

GC-MS 结合电子鼻/电子舌分析发酵羊肉干的风味成分

刘建林, 孙学颖, 张晓蓉, 王丹, 赵丽华*, 靳焯

(内蒙古农业大学食品科学与工程学院 呼和浩特 010020)

摘要 采用气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术分析4组(对照组、发酵剂组、沙葱组、沙葱+发酵剂组)发酵羊肉干的挥发性风味成分及特征,并结合电子鼻和电子舌对不同添加物发酵羊肉干的风味进行更直观的区别。结果表明:GC-MS技术共检测出发酵羊肉干主要风味贡献物质27种,其中酸类以异戊酸、乙酸为主;酯类以油酸甲酯为主;醛类以月桂醛、己醛、庚醛、正辛醛为主,对照组未检出己醛,沙葱组未检出己醛、庚醛、正辛醛;醇类主要以苯乙醇为主,对照组和发酵剂组未检出;烃类以邻异丙基甲苯为主;酮类主要为3-羟基-2-丁酮和2,3-辛二酮为主,发酵剂组未检出2,3-辛二酮,沙葱组未检出3-羟基-2-丁酮和2,3-辛二酮。通过主成分分析(PCA)和雷达色谱图分析,GC-MS技术结合电子鼻/电子舌可区分4组发酵羊肉干并找出主要风味贡献物质,为不同发酵产品的风味区分提供基础数据。

关键词 发酵羊肉干; GC-MS; 电子鼻; 电子舌; 风味

文章编号 1009-7848(2021)05-0348-07 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2021.05.041

发酵肉制品通过有益微生物的发酵作用产生乳酸及菌素等代谢产物,从而降低其pH值,提高产品的安全性和货架期。通过微生物的发酵以及内源酶的共同作用可产生醇类、酸类、杂环化合物及核苷酸等大量芳香类物质,赋予发酵肉制品独特的风味^[1]。目前,发酵肉制品中发现的挥发性成分没有具体的数量,主要包括酸类、醇类、醛类、酮类、酯类和烃类等。发酵羊肉干是发酵肉制品中的一类,具有特殊的风味和香气,而风味和滋味是影响感官特性、质量和消费者行为的重要因素^[2]。目前,对发酵肉制品中风味物质的研究越来越多,气相色谱-质谱联用(Gas chromatography-mass spec-trometry,GC-MS)技术被广泛应用到发酵食品挥发性成分的检测中^[3-5]。如:王德宝等^[6]通过GC-MS技术在香肠成品中共鉴定出26种挥发性风味物质,主要包括醇类、醛类、酯类、酸类、烃类及醚类。

电子鼻是一种模拟人类嗅觉的低成本、快速检测仪器。其主要由一系列对化学成分灵敏的传感器组成,结合多元统计学方法测量样本顶部空间的挥发性化合物^[7]。邓龙等^[2]通过GC-MS-O结

合电子鼻对8种橄榄油进行分离,结果显示电子鼻结合PCA分析可将8种橄榄油很好地分离。电子舌(又称智能味觉仿生系统)是通过多传感器阵列感知样品的整体特征响应信号,利用化学计量学方法对样品进行模拟识别和定量定性分析的一种检测技术。贺羽等^[8]通过电子鼻和电子舌技术成功分辨出不同酿造阶段柠檬果醋气、味的差异。然而,电子鼻只能检测样本的挥发性风味性能,电子舌只能检测样本的滋味性能,因此本文将GC-MS技术和电子鼻/电子舌结合,通过主成分分析(Principal component analysis,PCA)和雷达分析图谱等分析软件对4组发酵羊肉干的风味成分进行深入检测,为我国发酵肉制品生产加工过程中的风味鉴定以及品质评价提供理论依据和数据参考。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

背最长脊羊肉为巴盟察右中旗放牧羊;食盐,中国盐业集团有限公司;白砂糖,太古糖业(中国)有限公司;葡萄糖、亚硝酸钠、硝酸钠和氯化钠,国药集团化学试剂有限公司;植物乳杆菌 X3-2B;内蒙古农业大学微生物实验室提供;沙葱,购于鄂尔多斯市。以上试剂均为分析纯级。

1.2 仪器与设备

ZXMP-A1430 恒温恒湿箱,上海智城分析仪

收稿日期: 2020-05-30

基金项目: 内蒙古传统发酵食品加工与安全关键技术项目(201802067)

作者简介: 刘建林(1994—),女,硕士生

通信作者: 赵丽华 E-mail: 8670516757@qq.com

器制造有限公司;PEN3 型便携式电子鼻传感器,德国 Airsense 公司;SA402B 电子舌(日本 In-sent),北京盈盛恒泰科技有限责任公司;气相-质谱联用仪、手动式 SPME 手柄,美国赛默飞世尔科技公司。

1.3 试验方法

1.3.1 发酵羊肉干的制作 将原料肉去除筋腱、筋腱膜和脂肪后,顺着肌纤维将羊肉切成约 2~3 cm 的条。加入辅料后将处理好的发酵剂菌液加入到羊肉条中,使其终含量达到 10^7 CFU/g。将羊肉条与辅料、菌液等混合均匀腌制 12 h 后进行发酵。具体试验分组及辅料添加量见表 1。

表 1 发酵羊肉干配方及分组情况
Table 1 Recipe and grouping of fermented dried mutton

组别	白砂糖/%	葡萄糖/%	食盐/%	亚硝酸钠/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	硝酸钠/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	发酵剂/%	沙葱汁/%
对照组	0.5	0.1	0.5	70	100	-	-
发酵剂组	0.5	0.1	0.5	70	100	2	-
沙葱组	0.5	0.1	0.5	70	100	-	0.5
沙葱+发酵剂组	0.5	0.1	0.5	70	100	2	0.5

1.3.2 风味测定 参照罗玉龙等^[9]的方法稍作改动。采用固相微萃取法进行样品处理。取 6 g 样品置于 20 mL 顶空瓶中压盖,将老化后的 SPME 萃取头插入样品瓶顶空部分,于 60 °C 吸附 50 min,吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口,于 250 °C 解吸 3 min,同时启动仪器采集数据。

气相色谱条件:DB-5 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),氮气载气流速 1 mL/min,进样口与接口温度为 250 °C,不分流方式为进样模式。

采用三段式升温程序:第 1 阶段起始温度为 40 °C,以 4 °C/min 的速度升温至 150 °C,持续 3 min;第 2 阶段从 150 °C 升温至 200 °C,速度为 5 °C/min,保持 1 min;第 3 阶段以 20 °C/min 的速度从 200 °C 升温到 230 °C,时间为 5 min。

质谱条件:采用 EI 离子源作为电离方式,电离电压 70 eV,离子源温度 250 °C,传输线温度 250 °C,扫描质量范围 m/z 30~400,溶剂延迟时间 1 min。

定性与定量分析:将总离子流色谱图中的每个峰与 NIST, WILEY 和 MENALIB 数据库中已知物质的质谱数据进行检索定性,以匹配度大于 800 为鉴定依据。根据峰面积归一法计算每种风味化合物的相对百分含量,最终单位为 AU/g。

1.3.3 电子鼻传感器检测 参照李双艳等^[10]的方法略作修改。称取 5 g 肉糜放入 10 mL 专用瓶中,60 °C 水浴 40 min 后取出静置平衡 10 min,在 25

°C 恒温环境中用 PEN3 型便携式电子鼻传感器对样品进行检测。

电子鼻条件:初始进样流量 300 $\mu\text{L}/\text{min}$,取样间隔时间 1 s,清洗时间 90 s,检测时间 200 s,零点修剪时间 1 s。在数据分析与处理时,选择传感器信号稳定后的值(一般在 200 s 后基本稳定),每组样品做 3 次平行重复。

表 2 化学传感器对不同物质的响应类型

Table 2 Chemical sensors corresponding to different types of volatile substances

阵列 序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分,苯类
2	W5S	灵敏度大,对氮氧化物很灵敏
3	W3C	芳香成分灵敏,氨类
4	W6S	主要对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

1.3.4 电子舌测定 参照范文教等^[11]的方法略作修改。取 10 g 肉样,切碎后置于锥形瓶中加入 100 mL 0.1 mol/L 氯化钾溶液,在磁力加热搅拌器上

搅拌浸提 30 min 后过滤,将滤液倒入电子舌专用容器中上机测定。

数据采集前,对电子舌进行传感器活化、校准等操作,确保检测数据的可靠性与稳定性。将 100 mL 滤液置于电子舌专用容器中,样品采集与清洗交替进行。样品测定时间为 90 s,采集周期 1.0 s,采集延迟 0 s,搅拌速率 1 r/s,清洗(基准液)时间 336 s,截止时间 20 s。检测环境温度为室温。每个样品除甜味测定 5 次外,其它味均测定 4 次,选取后 3 次稳定的电子舌响应值进行后续分析。

1.4 数据分析

利用 SPSS 22.0 分析软件对 4 组发酵羊肉干采集到的挥发性风味数据进行显著性分析。电子鼻、电子舌根据传感器采集的原始数据进行统计学分析,利用 Origin 2018 和 Excel 进行主成分分析(PCA)和雷达色谱图分析。

2 结果与分析

2.1 发酵羊肉干主要挥发性风味的组成

4 组发酵羊肉干通过 GC-MS 分析后,共检测出主要挥发性风味物质 27 种,主要包括:酸类(7 种)、醛类(6 种)、酯类(2 种)、醇类(3 种)、酮类(2 种)、烃类(3 种)、其它(4 种),其物质含量见表 4。酸类风味物质主要源于食品中的有机酸以及发酵剂产生的乳酸,占总挥发成分的 8.08%~15.68%,主要以异戊酸和乙酸为主。异戊酸含量差异较大,发酵剂+沙葱组的异戊酸仅占 0.98%,其它 3 组都占 2.18%~12.29%,这种差别可能是因为添加物不同导致的,植物乳杆菌 X3-2B 为微生物发酵剂,而沙葱则为一种香辛料。乙酸赋予产品的是酸醋味,而异戊酸赋予产品的是果香以及笃斯越橘样香味。

醛类风味物质来自脂肪氧化水解、微生物作用以及糖类的美拉德反应,其阈值较低,对产品最终的风味影响较大,而且醛类有很强的与许多其它物质重叠的风味效应^[12-15]。其占总挥发性成分的 2.54%~5.80%,主要以月桂醛、己醛、庚醛和正辛醛为主,其中月桂醛占 2.28%~2.93%;而对照组和沙葱组无己醛和脂肪香味,月桂醛赋予产品的则是柑橘香及紫罗兰花香。

酯类风味物质主要是通过脂肪酸分解、过酶

表 3 化学传感器对不同物质的响应类型

Table 3 Chemical sensors corresponding to different types of volatile substances

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	AAE(S11)	对酸味灵敏
2	CT0(S12)	对苦味灵敏
3	CA0(S13)	对涩味灵敏
4	C00(S14)	对鲜味灵敏
5	AE1(S15)	对咸味灵敏

促反应、酯化和醇解等途径生物合成的^[2],占总挥发性风味物质的 3.81%~5.28%,主要以油酸甲酯为主(3.66%~5.01%),其中对照组含量最低(3.66%),发酵剂组含量最高(5.01%)。

酮类风味物质由食物中多不饱和脂肪酸的氧化或降解以及氨基酸降解产生,其阈值低可赋予产品水果香和花香^[15],占总挥发性成分的 1.42%~3.53%,主要为 3-羟基-2-丁酮和 2,3-辛二酮。发酵剂+沙葱组 3-羟基-2-丁酮和 2,3-辛二酮的含量最高,沙葱组未检出 2 种酮类风味物质。3-羟基-2-丁酮是由柠檬酸代谢产生的二乙酸转化而来,可赋予发酵羊肉干清香味和奶香味^[16-17],2,3-辛二酮赋予的则是甜奶油以及甘薯相关风味^[18]。

醇类风味物质主要是由肉中的共轭亚油酸被脂肪氧合酶和氢过氧化酶降解以及羰基化合物还原而来,气味柔和,可赋予产品植物香味^[19-20],占总挥发性风味成分的 0.5%~1.66%,以苯乙醇为主(1%~2.69%)。苯乙醇可赋予发酵羊肉干花香味,然而对照组和发酵剂组均未检出苯乙醇,沙葱组(1.32%)中苯乙醇的含量略高于发酵剂+沙葱组(1.08%)。

烃类是由脂肪酸的烷氧基均裂形成,占总挥发性风味成分的 0.43%~3.66%,各组样品烃类物质含量差异较大,主要以邻异丙基甲苯为主。烃类风味物质的阈值较大,对产品风味的影响较小^[16,21]。

其它挥发性风味占总挥发性风味比例较低,仅为 0.37%~1.6%,主要以醚类为主。由表 4 可知,添加物的不同使 4 组发酵羊肉干的挥发性物质不同,主要体现在风味比例以及成分不一致上。

表4 4组发酵羊肉干主要挥发性物质含量

Table 4 The percentage composition of volatile compounds of 4 different types of fermented mutton jerky

分类	中文名称	风味物质含量×10 ⁶ /g			
		对照组	发酵剂组	沙葱组	乳酸菌+沙葱组
酸类	蝶呤-6-羧酸	1.338 ± 0.020 ^a	2.200 ± 0.020 ^c	1.329 ± 0.020 ^a	1.389 ± 0.020 ^b
	异戊酸	20.630 ± 0.020 ^d	3.651 ± 0.020 ^b	8.429 ± 0.020 ^c	1.650 ± 0.020 ^a
	乙酸	4.121 ± 0.020 ^a	6.444 ± 0.025 ^c	7.068 ± 0.016 ^d	6.001 ± 0.020 ^b
	己酸	-	-	-	3.4339 ± 0.020
	顺式-十八碳烯酸	0.229 ± 0.020 ^a	-	-	3.632 ± 0.020 ^b
	胍乙酸	-	1.269 ± 0.020 ^a	1.380 ± 0.020 ^b	-
	十一酸	-	-	0.808 ± 0.020 ^a	1.131 ± 0.020 ^b
酯类	亚油酸乙酯	0.251 ± 0.020 ^a	0.449 ± 0.020 ^b	-	-
	油酸甲酯	6.138 ± 0.020 ^a	8.410 ± 0.020 ^d	6.471 ± 0.020 ^b	7.460 ± 0.020 ^c
醛类	正辛醛	0.688 ± 0.020 ^a	0.691 ± 0.020 ^a	-	0.719 ± 0.020 ^a
	月桂醛	4.910 ± 0.010 ^c	4.436 ± 0.015 ^b	3.828 ± 0.020 ^a	4.890 ± 0.020 ^c
	己醛	-	1.055 ± 0.025 ^a	-	2.443 ± 2.44 ^b
	庚醛	-	0.811 ± 0.020 ^a	-	1.261 ± 0.020 ^b
	2-乙基己烯醛	-	-	0.4281 ± 0.001	-
	5,9-二甲基-4,8-癸二烯醛	-	-	-	0.4271 ± 0.015
醇类	二十烷醇	1.121 ± 0.010 ^c	0.234 ± 0.015 ^a	0.245 ± 0.025 ^a	0.522 ± 0.025 ^b
	叶绿醇	1.381 ± 0.020 ^d	0.599 ± 0.020 ^c	0.302 ± 0.026 ^a	0.460 ± 0.020 ^b
	苯乙醇	-	-	2.210 ± 0.020 ^b	1.805 ± 0.020 ^a
酮类	3-羧基-2-丁酮	1.911 ± 0.020 ^a	2.390 ± 0.020 ^b	-	3.271 ± 0.020 ^c
	2,3-辛二酮	1.032 ± 0.020 ^a	-	-	2.649 ± 0.020 ^b
烃类	二氧化萜二烯	-	0.971 ± 0.001	-	-
	正十八炔	-	0.862 ± 0.010 ^b	0.689 ± 0.020 ^a	-
	邻异丙基甲苯	0.725 ± 0.015 ^b	0.661 ± 0.010 ^a	5.449 ± 0.010 ^d	0.759 ± 0.020 ^c
其它	十八烷基乙烯基醚	0.409 ± 0.020 ^a	0.569 ± 0.020 ^b	1.239 ± 0.020 ^c	-
	八(乙二醇)-(十二烷基)醚	1.898 ± 0.010 ^b	0.291 ± 0.020 ^a	-	-
	鸟嘌呤核苷	0.381 ± 0.020 ^a	-	-	0.618 ± 0.010 ^b
	3-氨基-2-甲基吡啶	-	-	0.270 ± 0.020	-

注:同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2 电子鼻分析4组发酵羊肉干挥发性成分

PEN3 电子鼻包括 10 个传感器, 根据 4 组发酵羊肉干在 10 个传感器上的响应值绘制出羊肉干雷达分析图(图 1)。图中不同颜色和形状代表不同组别的发酵羊肉干。W5S、W5C、W1W 和 W2W 4 个传感器对各组发酵羊肉干样品的响应值都比较大, 尤其是 W5S(灵敏度大, 对氮氧化物很灵敏)和 W1W(对硫化物灵敏)。W1W 传感器对 4 组羊肉干的响应值差异较大, 说明 W1W 传感器检测出的挥发性成分组成相差较大; 其它 9 个传感器的信号响应值基本一致, 且不同种类之

间几乎重叠, 说明这 9 个传感器检测出的挥发性成分组成基本相似。对照组/发酵剂组发酵羊肉干的雷达响应图和其它 3 组差异较大, 对照组 W1W 传感器响应值显著大于其它 3 组, 发酵剂组 W1W 传感器响应值显著小于其它 3 组, 沙葱和沙葱+发酵剂组效果居中。硫化物在食品中含量极少, 呈味阈值低, 但对加工肉类贡献很大, 其主要是通过加工过程中发生的美拉德反应形成^[21]; 因此添加发酵剂(植物乳杆菌 X3-2B)可在一定程度上抑制美拉德反应。

PCA 统计方法是对原有初始数据进行简化,

通过线性组合将一组可能有相关性的变量简化为一组线性不相关变量,从而突出元素之间的关系^[23-25]。从图2可以看出,第1和第2主成分(PC1,PC2)贡献率分别为66.2%和24.2%,总贡献率达90.4%,涵盖了样品的大部分信息,用其代表发酵羊肉干电子鼻的整体信息可信度较高。4组发酵羊肉干的分离效果较好,其中对照组与其它3组相差很大,在PC1和PC2上均为正值;发酵剂组与其它3组相差也很大,在PC1上为负值,

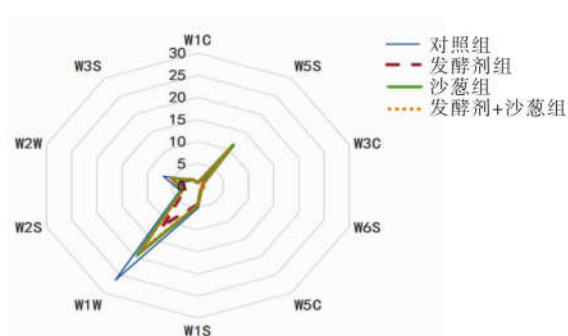


图1 发酵羊肉干的电子鼻雷达图分析图谱
Fig.1 Radar map analysis of fermented mutton jerky by electronic nose

2.3 电子舌分析4组发酵羊肉干滋味成分

SA402B 电子舌共有5个传感器,根据4组发酵羊肉干在5个传感器上的响应值绘制出羊肉干雷达色谱图。图中不同颜色和形状代表不同组别的发酵羊肉干。如图3所示,咸味和鲜味传感器对各组发酵羊肉干样品的响应值最大,而苦味、涩味、后味B(苦的回味)、后味A(涩的回味)、丰富度(鲜的回味)传感器的响应值基本一致,甜味传感器的响应值低于以上5种传感器的响应值,而酸味传感器的响应值最低。经分析,酸味和鲜味传感器对各组发酵羊肉干样品的响应值呈显著性差异,其中发酵剂组和沙葱组的响应值基本一致,对照组与发酵剂+沙葱组的响应值基本一致。发酵剂组和沙葱组的鲜味显著高于对照组和发酵剂+沙葱组,而酸味显著低于对照组和发酵剂+沙葱组。综上,单独添加发酵剂与沙葱可以改善发酵羊肉干的滋味,但并不能有效地区分各组样品。

从图4可以看出,PC1的贡献率为83.7%,PC2的贡献率为13.9%,总贡献率达97.6%,涵盖

PC2上为正值,这与电子鼻雷达色谱图表达的信息一致,主要由于美拉德反应导致^[2]。本研究中,同组样品的数据采集点聚集在同一区域,不同组样品的数据采集点则分散于不同区域,说明添加发酵剂和沙葱的发酵羊肉干挥发性气味具有显著差异(图2)。4组发酵羊肉干的风味物质可以在二维PCA图谱上很好地分离,这说明电子鼻结合PCA可区分4组发酵羊肉干。

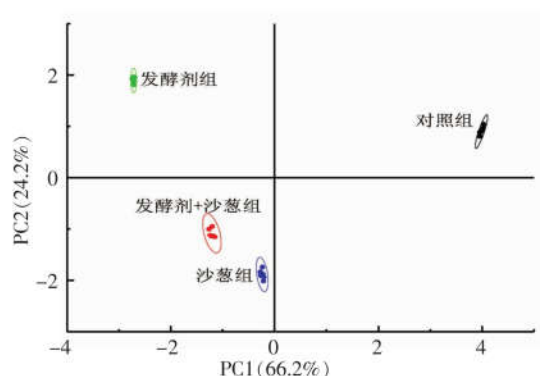


图2 发酵羊肉干电子鼻PCA二维图
Fig.2 Two-dimensional PCA map of E-nose of fermented mutton jerky

了发酵羊肉干气味物质几乎所有信息。如图4所示,发酵剂组和沙葱组的样品都位于第2,3象限之间,且相距较近,说明其滋味的相似性很高;对照组与发酵剂+沙葱组的样品都位于第1,4象限之间,且相距较近,说明其滋味的相似性很高,这与电子舌雷达图表达的信息一致^[8]。4组发酵羊肉干在二维PCA图谱上可以被较好地分开,说明4组发酵羊肉干存在滋味差异。

3 结论

本研究通过GC-MS技术结合电子鼻/电子舌探究发酵剂和沙葱对发酵羊肉干成熟后风味的影响。在发酵羊肉干成熟后检测出主要风味贡献物质27种,包括异戊酸、乙酸、油酸甲酯、月桂醛、己醛、庚醛、正辛醛、苯乙醇、邻异丙基甲苯、3-羟基-2-丁酮、2,3-辛二酮和醚类。对照组共检测出16种风味物质成分,未检测出己醛和苯乙醇;发酵剂组共检测18种风味物质成分,未检出苯乙醇和2,3-辛二酮;沙葱组共检测出15种风味物质成

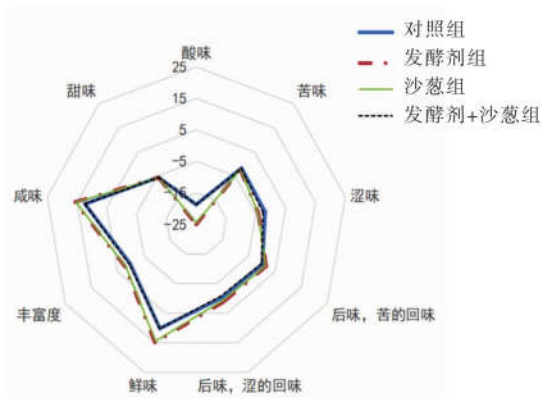


图3 发酵羊肉干的电子舌雷达图分析图谱

Fig.1 Radar map analysis of fermented mutton jerky by electronic tongue

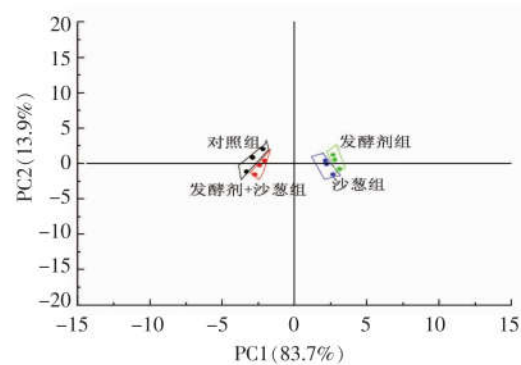


图4 发酵羊肉干电子舌 PCA 二维图

Fig.4 Two-dimensional PCA map of electronic tongue of fermented mutton jerky

分,未检测出己醛、庚醛、正辛醛、3-羟基-2-丁酮、2,3-辛二酮;沙葱+发酵剂组共检测出19种风味物质成分,未检测出醚类。电子鼻和电子舌结合PCA和雷达图谱分析可以更直观地区分4组发酵羊肉干之间的风味差别。GC-MS技术结合电子鼻和电子舌可为不同发酵产品的风味差别提供相应数据参考。

参 考 文 献

- [1] 李轻舟,王红育.发酵肉制品研究现状及展望[J].食品科学,2011,32(3):247-251.
- [2] 邓龙,刘雄飞,刘贤标,等.GC-MS-O结合电子鼻对橄榄油挥发性成分的分析与鉴别[J].中国食品学报,2019,19(5):276-286.
- [3] 杨艳,潘亨琴,贺银菊,等.气质联用技术在发酵食品风味分析中的研究进展[J].广州化工,2019,47(9):30-31,50.
- [4] 蒋鹏飞,罗强,施宝珠,等.不同酵母发酵葛根酒的抗氧化活性及香气成分分析[J].中国食品学报,2019,19(8):230-239.
- [5] 赵凤,许萍,曾诗雨,等.鲟鱼传统发酵过程中挥发性风味物质的分析评价[J].食品科学,2019,40(10):236-242.
- [6] 王德宝,赵丽华,田建军,等.不同发酵剂对发酵香肠中风味物质释放及有害生物胺控制的影响[J].中国食品学报,2019,19(8):89-96.
- [7] XU L, YU X, LIU L, et al. A novel method for qualitative analysis of edible oil oxidation using an electronic nose [J]. Food Chemistry, 2016, 202: 229-235.
- [8] 贺羽,王帅,姚俊胜,等.基于电子鼻和电子舌分析不同酿造阶段柠檬果醋气、味差异[J].中国调味品,2018,43(12):154-159.
- [9] 罗玉龙,赵丽华,王柏辉,等.苏尼特羊不同部位肌肉挥发性风味成分和脂肪酸分析[J].食品科学,2017,38(4):165-169.
- [10] 李双艳,邓力,汪孝,等.基于电子鼻、电子舌比较分析冷藏方式对小香鸡风味的影响[J].肉类研究,2017,31(4):50-55.
- [11] 范文教,易宇文,徐培,等.电子舌技术识别掺假腐肉香肠的研究[J].食品工业,2017,38(12):159-163.
- [12] 吴娜,王锡昌,陶宁萍,等.动物源食品中脂质氧化降解对香气物质形成的作用[J].中国食品学报,2016,7(16):209-251.
- [13] HOA V B, RYU K S, NGUYEN T K L, et al. Influence of particular breed on meat quality parameters, sensory characteristics, and volatile components [J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(3): 651-658.
- [14] BUENO M, CAMPO M M, CACHO J, et al. A model explaining and predicting lamb flavour from the aroma-active chemical compounds released upon grilling light lamb loins [J]. Meat Science, 2014, 98(4): 622-628.
- [15] 马玲,徐静,宗学醒,等.酸凝干酪成熟过程中挥发性风味物质的分析[J].中国乳品工业,2009,37(3):23-26.

- [16] 王德宝, 胡冠华, 苏日娜, 等. 发酵剂对羊肉香肠中蛋白、脂质代谢与风味物质的影响[J]. 农业机械学报, 2019, 50(3): 336-344.
- [17] MCSWEENEY P L H, FOX P F. Metabolism of residual lactose and of lactate and citrate[J]. *Cheese Chemistry Physics & Microbiology*, 2004(4): 361-371.
- [18] 李文博, 罗玉龙, 刘畅, 等. 饲养方式对苏尼特羊肉挥发性风味成分和脂肪酸组成的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 207-213.
- [19] 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(4): 430-439.
- [20] 徐星. 植物油氧化过程中脂肪酸和挥发性成分变化的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2013.
- [21] 李伟, 罗瑞明, 李亚蕾, 等. 宁夏滩羊肉的特征香气成分分析[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 1173-1177.
- [22] 朱照华. 含硫风味化合物及其形成原理[J]. 江苏调味品, 2016(3): 4-8.
- [23] YANG W, YU J, PEI F, et al. Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes*, detected by HS-SPME-GC-MS and electronic nose[J]. *Food Chemistry*, 2015, 196(1): 860-866.
- [24] WANG X, ZENG Q, CONTRERAS M M, et al. Profiling and quantification of phenolic compounds in *Camellia* seed oils: Natural tea polyphenols in vegetable oil[J]. *Food Research International*, 2017, 102(10): 184-194.
- [25] DANIEL G, JÂNIO S S, GRAZIELA B E, et al. Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 72(2): 83-90.

Analysis of Flavor Components of Fermented Mutton Jerky by GC-MS Combined with Electronic Nose/Electronic Tongue

Liu Jianlin, Sun Xueying, Zhang Xiaorong, Wang Dan, Zhao Lihua*, Jin Ye

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohot 010018)

Abstract The volatile flavor compounds and flavor characteristics of four groups (control group; fermentation group; scallions group; scallions + fermentation group) of fermented mutton jerky samples were analyzed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and combined with electronic nose and electronic tongue to distinguish the flavor of different additives fermented mutton jerky. The results showed that a total of 27 main volatile compounds were detected by GC-MS technology. The main acids were ovaleric acid and acetic acid, and the main esters were methyl oleate. The lauric aldehyde, hexanal, heptaldehyde and n-octanal were the main components of aldehydes, hexanal was not detected in the control group, hexanal, heptaldehyde and n-octanal were not detected in the scallions group. The main alcohols were phenylethyl alcohol, the control and fermentation group were not detected. The main hydrocarbons were o-isopropyltoluene, and the main ketones were 3-hydroxy-2-butanone and 2,3-octanedione, scallions group were not detected 3-hydroxy-2-butanone and the starter group did not detect 2,3-octane. Through principal component analysis (PCA) and radar chromatogram analysis, GC-MS technology combined with electronic nose/electronic tongue could be used to effectively distinguish different additives fermented mutton jerky and identify the volatile components and characteristic flavor compounds of fermented mutton jerky successfully. The study provided a reference data for distinguish flavor of different fermented products.

Keywords fermented mutton jerky; GC-MS; electronic nose; electronic tongue; flavor