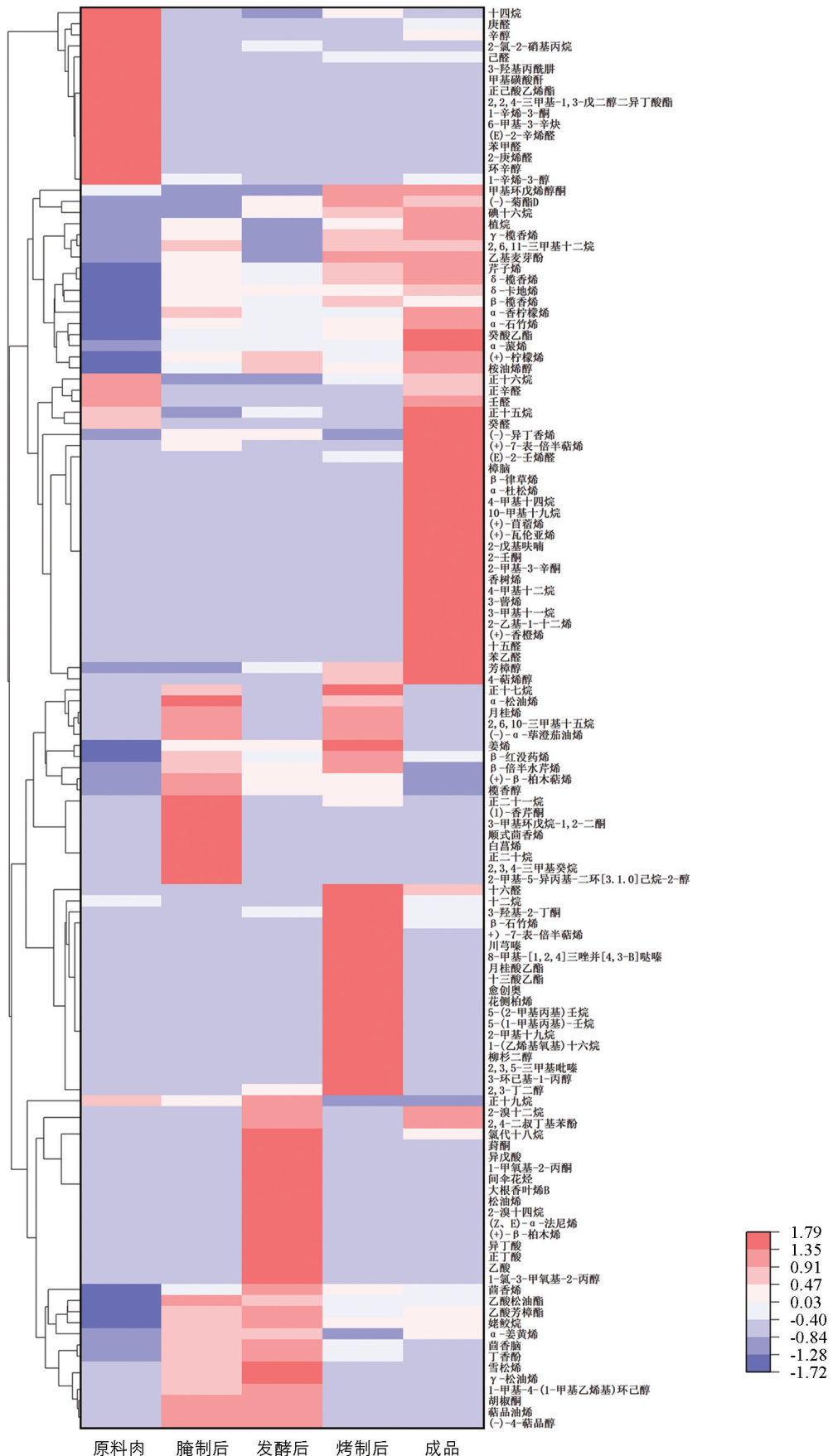


图 2 挥发性风味物质相对质量分数变化及聚类热图分析

己醛是鲜兔肉中的主要腥味物质,这与邓大川^[17]的研究一致。腌制后有 6 种主要的风味物质,分别是丁香酚、乙基麦芽酚、茴香脑、壬醛、(+)-柠檬烯和茴香烯。发酵后的关键风味物质有 10 种,分别是芳樟醇、丁香酚、茴香脑、壬醛、乙酸、正丁酸、异戊酸、(+)-柠檬烯、茴香烯和 3-羟基-2-丁酮。烤制后的关键风味物质有 12 种,分别是芳樟醇、丁香酚、乙基麦芽酚、茴香脑、(E)-2-壬烯醛、壬醛、己醛、(+)-柠檬烯、茴香烯、3-羟基-2-丁酮、甲基环戊烯醇酮和癸酸乙酯。在成品中,对风味起主要作用的 14 种风味物质包括:芳樟醇、丁香酚、乙基麦芽酚、茴香脑、苯乙醛、(E)-2-壬烯醛、葵醛、壬醛、己醛、(+)-柠檬烯、茴香烯、3-羟基-2-丁酮、甲基环戊烯醇酮和癸酸乙酯。整个加工过程的关键风味物质数量呈现逐渐增多的趋势,在腌制后、发酵后、烤制后和成品阶段均有丁香酚、茴香脑、壬醛、(+)-柠檬烯和茴香烯的存在,且占比较大,表明这些物质可能是发酵兔肉脯加工过程中的特征风味物质。

表 3 加工过程中挥发性风味物质

类别	风味物质名称	ROAV				
		原料肉	腌制后	发酵后	烤制后	成品
醇类	1-辛烯-3-醇	1.66	0.15	0.00	0.00	0.13
	芳樟醇	0.00	0.00	1.96	4.42	7.08
	辛醇	0.57	0.00	0.00	0.06	0.23
酚类	丁香酚	0.00	20.15	24.10	12.84	5.53
	乙基麦芽酚	0.00	3.59	0.00	6.02	6.03
醚类	茴香脑	0.00	8.61	10.55	5.23	2.82
醛类	2-庚烯醛	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
	苯甲醛	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
	苯乙醛	0.00	0.00	0.00	0.00	7.53
	(E)-2-壬烯醛	0.00	0.00	0.00	1.85	9.27
	葵醛	0.65	0.00	0.00	0.00	1.25
	壬醛	18.47	2.80	2.72	3.97	18.82
	己醛	100.00	0.00	0.00	6.68	13.10
	辛醛	0.13	0.00	0.00	0.00	0.11
酸类	乙酸	0.00	0.00	2.99	0.00	0.00
	正丁酸	0.00	0.00	2.31	0.00	0.00
	异丁酸	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
	异戊酸	0.00	0.00	2.56	0.00	0.00
烃类	(+)-柠檬烯	0.00	2.33	2.91	1.92	3.49
	茴香烯	0.00	1.20	2.23	1.52	1.00
酮类	1-辛烯-3-酮	12.05	0.00	0.00	0.00	0.00
	2-壬酮	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
	3-羟基-2-丁酮	0.00	0.00	1.27	9.15	1.88
	葑酮	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
	甲基环戊烯醇酮	0.00	0.00	0.00	1.19	1.27
酯类	癸酸乙酯	0.00	0.70	0.60	1.00	1.71
	月桂酸乙酯	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00

2.3 加工过程中挥发性风味物质的主成分分析

主成分分析可以将大量数据简化, 并且尽可能地反映原始数据, 实现关系的可视化识别, 还能解释数据集中差异的方向^[29]. 为了更直观地表征发酵兔肉脯加工过程中挥发性风味物质的差异, 根据 ROAV 选取加工过程中的 19 种关键风味物质进行主成分分析, 结果如图 3, 其中 PC1 和 PC2 的方差贡献率分别为 42.8% 和 38.1%, 累计方差贡献率为 80.9%, 大于 80%, 符合主成分分析的要求.

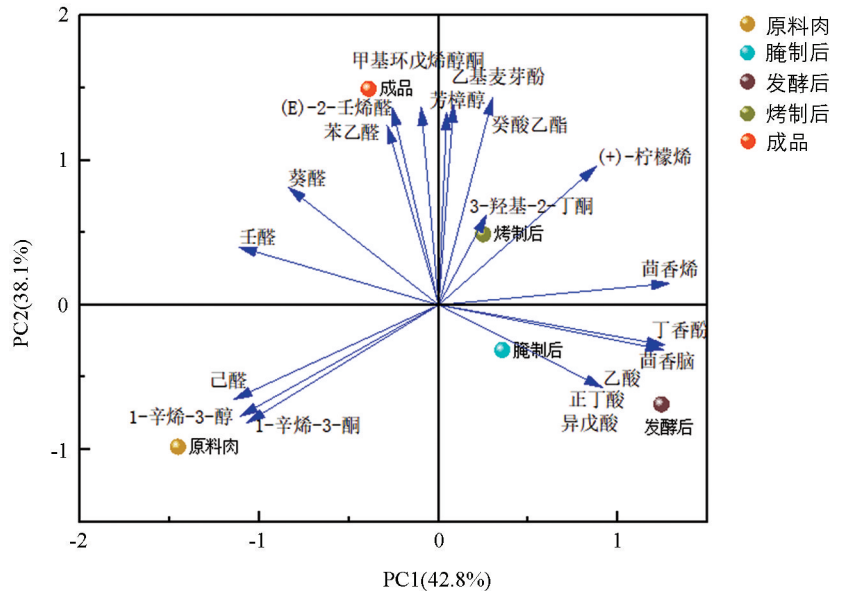


图 3 加工过程中的主成分分析图

在主成分分析图中, 不同样品的距离越远, 表示其风味差异越大; 样品的分布区域和某种挥发性物质的分布越近, 表明该物质对样品的风味贡献越大^[30]. 由图 3 还可知, 各加工阶段样品分布的区域明显不同, 原料肉位于第 3 象限, 其主要的挥发性风味物质是己醛、1-辛烯-3-醇和 1-辛烯-3-酮. 腌制后和发酵后的样品均位于第 4 象限, 说明两者的挥发性风味较为相似, 其主要的挥发性风味物质为丁香酚和茴香脑. 烤制后的样品位于第 1 象限, 3-羟基-2-丁酮、(+)-柠檬烯和癸酸乙酯等物质分布在其附近, 对其风味贡献较大. 成品位于第 2 象限, 苯乙醛、(E)-2-壬烯醛、甲基环戊烯醇酮、芳樟醇和乙基麦芽酚等物质构成了成品的主体风味. 总体来说, 发酵兔肉脯不同加工过程中的挥发性风味物质存在明显差异, PCA 可对不同加工阶段的样品进行可靠的区分.

3 结论

以发酵兔肉脯为研究对象, 采用 HS-SPME-GC-MS 技术在发酵兔肉脯的加工过程中, 共检测出 128 种挥发性风味物质, 其中原料肉、腌制后、发酵后、烤制后和成品阶段分别为 23, 53, 55, 65 和 66 种, 整体呈现逐渐增多的趋势. 根据 ROAV 确定各加工阶段的主体风味物质各有 4, 6, 10, 12 和 14 种, 并且物质种类存在较大的差异. 进一步对加工过程中的 19 种关键风味物质进行主成分分析, 发现原料肉中主要的挥发性风味物质是己醛、1-辛烯-3-醇和 1-辛烯-3-酮; 腌制后和发酵后样品的挥发性风味物质较为相似, 丁香酚和茴香脑是其主要的挥发性风味物质; 烤制后的样品中 3-羟基-2-丁酮、(+)-柠檬烯和癸酸乙酯等物质对其风味贡献较大; 成品由苯乙醛、(E)-2-壬烯醛、甲基环戊烯醇酮、芳樟醇和乙基麦芽酚等物质构成了主体风味. 本文探究了发酵兔肉脯加工过程中的风味变化规律, 为发酵兔肉脯的风味研究以及产品开发提供了参考.

参考文献:

- [1] LI S B, ZENG W C, LI R L, et al. Rabbit Meat Production and Processing in China [J]. Meat Science, 2018, 145: 320-328.
- [2] 薛菲, 蒋云升, 闫婷婷. 微生物发酵剂对兔肉脯游离氨基酸含量的影响 [J]. 食品科学, 2014, 35(5): 156-159.
- [3] 陈剑, 蒋云升, 闫婷婷. 发酵剂对兔肉脯游离脂肪酸变化的影响 [J]. 食品科学, 2014, 35(11): 174-178.
- [4] 彭健斌. 发酵羊肉脯工艺优化及货架期预测研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- [5] 赵树斌. 鸭肉干制食品的研制及其品质特性研究 [D]. 南京: 南京师范大学, 2018.
- [6] WEN R X, SUN F D, WANG Y, et al. Evaluation the Potential of Lactic Acid Bacteria Isolates from Traditional Beef Jerky as Starter Cultures and Their Effects on Flavor Formation during Fermentation [J]. LWT, 2021, 142: 110982.

- [7] HE C J, LI Z Y, LIU H X, et al. Characterization of the Key Aroma Compounds in *Semnostachya menglaensis* Tsui by Gas Chromatography-Olfactometry, Odor Activity Values, Aroma Recombination, and Omission Analysis [J]. Food Research International, 2020, 131: 108948.
- [8] 袁先铃, 彭先杰, 陈崇艳, 等. 高压蒸汽灭菌时间对冷吃兔风味物质的影响 [J]. 现代食品科技, 2022, 38(3): 257-265.
- [9] SUN W Z, ZHAO Q Z, ZHAO H F, et al. Volatile Compounds of Cantonese Sausage Released at Different Stages of Processing and Storage [J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 319-325.
- [10] GASPARDO B, PROCIDA G, TOSO B, et al. Determination of Volatile Compounds in San Daniele Ham Using Head-space GC-MS [J]. Meat Science, 2008, 80(2): 204-209.
- [11] 赵亮, 马凌云. GC-MS 法分析南湾鱖鱼肉挥发性成分的组成 [J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 80-82.
- [12] 徐燕, 董华发, 王晓明, 等. 鸡的品种和蒸煮次数对白切鸡卤水的营养成分和风味影响研究 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 279-287.
- [13] 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.
- [14] ZHAO J, WANG M, XIE J C, et al. Volatile Flavor Constituents in the Pork Broth of Black-pig [J]. Food Chemistry, 2017, 226: 51-60.
- [15] MOTTRAM D S. Volatile Compounds in Food-qualitative and Quantitative Data; by H. Maarse and C. A [J]. Food Chemistry, 1991, 39(1): 120-122.
- [16] SALDAÑA E, SALDARRIAGA L, CABRERA J, et al. Relationship between Volatile Compounds and Consumer-based Sensory Characteristics of Bacon Smoked with Different Brazilian Woods [J]. Food Research International, 2019, 119: 839-849.
- [17] 邓大川. 不同加工方式下兔肉中己醛和己酸含量的变化及其与脂肪酸氧化的相关性探究 [D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [18] 廖林, 刘悦, 贺稚非, 等. 基于顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱技术的卤烤兔肉丁加工过程中挥发性风味物质变化分析 [J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(14): 235-243.
- [19] 王丹. 不同地区传统肉制品品质及其特征风味研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
- [20] 陈建良, 芮汉明, 陈号川. 不同鸡种的鸡肉挥发性风味特性的比较研究 [J]. 现代食品科技, 2009, 25(10): 1129-1134.
- [21] AN Y Q, WEN L, LI W R, et al. Insight into the Evolution of Aroma Compounds during Thermal Processing of Surimi Gel from Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Food Chemistry, 2022, 374: 131762.
- [22] 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(2): 223-230.
- [23] PHAM A J, SCHILLING M W, MIKEL W B, et al. Relationships between Sensory Descriptors, Consumer Acceptability and Volatile Flavor Compounds of American Dry-cured Ham [J]. Meat Science, 2008, 80(3): 728-737.
- [24] KOHNO Y, MAKINO T, KANAKUBO M. Effect of Phase Behavior for Ionic Liquid Catalysts with Reactants/Products on Reactivity of Esterification from Long-chain Fatty Alcohols and Fatty Acids [J]. Fluid Phase Equilibria, 2019, 490: 107-113.
- [25] WANG F, GAO Y Q, WANG H B, et al. Analysis of Volatile Compounds and Flavor Fingerprint in Jingyuan Lamb of Different Ages Using Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry (GC-IMS) [J]. Meat Science, 2021, 175: 108449.
- [26] LAMAS D L. Effect of Enzymatic Degumming Process on the Physicochemical and Nutritional Properties of Fish By-products Oil [J]. Applied Food Research, 2022, 2(2): 100170.
- [27] MCMILLIN K. Book Review Lawrie's Meat Science, 8th Edition, Edited by Fidel Toldrá [J]. Meat Science, 2018, 140: 157.
- [28] CHIANG J H, YEO M T Y, ONG D S M, et al. Comparison of the Molecular Properties and Volatile Compounds of Maillard Reaction Products Derived from Animal- and Cereal-Based Protein Hydrolysates [J]. Food Chemistry, 2022, 383: 132609.
- [29] LI M Q, YANG R W, ZHANG H, et al. Development of a Flavor Fingerprint by HS-GC-IMS with PCA for Volatile Compounds of *Tricholoma matsutake* Singer [J]. Food Chemistry, 2019, 290: 32-39.
- [30] 李芳. 硬脂鱼油的品质特征及在火锅底料中的应用研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2021.