

基于电子鼻和 GC-O-MS 技术分析牛油和羊油中香气成分的差异

鲍薪羽¹, 王丽金^{1*}, 宋焕禄¹, 杨礼学², 官莉莉², 王俏君²

¹北京市食品添加剂工程技术研究中心 北京工商大学 北京 100048

²广汉市迈德乐食品有限公司 四川广汉 618300

摘要 市场中存在牛油中掺入羊油冒充纯正牛油的违规现象,目前尚无区分牛油和羊油的有效方法。本研究尝试通过香气差异区分牛油和羊油,以 9 种牛分割油、6 种牛腰肚油和 5 种羊油为研究对象,采用电子鼻和气相色谱-嗅闻-质谱联用技术(GC-O-MS)分析其风味物质。结果表明,电子鼻结合线性判别分析(LDA)可以区分牛分割油、牛腰肚油和羊油。通过 GC-O-MS 共检出 39 种香气物质,包括醛类、醇类、酯类、酸类、酮类、杂环类和其它类化合物,它们的含量各不相同。利用正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA)可以从香气上区分牛分割油、牛腰肚油、羊油。本研究可为牛油风味品质控制和市场标准制定提供参考数据。

关键词 牛油; 羊油; 香气成分; 电子鼻; 气相色谱-嗅闻-质谱联用技术(GC-O-MS)

文章编号 1009-7848(2022)12-0267-15 **DOI**: 10.16429/j.1009-7848.2022.12.027

牛油,又称为牛脂,是用牛的表皮下、肌肉间、腹腔内等部位脂肪组织进行加工、提炼后得到的可食用的油脂。牛油通常为类白色、淡黄色或深黄色,其口感细腻,风味醇厚,精制后熔点一般为 43~49 °C^[1]。牛油按照脂肪的来源部位可分为牛腰肚油(Beef kidney tallow, BKT)和牛分割油(Beef split tallow, BST)。牛腰肚油是用牛腰肚部位取得的较为纯净单一的牛脂肪提炼所得的牛油;牛分割油是用牛肢体上分割取得的较为零碎的牛脂肪(通常带有瘦肉组织和血液)提炼所得的牛油^[2]。牛油具有特殊且不可替代的风味^[3]。前期研究发现,从油脂味、牛膻味、奶香味、焦香味、汗酸味和甜味等 6 种典型香型对牛油进行感官评价,牛腰肚油以油脂味、牛膻味较为明显,而牛分割油以汗酸味和牛膻味更为明显^[4]。因色泽鲜亮、口感香醇、加工特性稳定,牛油常被用在烘焙制品、乳制品、火锅底料等食品中,赋予焙烤类食品酥脆的口感,为制得的火锅底料增香、增色^[5-6]。特别是在川渝地区,牛油作为火锅底料的重要原料之一,其风味直接决定麻辣牛油火锅的风味^[7]。目前,在牛油供应市场上,存在向牛油中掺入羊油(即用羊脂肪加工提炼的油脂)假冒纯正牛油的现象,一方面是因为

牛油价格比牛油低,部分生产商通过这种方式降低成本;另一方面是因为与牛油比,羊油具有明显的奶香味^[4],羊油的掺入可在一定程度上为后续火锅底料的制作增加香气层次。针对是否能在牛油中掺入羊油,以及在火锅底料制作中羊油能否替代牛油目前尚无相关标准和规定,如何规范化牛油和羊油的生产标准是亟待解决的问题。牛油和羊油的脂肪酸构成相似,目前如何区分二者尚无有效方法。基于牛油和羊油的呈香差异,能否通过香气成分对牛油和羊油加以区分,是值得研究的问题。

目前关于牛油和羊油的研究主要集中在工艺上,对其香气的研究较少,且主要针对其挥发性成分。黄玉坤等^[8]利用电子鼻结合顶空固相微萃取/气-质谱联用技术(Headspace solid-phase microextraction/gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME/GC-MS)测定 3 种香型(无香、淡香、浓香)牛油中的挥发性成分,结果发现电子鼻能够灵敏检出不同香型牛油气味的差异,醛类化合物是造成其香气差异的关键成分。齐安安等^[9]通过应用 MassworksTM 质谱解析软件结合 NIST11 谱库的方法,对羊油中的 42 种香气成分实现了定性分析。为开发肉味香精,林喆等^[10]采用 SPME/GC-MS 分析食用牛油的挥发性成分,发现己醛、庚醛、辛醛、壬醛、癸醛、己酸、癸酸、肉豆蔻醛、(E)-2-戊烯醛、(E)-2-己烯醛、(E)-2-庚烯醛、(E)-

收稿日期: 2021-12-08

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发项目(2017BY068)

第一作者: 鲍薪羽,女,本科生

通信作者: 王丽金 E-mail: wanglijin@btbu.edu.cn

2-辛烯醛、(E)-2-壬烯醛、(E)-2-癸烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、(E)-2-十一烯醛、1-己醇、1-庚醇、1-辛醇为牛肉风味形成的前体物质。吴肖等^[11]向牛肉酶解液中添加不同过氧化值(Peroxide value, POV)的氧化牛油,并进行美拉德热反应,发现氧化牛油会影响含硫氨基酸和鲜味氨基酸的反应活性,以及肽分子量的分布,从而影响牛肉风味的形成。张杰等^[12]采用SPME/GC-MS技术对牛油、鱼油两种动物油制成的火锅底料的香味物质进行比较,分别从鱼油和牛油火锅底料中鉴定出香味物质36种和59种,与牛油火锅底料相比,鱼油火锅底料香味较差、滋味较好。目前尚无牛油和羊油香气差异的对比研究。

针对香气成分分析的主要手段有气相色谱-嗅闻-质谱联用技术(GC-O-MS)及电子鼻的聚类分析等。电子鼻是通过模拟哺乳动物的多种嗅觉感受器细胞,并根据自身已存储的气味指纹数据来快速识别样品中对应的气味特点^[13-14]。目前电子鼻已应用在肉类新鲜程度识别^[15-17]、挥发性物质的分析^[18]和鉴别掺假情况^[19-20]中。气相色谱-嗅闻-质谱联用技术(Gas chromatograph-olfactometry-mass spectrometer, GC-O-MS)是将气相色谱-质谱技术与嗅闻技术联合使用,可将气相色谱的高效分离能力与人类的嗅觉能力结合,从而将食品中挥发性物质的呈香特性的成分进行鉴别,成为研究食品香气成分的有力工具^[21-22],目前已广泛用于各种食品的香气和异味分析中。例如,利用GC-O-MS,杨帆等^[23]明确了顺(Z)-6-壬烯醛是导致热处理前、后西瓜汁香气差异的主要成分;通过GC-O-MS分析,白酒所呈现的糠味被发现是由8种物质所致,包括2-糠酸乙酯、4-乙烯基苯酚、4-乙烯基愈创木酚、1,4-二甲氧基苯、1,2-二甲氧基苯、笏、嗅素,[3.3.1]壬二烯-3,7-二酮^[24]。

将电子鼻与气相色谱-嗅闻-质谱联用技术相结合,既可客观评价气味特点,又可对呈香物质进行鉴别,两者相互验证和补充,从而实现更加全面的香气研究^[25]。本研究采用电子鼻和GC-O-MS相结合,分析牛油和羊油的香气成分,明确其香气差异,为牛油的风味品质控制和应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

9个牛分割油F1-F9、6个牛腰肚油Y1-Y6、5个羊油YYD1-YYD5(见表1,脂肪原料来自于不同的产地,生产工艺相同),广汉市迈德乐食品有限公司;2,4,5-三甲基噻唑、正构烷烃(C7-C30)(均为色谱纯级),美国Sigma公司;氦气(99.9990%)、氮气(99.9992%),北京氮普北分气体工业有限公司。

表1 试验样品信息

样品类型	编号	原料产地
牛分割油	F1	河南
	F2	河南
	F3	四川
	F4	宁夏
	F5	浙江
	F6	新疆
	F7	广东
	F8	黑龙江
	F9	湖南
牛腰肚油	Y1	甘肃
	Y2	甘肃
	Y3	山东
	Y4	山东
	Y5	内蒙古
	Y6	河南
羊油	YYD1	内蒙古
	YYD2	内蒙古
	YYD3	河北
	YYD4	河北
	YYD5	山西

1.2 仪器与设备

JA5003型数字电子天平,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;PEN3型电子鼻,德国AIRSENSE公司;CAR/PDMS/DVB萃取头,美国Supelco公司;固相微萃取手动进样手柄,美国Supelco公司;7890A/7000B气相色谱-质谱联用仪,美国Agilent公司;Sniffer 9000嗅闻仪,瑞士Brechtbuhler公司;DB-WAX(30 m×0.25 mm×0.25 μm)色谱柱,美国J & W公司;HH-1电子恒温水浴锅,国华电器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 电子鼻检测条件 PEN3 型电子鼻传感器由 10 种金属氧化物传导列构成,传感器性能描述如表 2 所示。对 20 个样品进行电子鼻分析。准确称取 3 g(± 0.001 g)样品于顶空瓶内,于水浴锅上加热(60 °C)至融化,恒温密封顶空 20 min,使样品气体能充分挥发在顶空瓶内,至气体达到饱和平衡状态后,正式插入电子鼻探头,吸取顶端空气进行测定。电子鼻测试条件:样品测试时间 350 s,采样间隔 1 s,清洗时间 100 s,归零时间 8 s,载气流速 300 mL/min,进样流量 300 mL/min。选取传感器在第 320 秒时获得的稳定信号进行分析。每个样品检测重复 3 次。

1.3.2 SPME 条件 准确称取 6.0 g(± 0.001 g)样品于顶空瓶内,向瓶中加入 1 μ L 1.013 μ g/ μ L 2,4,5-三甲基噻唑作为内标物,旋紧瓶盖后置于 60 °C 水浴锅中平衡 30 min,插入固相微萃取装置,在 60 °C 下吸附 30 min。随后将吸附针插入 GC-MS 的进样口中,在 250 °C 条件下解析 5 min。每个样品检测重复 3 次。

1.3.3 GC 条件 设定初始温度为 40 °C,保持温度恒定 3 min,随后按以下方式升温:以 3.5 °C/min 的速度升温至 142 °C,以 2 °C/min 的速度升温至 150 °C,以 3.5 °C/min 的速度升温至 177 °C,以 6 °C/min 的速度升温至 200 °C,以 10 °C/min 升温至 230 °C,保持温度恒定 3 min。使用高纯度氦气(99.9990%)作为载气,以 1.2 mL/min 的速度作为载气的恒定流速,进样口温度 250 °C,设置为不分流状态。

1.3.4 MS 条件 MS 条件:电子轰击(Electron impact, EI)离子源,电子能量 70 eV,离子源温度 230 °C,四极杆温度 150 °C,传输线温度 28 °C,质量扫描范围 m/z 40~250。

1.3.5 嗅闻方法 由 3 名感官评价人员(2 女 1 男)嗅闻,记录嗅闻时间、嗅闻气味特征和嗅闻强度。每个样品分析 3 次。感官评价人员是经过培训的专业人员,具有超过 1 年的嗅闻实践经验,并提前 2 周熟悉牛油样品的香气。具体嗅闻条件:嗅觉检测器接口温度为 200 °C,在嗅闻时通过惰性气体——氮气吹扫超纯水产生水汽润湿嗅闻管道,防止嗅闻人员鼻腔干燥可能导致的鼻黏膜出血。

表 2 电子鼻传感器类型

Table 2 Standard sensor arrays and performance of Electronic nose

阵列序号	传感器名称	响应物质类型
1	W1C	对芳香型化合物灵敏
2	W5S	对氮氧化物灵敏
3	W3C	对氨类和芳香族化合物灵敏
4	W6S	对氢类灵敏
5	W5C	对烷烃、芳香族化合物灵敏
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对无机硫化物和萜烯类灵敏
8	W2S	对醇类和部分芳香族化合物灵敏
9	W2W	对芳香族化合物和有机硫化物灵敏
10	W3S	对烷烃灵敏

1.3.6 定性方法 牛油和羊油中香气成分的定性方法如下:

1) 将目标化合物的检测质谱图与 NIST 库中记载的质谱图作比对,选择匹配度高的检索结果。

2) 利用目标化合物的出峰时间及系列正构烷烃($C_7 \sim C_{30}$)的出峰时间,按(1)式计算目标化合物的实际 RI 值。比对实际 RI 值和理论 RI 值,判断定性结果。

$$RI=100 \times n + 100 \times \frac{T_a - T_n}{T_{(n+1)} - T_n} \quad (1)$$

式中: n ——系列正构烷烃的碳原子数量; T_n ——具有 n 个碳原子数的正构烷烃 C_n 的保留时间; $T_{(n+1)}$ ——具有 $(n+1)$ 个碳原子数的正构烷烃 $C_{(n+1)}$ 的保留时间; T_a ——样品中目标未知化合物的保留时间位于 T_n 与 $T_{(n+1)}$ 之间。

3) 对化合物气味的实际嗅闻结果进行比对,辅助定性。

4) 对每个化合物对应的标准品的保留时间以及质谱数据进行比对,完成最终准确定性分析。

1.3.7 定量方法 采用内标法对样品定量,以 1.013 μ g/ μ L 2,4,5-三甲基噻唑作为内标化合物,待测化合物与内标化合物的相应峰面积与浓度的关系按(2)式计算,得到待测化合物的浓度。

$$C_x = \frac{S_i}{S_x} \times C_i \quad (2)$$

式中, C_x 和 C_i ——分别表示未知物的浓度和内标的浓度(μ g/ μ L); S_x 和 S_i ——分别表示未知物

的出峰面积和内标的出峰面积(mAu·s)。

1.4 数据分析

电子鼻数据的主成分分析(Principal component analysis, PCA)和线性判别分析(Linear discriminant analysis, LDA)由电子鼻 PEN3 软件 Winnmuster 自带程序完成,正交偏最小二乘判别分析(Orthogonal Partial Least-Squares Discrimination Analysis, OPLS-DA)通过 SPSS 22.0 软件实施,其它数据由 Microsoft Excel 2010 统计处理并绘图。

2 结果与分析

2.1 电子鼻分析牛油和羊油的香气成分

对 9 个牛分割油、6 个牛腰肚油和 5 个羊油进行电子鼻分析,得到 10 个感应器的数据结果,见表 3。根据牛分割油、牛腰肚油和羊油的感受器响应值制成雷达图(图 1)。从表 3 及图 1 可以看出,所有牛油和羊油样品中的 W5S 信号响应值显

著高于其它感应器,且对烷烃、芳香族化合物灵敏。其次是 W2S、W1S、W2W 的信号响应值较高,其余感应器检测到的响应值较小,W1W 感应器在所有样品中均未感应到数据。这表明牛油和羊油样品的香气构成具有一定的相似性,其差异体现在传感器的响应强度上。

牛分割油在 W5S 传感器上响应信号最强,其次为 W6S 和 W1S 传感器。牛分割油中 F5 在所有样品中响应信号最强,在 W5S 和 W2S 传感器上的响应信号值高于其它样品,而 F6 的响应信号值最弱。

牛腰肚油在 W1C 传感器上的响应信号值明显大于牛分割油及羊油,该传感器对芳香型化合物敏感;在 W5S、W1S、W2S、W2W 传感器上的响应信号值明显小于牛分割油及羊油,其余传感器上的响应值较为接近。牛腰肚油中 Y4 整体响应值最强,尤其是在 W5S 和 W2S 传感器上显著高于其它样品。Y6 响应信号值最弱,也体现在 W5S 和

表 3 9 个牛分割油、6 个牛腰肚油和 5 个羊油样品的电子鼻响应值

Table 3 Response values of electronic nose for 9 beef split tallow, 6 beef kidney tallow and 5 mutton tallow samples

样品名称	传感器信号响应值									
	W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W2S	W2W	W3S	W1W
F1	0.8324	3.1181	0.9420	1.0688	0.9702	1.8450	2.3137	1.7359	1.1686	-
F2	0.7647	3.7527	0.9043	1.1273	0.9522	2.0522	2.0319	1.9620	1.1412	-
F3	0.8611	3.4750	0.9415	1.0922	0.9727	1.7204	2.0893	1.6827	1.1347	-
F4	0.8411	3.8417	0.9424	1.0830	0.9678	1.9150	2.4057	1.7793	1.1620	-
F5	0.8481	5.1530	0.9437	1.0780	0.9708	1.9813	3.1781	1.6829	1.2406	-
F6	0.8393	3.2300	0.9384	1.1196	0.9649	1.8522	2.0753	1.7855	1.1127	-
F7	0.8304	4.3780	0.9317	1.1334	0.9606	2.0418	2.4127	1.9740	1.1719	-
F8	0.8536	4.9220	0.9441	1.0552	0.9728	1.7962	2.9807	1.5961	1.2251	-
F9	0.8480	3.8300	0.9396	1.1017	0.9667	1.8608	2.5539	1.7697	1.1852	-
Y1	0.9263	2.7233	0.9583	1.0652	0.9745	1.4227	1.7354	1.3628	1.0733	-
Y2	0.9461	2.6735	0.9678	1.0221	0.9792	1.3118	1.9803	1.2235	1.1122	-
Y3	0.9586	3.3360	0.9735	1.0462	0.9797	1.3304	2.0464	1.2175	1.1087	-
Y4	0.9378	3.9181	0.9627	1.0894	0.9727	1.5279	2.3060	1.3785	1.1251	-
Y5	0.9536	2.9791	0.9675	1.0575	0.9737	1.3162	1.7125	1.2711	1.0615	-
Y6	0.9562	1.9678	0.9664	1.0720	0.9763	1.2932	1.6892	1.2801	1.0742	-
YYD1	0.8683	2.7496	0.9503	1.0691	0.9731	1.6197	1.7871	1.5746	1.1030	-
YYD2	0.8367	3.9401	0.9396	1.1008	0.9660	1.9068	2.3911	1.7784	1.1588	-
YYD3	0.8596	5.1970	0.9506	1.0532	0.9740	1.6689	3.0156	1.4903	1.2974	-
YYD4	0.7995	3.8664	0.9286	1.1035	0.9649	2.0821	2.4987	1.9410	1.1844	-
YYD5	0.8027	6.7271	0.9260	1.0937	0.9608	2.1780	3.6118	1.9692	1.3501	-

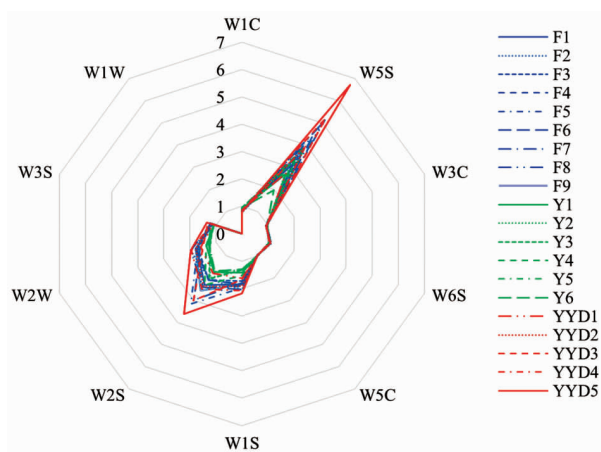


图 1 牛油、羊油香气电子鼻响应信号雷达图

Fig.1 Radar graph for odor intensity of beef tallow and mutton tallow samples measured by electronic nose

W2S 传感器上。

羊油在 W5S 传感器上响应值最强，其次是 W2S，样品 YYD5 的各传感器响应均最强，然而羊油样品间差异较大。YYD2 和 YYD4 为羊肚油，电

子鼻检测结果较为接近。其余羊油样品均为羊腰肚油。YYD3 与 YYD5 结果较为接近，YYD1 响应值偏差较大。造成以上差异的原因推测可能与产地及部位不同有关^[26]。

牛分割油、牛腰肚油和羊油 3 类样品香气成分的差别主要体现在 W5S 和 W2S 两个传感器上，其响应信号值强、弱与烷烃、醇类和芳香族化合物含量相关。

2.2 电子鼻结合 PCA 分析

对 9 个牛分割油、6 个牛腰肚油和 5 个羊油样品所获电子鼻响应数值进行主成分分析 (Principal component analysis, PCA)，结果如图 2 所示。第 1 主成分的贡献率为 91.108%，第 2 主成分的贡献率为 5.7387%，第 1 主成分和第 2 主成分的总贡献率为 96.847%。PCA 分析结果显示，牛腰肚油整体分布在坐标轴区域的下方，牛分割油分布在上方，表明二者在香气上存在差异，电子鼻结合 PCA 分析可以区分。羊油分布在中间，与牛分割油存在重叠，表明其香气存在一定的相似性。

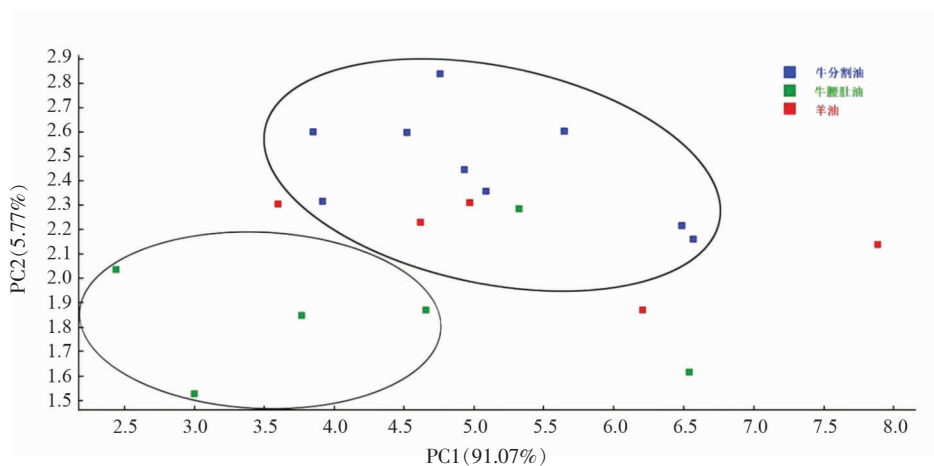


图 2 牛分割油、牛腰肚油和羊油样品的电子鼻主成分分析图

Fig.2 Principal component analysis of beef split tallow, beef kidney tallow and mutton tallow based on electronic nose

2.3 电子鼻结合 LDA 分析

对 9 个牛分割油、6 个牛腰肚油和 5 个羊油样品所获电子鼻响应数值进行线性判别分析 (Linear discriminant analysis, LDA)，结果如图 3 所示。LDA 分析可以明显区分牛腰肚油、牛分割油和羊油。牛分割油整体分布在左侧，牛腰肚油分布在右下角，羊油分布于中间，与牛分割油、牛腰肚

油均实现了明显区分，然而，其与牛分割油距离更近，这与 PCA 结果一致。以上结果表明电子鼻结合 LDA 分析可以表征牛分割油、牛腰肚油和羊油的香气差异。

2.4 GC-O-MS 分析牛油和羊油的香气物质

采用 GC-O-MS 方法从 20 个牛油、羊油样品中共检测到 47 种挥发性成分，其中 39 种可被嗅

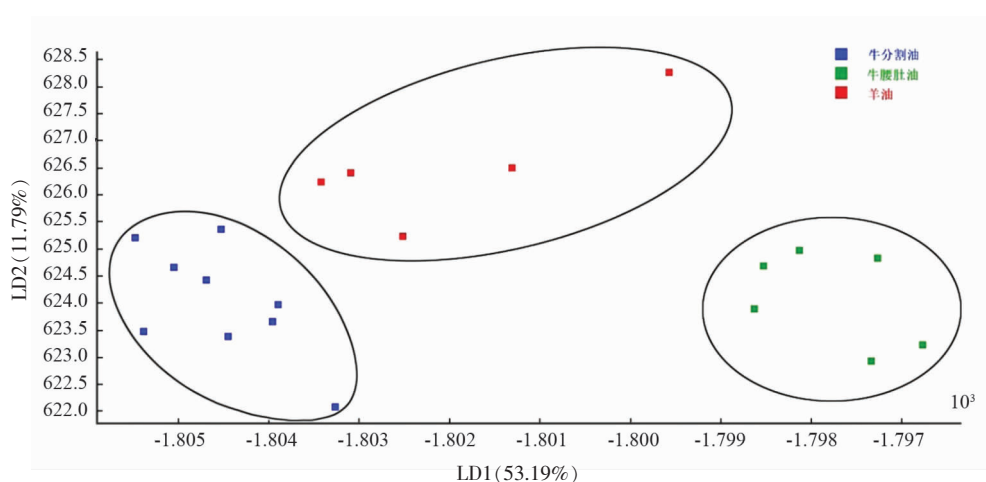


图3 牛分割油、牛腰肚油和羊油的电子鼻线性判别分析图

Fig.3 Linear discriminant analysis of beef split tallow, beef kidney tallow and mutton tallow samples based on electronic nose

闻。这39种香气物质见表4~6,包含19种醛类、6种醇类、2种酯类、2种酸类、2种酮类、4种杂环类和4种其它类香气物质。

牛分割油、牛腰肚油和羊油所含香气物质种类存在差异。牛油中香气物质的种类较为丰富,羊油中香气物质种类较少。牛分割油所含可被嗅闻的香气物质39种,数量最多。牛腰肚油其次,所含香气物质32种。羊油所含香气种类最少,29种。其中24种在3种油脂中均有,构成牛油和羊油的基本香气轮廓,这是牛油和羊油香气存在相似性的原因。从香气物质种类的差异来看,仅在牛分割油样品中检出的香气物质有清新味的丁醛、脂肪味的十二烷醇;仅在牛腰肚油检出的香气物质有鱼腥味的1-戊烯-3-酮和甜味的2-乙基呋喃;仅在羊油中检出的香气物质有脂肪味的(*E,E*)-2,

4-壬二烯醛、清新味的十一酮和甜味的二氢-5-辛基-2(3H)-呋喃酮。在牛油中检出而未在羊油中检出的香气物质有:清新黄瓜味的(*E*)-2-壬烯醛、甜味的2-十一碳烯醛、焦糖味的 γ -丁内酯、肥皂味的2-庚酮和青豆味的2-戊基呋喃;在牛分割油和羊油中检出而未在牛腰肚油中检出的有:黄油味的1-戊烯-3-醇、清新味的壬酸、蘑菇味的戊基吡啶、爆米花味的戊基吡嗪和香脂味的苯乙烯。以上这些香气物质的差异形成3种油脂各自的香气特点。

从香气物质含量上看,在牛油和羊油的所有样品中,己醛(青草味)、庚醛(脂肪味)、壬醛(脂肪味)、辛醛(脂肪味)、(*E*)-2-壬烯醛(黄瓜味)、1-辛烯-3-醇(蘑菇味)和乙酸(酸味)等化合物的含量普遍较高。各样品中,具有动物油脂、青草味以

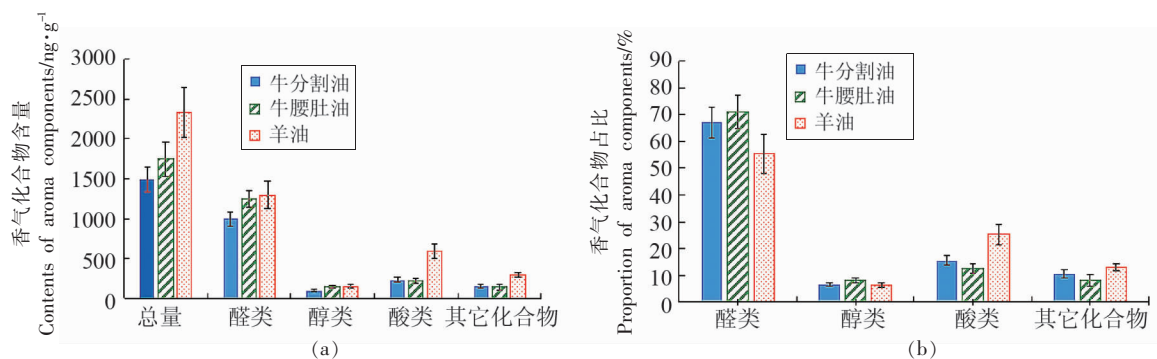


图4 9个牛分割油、6个牛腰肚油和5个羊油香气成分含量(a)和香气物质占比(b)

Fig.4 Contents(a) and proportion(b) of aroma components among 9 beef split tallow, 6 beef kidney tallow and 5 mutton tallow

表 4 牛分割油样品的 GC-O-MS 分析

化合物信息		含量/ng·g ⁻¹					
名称	RI	气味	F1	F2	F3	F4	F5
醛类化合物							
己醛	1 072	青草味	47.23 ± 2.577	102.3 ± 4.242	54.69 ± 3.516	201.8 ± 4.626	344.4 ± 33.53
庚醛	1 179	脂肪味	52.33 ± 2.486	-	102.0 ± 21.37	195.1 ± 3.795	377.2 ± 24.18
(E)-2-己烯醛	1 211	清新味	5.269 ± 0.4083	-	6.822 ± 0.9057	40.03 ± 8.251	71.42 ± 5.247
辛醛	1 285	脂肪味	38.87 ± 2.994	-	99.02 ± 0.4837	175.4 ± 15.26	370.4 ± 18.52
(E)-2-庚烯醛	1 319	脂肪味	-	77.17 ± 2.280	59.79 ± 2.449	121.0 ± 5.103	215.6 ± 7.530
壬醛	1 390	清新味	72.65 ± 7.027	132.8 ± 14.04	64.42 ± 2.945	276.9 ± 17.00	353.0 ± 17.67
(E)-2-辛烯醛	1 425	脂肪味	17.5-2157	25.00 ± 2.120	20.86 ± 0.3407	32.91 ± 1.808	113.9 ± 4.554
(E,E)-2,4-庚二烯醛	1 459	脂肪味	-	-	19.47 ± 0.8972	41.78 ± 1.657	35.80 ± 1.314
苯甲醛	1 515	杏仁味	-	-	48.88 ± 4.982	46.60 ± 2.240	28.35 ± 3.693
(E)-2-壬烯醛	1 531	清新黄瓜味	17.86 ± 1.369	-	39.48 ± 16.88	25.67 ± 1.338	97.95 ± 5.890
(E)-2-癸烯醛	1 639	动物脂肪味	33.10 ± 2.388	34.74 ± 6.497	20.35 ± 4.213	43.90 ± 5.703	127.8 ± 5.726
2-十一碳烯醛	1 746	甜味	9.748 ± 0.2448	27.15 ± 9.470	-	-	-
(E,E)-2,4-癸二烯醛	1 804	油炸味	10.27 ± 3.791	-	6.593 ± 3.235	-	-
丁醛	840	清新味	-	-	-	11.54 ± 0.3895	9.847 ± 1.257
2-甲基丁醛	891	杏仁味	4.396 ± 0.4541	-	-	42.52 ± 2.402	12.14 ± 0.9292
戊醛	962	杏仁味	10.22 ± 1.879	-	106.3 ± 10.41	93.44 ± 3.627	65.13 ± 13.09
(E)-2-丁烯醛	1 027	花香味	25.54 ± 0.2192	-	-	74.57 ± 26.99	-
(E)-2-戊烯醛	1 120	果香味	-	-	22.31 ± 0.9642	45.18 ± 0.2259	38.70 ± 2.707
醇类化合物							
1-戊烯-3-醇	1 154	黄油味	-	-	4.21 ± 4598	-	-
1-己醇	1 351	油脂味	6.694 ± 1.129	-	8.554 ± 0.6532	17.13 ± 0.9015	23.80 ± 2.316
1-辛烯-3-醇	1 448	蘑菇味	27.94 ± 1.237	-	-	25.8-9517	48.84 ± 0.9960
1-辛醇	1 556	清新味	-	46.23 ± 18.87	14.08 ± 3.423	-	-
1-戊醇	1 247	香味	6.232 ± 0.4867	-	16.34 ± 0.5671	55.76 ± 1.560	66.36 ± 5.424
壬醇	1 655	脂肪味	39.40 ± 6.287	71.55 ± 4.942	-	-	-
酯类化合物							
甲酸庚酯	1 454	清新味	7.39-3823	-	18.32 ± 1.705	41.80 ± 1.676	79.86 ± 1.895
γ-丁内酯	1 618	焦糖味	-	-	165.1 ± 59.16	-	-

(续表 4)

化合物信息							含量/ng·g ⁻¹					
名称	RI	气味	F1	F2	F3	F4	F5					
酸类化合物												
乙酸	1 441	酸味	140.1 ± 2.759	192.2 ± 11.24	685.5 ± 54.97	219.5 ± 12.59	194.5 ± 19.1					
壬酸	2 163	清新味	-	-	-	143.6 ± 82.79	-					
酮类化合物												
2-壬酮	1 386	清新味	-	-	19.47 ± 0.3075	-	10.48 ± 0.6935					
2-庚酮	1 180	肥皂味	32.28 ± 1.106	-	22.14 ± 2.101	57.14 ± 0.9829	37.76 ± 6.379					
杂环类化合物												
2-戊基呋喃	1 227	青豆味	10.27 ± 0.8793	-	25.14 ± 0.8152	-	-					
戊基吡啶	1 297	蘑菇味	-	-	2.271 ± 0.1612	-	13.06 ± 1.432					
甲基吡嗪	1 262	爆米花味	8.181 ± 0.1183	-	-	-	-					
2-乙基吡啶	1 277	青草味	-	-	9.138 ± 3.989	-	8.893 ± 3.545					
其它化合物												
苯乙烯	1 250	香脂味	3.663 ± 0.5129	-	-	-	-					
4-甲基苯酚	2 072	烟味	-	-	1.257 ± 0.6030	-	-					
二甲基砜	1 886	硫味	-	-	95.59 ± 0.9018	-	-					
化合物信息												
名称	RI	气味	F6	F7	F8	F9						
醛类化合物												
己醛	1 072	青草味	166.7 ± 19.49	77.29 ± 19.3	107.4 ± 0.8360	99.43 ± 34.25						
庚醛	1 179	脂肪味	261.5 ± 14.42	103.4 ± 3.268	152.2 ± 3.761	115.0 ± 28.94						
(E)-2-己烯醛	1 211	清新味	27.12 ± 1.204	-	33.1-6975	28.38 ± 0.1755						
辛醛	1 285	脂肪味	189.5 ± 2.421	84.44 ± 0.0721	138.1 ± 4.419	99.69 ± 4.612						
(E)-2-庚烯醛	1 319	脂肪味	93.70 ± 7.279	-	109.7 ± 5.924	108.8 ± 7.498						
壬醛	1 390	清新味	214.0 ± 13.26	176.2 ± 7.664	278.3 ± 19.08	169.8 ± 1.306						
(E)-2-辛烯醛	1 425	脂肪味	46.43 ± 2.213	32.54 ± 0.7318	45.78 ± 1.819	46.58 ± 2.337						
(E,E)-2,4-庚二烯醛	1 459	脂肪味	16.67 ± 2.797	-	30.41 ± 2.771	38.45 ± 3.110						
(E)-2-壬烯醛	1 531	清新黄瓜味	51.56 ± 6.451	-	34.51 ± 7.588	87.64 ± 3.493						
(E)-2-癸烯醛	1 639	动物脂肪味	60.08 ± 11.89	46.38 ± 6.802	91.79 ± 13.32	47.55 ± 1.475						
2-十一碳烯醛	1 746	甜味	43.62 ± 3.048	-	-	-						
(E,E)-2,4-癸二烯醛	1 804	油炸味	16.80 ± 2.159	-	29.73 ± 3.294	-						
2-甲基丁醛	891	杏仁味	10.28 ± 0.8635	7.716 ± 2.878	-	5.642 ± 2.475						
戊醛	962	杏仁味	35.85 ± 14.70	-	28.03 ± 0.6599	32.27 ± 8.593						

(续表 4)

化合物信息		含量/ng·g ⁻¹						
名称	RI	气味	F6	F7	F8	F9	F9	
(E)-2-丁烯醛	1 027	花香味	-	-	-	46.21 ± 5.329		
(E)-2-戊烯醛	1 120	果香味	24.38 ± 3.759	-	11.68 ± 0.9507	18.30 ± 2.096		
醇类化合物								
1-己醇	1 351	油脂味	16.61 ± 0.8865	-	18.58 ± 1.947	17.43 ± 5.663		
1-辛烯-3-醇	1 448	蘑菇味	17.27 ± 0.9725	-	62.47 ± 4.219	45.84 ± 5.904		
1-辛醇	1 556	清新味	41.23 ± 0.4541	-	58.71 ± 2.735	-		
1-戊醇	1 247	香脂味	27.65 ± 1.454	29.37 ± 3.725	44.04 ± 2.854	45.05 ± 13.78		
十二烷醇	1 990	脂肪味	-	-	-	-		
酯类化合物								
甲酸庚酯	1 454	清新味	39.83 ± 1.501	-	55.52 ± 0.4619	40.20 ± 1.670		
γ-丁内酯	1 618	焦糖味	38.26 ± 5.727	-	-	-		
酸类化合物								
乙酸	1 441	酸味	310.7 ± 20.85	-	108.6 ± 0.4268	96.94 ± 23.22		
酮类化合物								
2-壬酮	1 386	清新味	-	-	3.410 ± 0.2932	-		
2-庚酮	1 180	肥皂味	28.07 ± 4.089	38.21 ± 5.184	-	21.96 ± 3.748		
杂环类化合物								
2-戊基呋喃	1 227	青豆味	79.46 ± 9.803	286.7 ± 28.81	65.65 ± 4.827	-		
戊基吡啶	1 297	蘑菇味	8.918 ± 0.9755	-	20.98 ± 0.2016	-		
2-乙基呋喃	934	甜味	6.903 ± 0.4102	-	2.084 ± 0.1613	-		
甲基吡嗪	1 262	爆米花味	-	2.523 ± 0.3567	-	-		

表 5 牛腰肚油样品的 SPME-GC-MS 分析

化合物信息		含量/ng·g ⁻¹						
名称	RI	气味	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
醛类化合物								
己醛	1 072	青草味	243.0 ± 39.58	185.7 ± 17.89	190.9 ± 5.555	557.5 ± 39.43	248.8 ± 37.78	125.0 ± 6.800
庚醛	1 179	脂肪味	179.4 ± 44.13	188.3 ± 13.82	174.4 ± 9.717	356.1 ± 1.103	217.0 ± 37.69	81.84 ± 14.11
(E)-2-己烯醛	1 211	清新味	34.34 ± 5.526	34.20 ± 6.469	-	130.4 ± 11.16	-	18.38 ± 2.048
辛醛	1 285	脂肪味	103.7 ± 2.974	149 ± 8.652	125.6 ± 2.376	504.0 ± 12.48	125.8 ± 9.420	49.14 ± 1.708
(E)-2-庚烯醛	1 319	脂肪味	-	122.1 ± 10.26	115.8 ± 1.382	-	135.6 ± 11.83	-
壬醛	1 390	清新味	127.6 ± 5.293	135.9 ± 5.129	211.5 ± 4.635	307.4 ± 6.828	179.7 ± 2.209	49.33 ± 6.719

(续表 5)

化合物信息		含量/ng·g ⁻¹							
名称	RI	气味	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	
(E)-2-辛烯醛	1 425	脂肪味	32.86 ± 0.5045	39.02 ± 2.372	38.24 ± 1.104	136.7 ± 1.531	42.29 ± 1.545	18.03 ± 2.883	
(E,E)-2,4-庚二烯醛	1 459	脂肪味	39.92 ± 2.06	33.04 ± 3.235	26.4 ± 2.69	80.11 ± 2.813	19.83 ± 2.754	16.60 ± 4.034	
苯甲醛	1 515	杏仁味	-	-	26.53 ± 4.216	-	28.24 ± 0.2679	-	
(E)-2-壬烯醛	1 531	清新黄瓜味	21.92 ± 1.485	50.11 ± 13.60	33.97 ± 2.23	125.5 ± 0.4037	18.0-1.645	29.29 ± 7.527	
(E)-2-癸烯醛	1 639	动物脂肪味	-	27.60 ± 2.762	48.18 ± 2.006	-	30.66 ± 5.831	-	
2-十一碳烯醛	1 746	甜味	-	17.37 ± 0.3339	20.12 ± 4.791	-	24.14 ± 2.429	-	
(E,E)-2,4-癸二烯醛	1 804	油炸味	9.004 ± 0.5054	-	-	38.87 ± 1.493	-	4.826 ± 0.9017	
戊醛	962	杏仁味	54.66 ± 14.87	49.79 ± 6.039	-	131.6 ± 15.61	-	31.94 ± 1.500	
(E)-2-丁烯醛	1 027	花香味	48.68 ± 9.784	-	91.65 ± 4.202	153.2 ± 66.17	127.7 ± 14.55	63.75 ± 11.68	
(E)-2-戊烯醛	1 120	果香味	67.75 ± 10.99	46.77 ± 2.144	-	221.3 ± 25.61	-	21.91 ± 2.305	
醇类化合物									
1-己醇	1 351	油脂味	20.82 ± 3.550	14.94 ± 1.475	17.24 ± 1.024	69.39 ± 2.259	16.75 ± 1.942	7.906 ± 0.3671	
1-辛醇-3-醇	1 448	蘑菇味	37.88 ± 9.219	35.17 ± 3.640	40.17 ± 0.6421	100.7 ± 18.27	62.28 ± 1.460	20.90 ± 5.217	
1-辛醇	1 556	清新味	-	-	45.37 ± 3.616	-	34.16 ± 0.4069	-	
1-戊醇	1 247	香味	75.15 ± 10.31	49.23 ± 4.025	-	167.0 ± 10.18	-	30.72 ± 2.201	
壬醇	1 655	脂肪味	-	-	1.615 ± 0.0357	-	1.569 ± 0.1363	-	
酯类化合物									
甲酸庚酯	1 454	清新味	35.99 ± 2.775	30.77 ± 1.025	-	122.0 ± 3.948	-	13.43 ± 0.2595	
γ-丁内酯	1 618	焦糖味	82.14 ± 15.66	45.57 ± 2.867	-	59.03 ± 11.05	-	49.16 ± 20.76	
酸类化合物									
乙酸	1 441	酸味	319.0 ± 85.29	365.0 ± 15.74	67.4 ± 10.32	154.2 ± 20.46	71.85 ± 15.49	348.5 ± 48.91	
酮类化合物									
2-壬酮	1 386	清新味	-	-	6.193 ± 0.4461	-	4.463 ± 0.4078	-	
1-戊烯-3-酮	1 009	鱼腥味	14.87 ± 3.224	7.086 ± 2.416	-	19.58 ± 6.524	-	4.504 ± 0.5913	
2-庚酮	1 180	肥皂味	-	26.77 ± 3.123	-	-	-	-	
杂环类化合物									
2-戊基咪喃	1 227	青豆味	-	28.95 ± 2.924	-	-	-	-	
2-乙基咪喃	934	甜味	5.499 ± 0.8415	4.564 ± 0.3703	1.191 ± 0.3459	12.90 ± 3.549	-	5.780 ± 1.278	
2-乙基吡啶	1 277	青草味	23.21 ± 2.123	12.16 ± 5.12	-	10.44 ± 0.05769	-	9.756 ± 3.013	
其它化合物									
4-甲基苯酚	2 072	烟味	10.76 ± 0.7789	21.05 ± 0.7512	-	1.911 ± 0.1334	-	45.17 ± 8.100	
二甲基砷	1 886	硫味	96.24 ± 5.623	51.37 ± 6.584	-	38.87 ± 1.493	-	5.261 ± 0.8510	

表6 羊油样品的 GC-O-MS 分析
Table 6 The GC-O-MS result of mutton tallow samples

化合物信息		含量/(ng·g ⁻¹)					
名称	RI	气味	YYD1	YYD2	YYD3	YYD4	YYD5
醛类化合物							
己醛	1 072	青草味	-	91.75 ± 4.364	198.0 ± 59.57	196.5 ± 11.68	195.1 ± 0.6173
庚醛	1 179	脂肪味	47.44 ± 4.414	209.3 ± 4.354	269.5 ± 37.29	146.0 ± 7.045	482.5 ± 98.37
(E)-2-己烯醛	1 211	清新味	-	19.82 ± 2.248	35.56 ± 6.810	16.41 ± 4.0663	36.69 ± 10.54
辛醛	1 285	脂肪味	18.14 ± 1.253	-	206.4 ± 45.91	-	137.0 ± 3.249
(E)-2-庚烯醛	1 319	脂肪味	35.12 ± 8.524	-	1 181 ± 99.07	-	1335 ± 215.1
壬醛	1 390	清新味	40.05 ± 8.851	100.8 ± 6.419	193.5 ± 41.18	130.2 ± 21.06	132.5 ± 16.78
(E)-2-辛烯醛	1 425	脂肪味	2.405 ± 0.0466	10.24 ± 1.183	49.74 ± 9.623	33.76 ± 0.4317	32.70 ± 5.696
(E,E)-2,4-庚二烯醛	1 459	脂肪味	17.76 ± 3.169	-	295.6 ± 37.25	-	257.40 ± 42.10
苯甲醛	1 515	杏仁味	48.24 ± 4.076	-	42.17 ± 6.112	-	70.71 ± 6.932
(E)-2-癸烯醛	1 639	动物脂肪味	23.98 ± 5.054	19.03 ± 0.5393	-	25.57 ± 2.004	-
(E,E)-2,4-壬二烯醛	1 696	脂肪味	2.305 ± 0.1851	8.484 ± 0.7305	41.06 ± 8.943	21.37 ± 0.2143	16.59 ± 0.7598
醇类化合物							
1-戊烯-3-醇	1 154	黄油味	37.75 ± 3.387	-	-	-	-
1-己醇	1 351	油脂味	32.23 ± 1.392	-	31.01 ± 7.281	-	48.16 ± 1.861
1-辛烯-3-醇	1 448	蘑菇味	-	47.62 ± 21.80	-	140.6 ± 16.05	-
1-辛醇	1 556	清新味	-	-	35.39 ± 6.596	-	26.93 ± 0.1288
1-戊醇	1 247	香味	4.716 ± 0.4646	45.66 ± 0.6836	66.80 ± 18.73	55.69 ± 2.038	66.77 ± 0.2037
壬醇	1 655	脂肪味	-	-	-	-	116.44 ± 11.44
酯类化合物							
甲酸庚酯	1 454	清新味	-	28.30 ± 3.119	-	32.93 ± 3.041	-
酸类化合物							
乙酸	1 441	酸味	-	292.5 ± 13.74	1 114 ± 328.8	71.18 ± 1.284	1 462 ± 104.0
壬酸	2 163	清新味	4.653 ± 0.2902	-	-	-	-
酮类化合物							
2-壬酮	1 386	清新味	5.949 ± 1.571	2.853 ± 0.5187	16.78 ± 4.277	10.66 ± 0.9107	6.745 ± 0.6664
十一酮	1 596	清新味	2.602 ± 0.000	30.33 ± 3.051	-	36.08 ± 5.775	-
二氢-5-辛基-2(3H)-呋喃酮	2 371	甜味	3.838 ± 1.224	-	219.3 ± 46.41	-	88.19 ± 2.647
杂环类化合物							
戊基吡啶	1 297	蘑菇味	-	-	16.10 ± 2.333	-	12.21 ± 1.509

(续表 6)

名称	化合物信息					含量/(ng·g ⁻¹)	
	RI	气味	YYD1	YYD2	YYD3		YYD4
甲基吡嗪	1 262	爆米花味	17.81 ± 1.532	-	-	-	-
2-乙基吡啶	1 277	青草味	-	-	39.15 ± 7.471	-	29.75 ± 3.271
其它化合物							
苯乙烯	1 250	香脂味	10.31 ± 1.408	-	-	12.45 ± 0.3865	-
4-甲基苯酚	2 072	烟味	-	-	142.8 ± 33.02	-	90.73 ± 1.736
二甲基醚	1 886	硫味	646.4 ± 32.13	-	-	-	-

及坚果等香味的醛类物质种类最为丰富,其次是酸类、酮类和醇类。牛分割油、牛腰肚油和羊油中不同类型香气物质的含量和占比如图 4 所示。由图 4a 可知,羊油的香气物质总含量大于牛油,与电子鼻分析中牛油整体信号响应值最大一致;醛类化合物、醇类化合物和牛分割油相比,牛腰肚油香气物质总含量更高;醛类、醇类和其它化合物都较牛分割油高。牛分割油的酸类化合物含量比牛腰肚油高。由图 4b 可知,醛类化合物在牛油和羊油所含香气物质中占比均高于其它各类化合物的占比,其中,牛腰肚油的醛类化合物占比最高;醇类化合物在牛腰肚油中相对占比更高;酸类化合物在羊油香气中占比高于牛油;其它化合物在羊油中占比稍高,与牛分割油相差无几,在牛腰肚油中含量较低。

2.5 基于 GC-MS 数据的 OPLS-DA 分析

对 20 个牛、羊油样品的 GC-MS 数据进行正交偏最小二乘判别分析 (Orthogonal partial least-squares discrimination analysis, OPLS-DA), 结果如图 5 所示。通过 OPLS-DA, 牛分割油、牛腰肚油和牛油各自聚成一类。牛分割油大部分集中在第 1 象限, 牛腰肚油全部分布在第 4 象限, 牛油大部分分布在第 3 象限。牛腰肚油分布较为集中, 而其它两种油分布分散, 推测其原因为: 牛分割油是肥肉、肥膘、皮下脂肪, 带有血水和未剔除干净瘦肉等混合在一起得到的牛油, 其构成复杂多样, 风味差异较大。牛油样品的部位不像牛油有严格的区分, 因此风味

差异也较大^[9]。牛腰肚油脂肪构成单一, 由牛腰肚部位的整块脂肪提炼而成, 因此风味特点较为集中。

结合表 4~6 可知, 牛分割油中, F5 样品中的庚醛(清新味)含量最高, 达 377.2 ng/g, F2 和 F7 样品中香气化合物含量最少, 许多种类香气化合物未被检出。牛腰肚油中, Y4 样品中的壬醛(清新味)含量最高, 为 557.5 ng/g。羊油中, YYD5 样品中的壬醛含量最高, 为 482.5 ng/g。在 YYD3 与 YYD5 样品中, 酸味化合物乙酸含量高于其它样品。只有

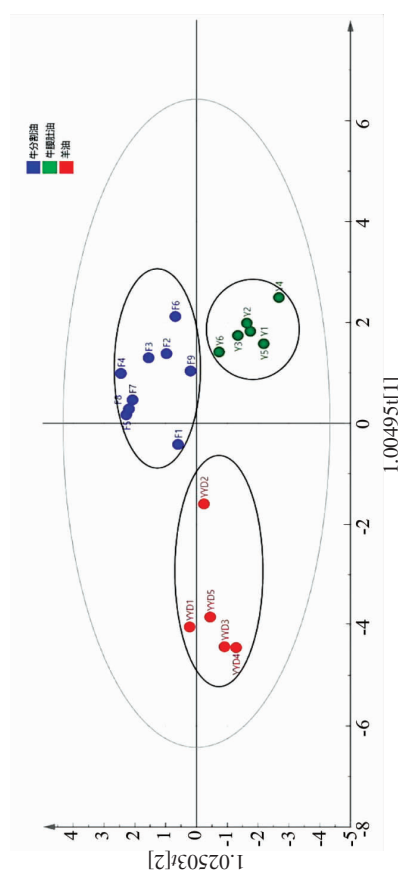


图 5 基于牛油、羊油的 GC-MS 香气物质分析结果的 OPLS-DA 分析
Fig.5 Orthogonal partial least-squares discrimination analysis of beef tallow and mutton tallow samples based on gas chromatograph-mass spectrometer

YYD1 样品中含有壬酸, 而其它样品中均只包含乙酸(酸味)。在 F4、F5、F6、F8、F9、Y1、Y2、Y3、Y4、Y5、YYD3 和 YYD5 12 个样品中, 脂肪味的庚醛、辛醛、(*E*)-2-庚烯醛、(*E*)-2-辛烯醛、(*E,E*)-2,4-庚二烯醛和 (*E*)-2-癸烯醛等 6 个醛的含量高于其它样品。

3 结论

经电子鼻和 GC-O-MS 法分析, 发现牛腰肚油、牛分割油和羊油样品中香气成分存在差异。电子鼻结合 LDA 分析和 GC-MS 结合 OPLS 分析是区分牛分割油、牛腰肚油和羊油中香气成分差异的两种快速检测方法。采用 GC-O-MS 技术从牛分割油、牛腰肚油和羊油中共检出 39 种可被嗅闻的香气物质。其中, 24 种香气物质在 3 种油脂中共有, 构成其香气的基本构成。牛分割油特有的香气成分为: 清新味的丁醛和脂肪味的十二烷醇; 牛腰肚油被检出独有的香气成分有: 鱼腥味的 1-戊烯-3-酮和甜味的 2-乙基呋喃; 羊油中特有的香气成分有脂肪味的 (*E,E*)-2,4-壬二烯醛、清新味的十一酮和甜味的二氢-5-辛基-2(3H)-呋喃酮。

参 考 文 献

- [1] 王家升, 张慧, 丁秀臻, 等. 食用牛油的制备及深加工技术综述[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(5): 32-36.
WANG J S, ZHANG H, DING X Z, et al. Overview of extracting and deep processing of edible beef tallow[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2017, 25(5): 32-36.
- [2] HUI Y H. 贝雷: 油脂化学与工艺学[M]. 5 版. 徐生庚, 裘爱泳译. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 159-160.
HUI Y H. Bailey's industrial oil and fat product[M]. 5ed. Beijing: China Light Industry Press, 2001: 159-160.
- [3] XU L R, YU X Z, LI M J, et al. Monitoring oxidative stability and changes in key volatile compounds in edible oils during ambient storage through HS-SPME/GC-MS[J]. International Journal of Food Properties, 2018, 20: 1-13.
- [4] 胡丽香. 老火锅牛油关键香气成分分析和品质控制研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2020.
- HU L X. Analysis of key aroma compounds of beef tallow for Chongqing old hotpot and its quality control[D]. Beijing: Beijing Technology and Business University, 2020.
- [5] 冯伟玲. 牛油特征性风味化合物筛选及品质质量控制研究[D]. 成都: 西华大学, 2018.
FENG W L. Screening the characteristic flavor compounds of tallow and quality control[D]. Chengdu: Xihua University, 2018.
- [6] 陈雅琪, 李建成, 舒适, 等. 牛油调和煎炸油的开发及煎炸性能研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(10): 16-21.
CHEN Y Q, LI J C, SHU S, et al. Development and frying performance of butter blend oil for frying[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(10): 16-21.
- [7] 周石洋. 精制牛油生产工艺研究[J]. 粮油食品科技, 2011, 19(5): 30-32.
ZHOU S Y. Research on refining tallow[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2011, 19(5): 30-32.
- [8] 黄玉坤, 田红媚, 陈芳, 等. 三种香型食用牛油的挥发性风味物质分析及鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(3): 196-205.
HUANG Y K, TIAN H M, CHEN F, et al. Analysis and identification of volatile compounds in three types of edible tallow[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(3): 196-205.
- [9] 齐安安, 马灵飞, 雷春妮, 等. MassworksTM 结合 NIST11 谱库在羊油香气成分准确定性分析中的应用[J]. 质谱学报, 2019(2): 167-176.
QI A A, MA L F, LEI C N, et al. Application of MassworksTM combined NIST11 library to qualitative analysis of aroma components in goat oil[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2019(2): 167-176.
- [10] 林喆, 韦仕静, 姚崇, 等. 不同牛油油脂评价及成分分析[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(2): 83-90.
LIN Z, WEI S J, YAO C, et al. Evaluation and composition analysis of different tallows[J]. China Food Additives, 2021, 32(2): 83-90.
- [11] 吴肖, 孔令会, 赵园园. 牛油氧化对牛肉风味形成的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(14): 71-74, 81.
WU X, KONG L H, ZHAO Y Y. Study on synthesis of beef flavor by Maillard reaction using oxidized

- tallow[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(14): 71-74, 81.
- [12] 张杰, 薛艳霞, 李昌禹, 等. 火锅底料中两种动物油脂的风味与感官特性对比研究[J]. *中国调味品*, 2020, 45(8): 16-19, 30.
- ZHANG J, XUE Y X, LI C Y, et al. Comparative study on the flavor and sensory characteristics of two animal oils in hotpot seasoning[J]. *China Condiment*, 2020, 45(8): 16-19, 30.
- [13] PERSAND K, DODD G. Analysis of discrimination, mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose[J]. *Nature*, 1982, 299: 352-355.
- [14] PENZA M, CASSANO G, TORTORELLA F, et al. Classification of food, beverages and perfumes by WO 3 thin-film sensors array and pattern recognition techniques [J]. *Sensors and Actuators*, 2001, 73: 76-87.
- [15] 孙钟雷. 电子鼻技术在猪肉新鲜度识别中的应用[J]. *肉类研究*, 2008(2): 50-53.
- SUN Z L. Application of electronic nose technology in pork freshness recognition [J]. *Meat Research*, 2008(2): 50-53.
- [16] 卞瑞姣, 曹荣, 赵玲, 等. 电子鼻在秋刀鱼鲜度评定中的应用[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(1): 243-247, 260.
- BIAN R J, CAO R, ZHAO L, et al. Application of the electronic nose for assessing the freshness of *Cololabis saira*[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2017, 33(1): 243-247, 260.
- [17] WOJNOWSKI W, MAJCHRZAK T, DYMERSKI T, et al. Electronic noses: powerful tools in meat quality assessment[J]. *Meat Science*, 2017, 131: 119-131.
- [18] 张迪雅, 谢丹婷, 李晔. 应用电子鼻和 GC-MS 比较牛肉不同部位的挥发性物质组成[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(21): 241-246.
- ZHANG D Y, XIE D T, LI Y. Comparison of volatile components in different parts of beef by electronic nose and GC-MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(21): 241-246.
- [19] 王靖, 李璐, 王佳奕, 等. 电子鼻结合气相色谱-质谱法对宁夏小尾寒羊肉中鸭肉掺假的快速检测[J]. *食品科学*, 2017, 38(20): 222-228.
- WANG Q, LI L, WANG J Y, et al. Rapid detection of Ningxia small-tailed han sheep meat adulterated with duck by electronic nose combined with GC-MS[J]. *Food Science*, 2017, 38(20): 222-228.
- [20] 周秀丽, 刘全, 查恩辉. 电子鼻在掺假牛肉馅识别中的应用[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(4): 73-76, 80.
- ZHOU X L, LIU Q, ZHA E H. Recognition of yak meat, beef and pork by electronic nose[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(4):73-76, 80.
- [21] FULLER G H, STELTENKAMP R, TISSERAND G A. The gas chromatograph with human sensor: perfumer model[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1964, 116: 711-724.
- [22] SONG H, LIU J. GC-O-MS technique and its applications in food flavor analysis[J]. *Food Research International*, 2018, 114: 187-198.
- [23] 杨帆, 陈尔豹, 牛晓媛, 等. GC-O-MS 分析热处理前后西瓜汁挥发性风味成分[J]. *食品科学技术学报*, 2020, 38(3): 35-42.
- YANG F, CHEN E B, NIU X Y, et al. Effect of heat treatment on volatile flavor components of watermelon juice by GC-O-MS analysis[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2020, 38(3): 35-42.
- [24] 李泽霞, 姜东明, 单凌晓, 等. GC-O-MS 对白酒中的糠味物质的研究[J]. *酿酒*, 2020, 47(1): 44-50.
- LI Z X, JIANG D M, SHAN L X, et al. Research on rice husk-like odor in Baijiu by GC-O-MS[J]. *Liquor Making*, 2020, 47(1): 44-50.
- [25] WEI C Q, LIU W Y, XI W P, et al. Comparison of volatile compounds of hot-pressed, cold-pressed and solvent-extracted flaxseed oils analyzed by SPME-GC/MS combined with electronic nose: Major volatiles can be used as markers to distinguish differently processed oils.[J]. *European Journal of Lipid Science & Technology*, 2015(3): 320-330.
- [26] 孟宗. 酯交换法改善牛油基起酥油起砂的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- MENG Z. Improving sandiness of beef tallow-based shortening by chemical interesterification [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.

The Aroma Difference in Beef Tallow and Mutton Tallow Analyzed by GC-O-MS Combined with Electronic Nose

Bao Xinyu¹, Wang Lijin^{1*}, Song Huanlu¹, Yang Lixue², Guan Lili², Wang Qiaojun²

(¹Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives, Beijing Technology & Business University (BTBU), Beijing 100048

²Guanghan Maidele Food Co., Ltd., Guanghan 618300, Sichuan)

Abstract On the market, there is a non-standardized phenomenon of adding mutton tallow into the beef tallow to pretend to be pure beef tallow, and there is no effective method to distinguish beef tallow and mutton tallow now. In this study, beef tallow and mutton tallow were differentiated by aroma difference. The aroma of 9 beef split tallow, 6 beef kidney tallow and 5 mutton tallow were analyzed and compared using electronic nose technology and gas chromatograph-olfactometry-mass spectrometer (GC-O-MS). The results of electronic nose combined with linear discriminant analysis (LDA) showed that beef kidney tallow, beef spilt tallow and mutton tallow could be separated into three classes. A total of 39 aroma compounds, including alcohols, esters, ketones, acids, aldehydes, and other compounds, were identified by GC-O-MS. Orthogonal partial least-squares discrimination analysis (OPLS-DA) showed that beef kidney tallow, beef spilt tallow and mutton tallow could be distinguished by their aroma. This study can provide reference for the flavor quality control and the establishment of market standard of beef tallow.

Keywords beef tallow; mutton tallow; aroma; electronic nose; gas chromatograph-olfactometry-mass spectrometer (GC-O-MS)