

川渝火锅用牛油关键风味物质的鉴定

尤悦¹, 王俏君², 秦雅丽¹, 杨礼学², 张逸人¹, 张晖¹, 吴港城¹, 王兴国¹

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡214122; 2. 广汉市迈德乐食品有限公司, 四川德阳618000)

摘要:旨在为不同风味需求火锅底料的研究提供参考依据,通过消费者偏好分析和挥发性风味成分的含量与种类从6种牛油(3种市售牛油、未精炼牛油、脱胶牛油、精炼牛油)中筛选出最受消费者喜爱的牛油,并采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术、香味提取物稀释分析法、气味活度值法、风味重组和风味缺失实验对其风味物质进行鉴定。结果表明:精炼牛油的消费者偏好平均得分最高且挥发性物质组成最丰富,其含有23种风味物质,包括醛类10种、酸类5种、杂环类4种、醇类3种和酮类1种;根据牛油风味物质的气味活度值,确定牛油的7种关键风味物质为(*E,E*)-2,4-壬二烯醛、(*E*)-2-辛烯醛、乙酸、2-戊基吡啶、辛醛、1-辛烯-3-醇和2-戊基呋喃,通过风味重组和风味缺失实验得出(*E,E*)-2,4-壬二烯醛、(*E*)-2-辛烯醛、乙酸和辛醛对牛油风味的贡献最大,2-戊基吡啶、1-辛烯-3-醇和2-戊基呋喃对牛油风味的贡献次之。综上,确认了牛油中7种关键风味物质,可为牛油产品风味的合理开发提供参考。

关键词:川渝火锅;牛油风味;分子感官科学;关键风味物质

中图分类号:TQ646;TS225.2 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)09-0133-06

Identification of key flavour substances of beef tallow used in Sichuan - Chongqing hotpot

YOU Yue¹, WANG Qiaojun², QIN Yali¹, YANG Lixue², ZHANG Yiren¹, ZHANG Hui¹, WU Gangcheng¹, WANG Xingguo¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China; 2. Guanghan Maidele Food Co., Ltd., Deyang 618000, Sichuan, China)

Abstract: In order to establish a foundation for researching the diverse flavour requirements of substances in hotpot bases, six types of beef tallow (three types of commercially available beef tallow, unrefined beef tallow, degummed beef tallow, and refined beef tallow) were used as materials, the most popular beef tallow was selected based on customer preference analysis and the content and type of volatile flavour components, and the flavour substances of the most popular beef tallow were identified using headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, dilution analysis of flavour extracts, odour activity values, flavour reconstitution and flavour deletion experiments. The results indicated that refined beef tallow received the highest average score in the consumer preference analysis and had the most substantial chemical composition with 23 volatile substances including 10 kinds aldehydes, 5 kinds acids, 4 kinds heterocyclic, 3 kinds alcohols and 1 kind ketone compounds. Based on the odour activity values of beef tallow flavour substances, 7 kinds key flavour substances of beef tallow were identified as (*E,E*)-2,4-nonadienal, (*E*)-2-octenal, acetic acid, 2-pentylpyridine,

octanal, 1-octen-3-ol and 2-pentylfuran. Flavour reconstitution and deletion experiments showed that (*E,E*)-2,4-nonadienal, (*E*)-2-octenal, acetic acid and octanal contributed the most to beef tallow flavour, followed by 2-pentylpyridine, 1-octen-3-ol and 2-

收稿日期:2023-03-14;修回日期:2024-04-30

基金项目:国家重点研发计划资助(2021YFD2100303)

作者简介:尤悦(2003),女,在读本科,食品科学与工程专业(E-mail)1012210516@stu.jiangnan.edu.cn。

通信作者:吴港城,副教授,博士(E-mail)gangcheng.wu@jiangnan.edu.cn。

pentylfuran. In conclusion, the 7 kinds key flavour substances are determined in the beef tallow, which can provide a reference for the rational development of beef tallow product flavours.

Key words: Sichuan – Chongqing hotpot; beef tallow flavour; molecular sensory science; key flavour substances

火锅是我国独创的美食,而川渝火锅在所有火锅餐饮中位居首位,深受消费者喜爱。火锅的特色风味主要来源于火锅底料中的油脂及香料,因此火锅底料中油脂的口感、风味等会直接影响火锅的品质。牛油因其独特的风味而被广泛用作火锅用油^[1]。牛油的熬制温度通常在 150 °C 左右,这一温度下,脂肪、蛋白质、糖类之间会发生复杂剧烈的反应(如脂肪氧化、肽和氨基酸的降解、美拉德反应等),生成硫化物、酯类、酮类、醛类化合物等挥发性风味物质,赋予牛油独特的风味与香气。

分子感官科学是分析化学、感官评价科学多学科交叉的系统科学,它的核心内容是在分子水平上定性、定量和描述风味,精确构建食品的风味重组物,该方法在牛油和火锅底料中也有所应用。王丽金等^[2]使用分子感官科学的概念和手段,通过气相-嗅闻-质谱法(GC-O-MS)明确了牛不同部位脂肪所制牛油中的关键风味物质。Sun 等^[3]收集了 4 种市售牛油火锅底料,通过分子感官科学手段分析了其牛油部分的关键风味物质,得出 2-糠硫醇、2-乙酰噻唑、茴香脑、(E)-2-癸烯醛和 1,8-桉叶素是火锅底料所含牛油中的关键风味物质。目前对于牛油关键风味物质的探究主要针对不同原料所制牛油以及适宜做牛肉香精的牛油,对火锅用牛油的关键风味物质研究较少。本文通过消费者偏好分析和对牛油中挥发性物质的组成及含量测定,从 6 种牛油(3 种市售牛油、未精炼牛油、脱胶牛油、精炼牛油)中筛选出得分最高和挥发性物质最丰富的样品,采用香味提取物稀释分析(AEDA)法和气味活度值(OAV)法对牛油中挥发性物质进行分析,确定牛油的关键风味物质,并通过风味重组和风味缺失实验进一步研究各物质对风味的贡献,以期对火锅用牛油的关键风味物质研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

市售 3 种品牌牛油、未精炼牛油、脱胶牛油、精炼牛油,广汉市迈德乐食品有限公司;葵花籽油,购自天猫超市;2-戊基呋喃、辛醛、(E)-2-辛烯醛、乙酸、1-辛烯-3-醇、(E)-2-十二烯醛、(E)-2-壬烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、癸醛、2-戊基

吡啶、(E,E)-2,4-壬二烯醛、苯甲醇标准品,百灵威科技有限公司;正构烷烃(C8~C40),美国西格玛公司。

DVB/CAR/PDMS 固相微萃取纤维头(50/30 μm),美国色谱科公司;GCMS QP2010 Ultra 气相色谱-质谱联用仪,日本岛津仪器有限公司;OP 275 型嗅闻端口嗅辨仪,日本 GL 科技公司。

1.2 实验方法

1.2.1 牛油的消费者偏好分析

3 种市售牛油以及未精炼牛油、脱胶牛油、精炼牛油依次记为牛油 A~F,采用 9 点快感标度法进行偏好实验。将样品在 60 °C 水浴中预热熔化,30 名感官评价员(年龄 20~30 岁,男女各半,嗅觉正常)分别嗅闻已熔化的样品,然后按照本人对 6 种样品的喜爱程度,在“极其讨厌”“非常讨厌”“一般讨厌”“有点讨厌”“既不喜欢也不讨厌”“有点喜欢”“一般喜欢”“非常喜欢”“极其喜欢”9 个选项中选择最能描述自己感受的选项,分别计为 1~9 分。

1.2.2 牛油中挥发性风味成分测定

采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱-质谱(GC-MS)技术对牛油中挥发性成分进行测定。

HS-SPME 条件:称取 2.000 g 牛油于 20 mL 顶空瓶中,加入 20 μL 0.05 μg/μL 苯甲醇,加盖密封,置于 60 °C 水浴中平衡 10 min,插入萃取头,吸附萃取 30 min 后,将萃取头插入气相色谱进样口中,于 250 °C 下解吸 5 min,进行 GC-MS 分析。

GC 条件:DB-WAX 色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);升温程序为初始温度 40 °C,保持 3 min,以 5 °C/min 的速率升至 100 °C,再以 12 °C/min 的速率升至 230 °C,保持 12 min;载气为高纯氦气,流量 1.2 mL/min;进样口温度 250 °C。

MS 条件:EI 离子源,接口温度 250 °C,离子源温度 240 °C,电离电压 70 eV,扫描范围 33~450。

1.2.3 牛油中风味物质稀释因子的确定

采用 AEDA 法和 HS-SPME-GC-O-MS 对牛油的特征风味进行检测。样品进样后分别采用 1:1、1:2、1:4、1:8、1:16 的分流比对样品进行稀释,经过专业培训的评价员对经 GC-O 分析的每个稀

释度的样品进行评价,当3名评价员中至少有2名在同一嗅闻时间闻到某物质时,则该处记为有效。记录感官评价员闻到气味时的保留时间,并记录其对该处气味的描述。根据记录下的保留时间与MS图比较,对各特征风味物质的感官描述及稀释因子进行汇总。

1.2.4 牛油中关键风味物质分析

OAV法是一种评价挥发性物质对样品风味贡献程度的指标,其计算公式见式(1)。

$$V_A = C_i/T_i \quad (1)$$

式中: V_A 为OAV; C_i 为挥发性物质的含量,mg/kg; T_i 为挥发性物质在无味基质中的阈值,mg/kg。OAV越大,贡献越大,OAV大于或等于1的挥发性风味物质被认为是关键风味物质,对整体风味有显著贡献^[4]。

1.2.5 风味重组实验

按照定量分析结果在无味葵花籽油(已去除大部分杂质和风味物质)中复配牛油关键风味物质,制得重组样品。称取重组样品和牛油分别置于随机编号的封口瓶中,60℃下平衡10 min后待感官评定。

9名经过半年以上香气描述实验,熟悉牛油风味的感官评价员参与实验。经文献^[2,5]查阅和小组讨论,确定使用青香味、坚果味、酸臭味和蘑菇味为描述词,并对样品的总体风味强度予以评价。其中,青香味参考液含有辛醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、癸醛和(E)-2-十二烯醛,坚果味参考液含有(E,E)-2,4-壬二烯醛和(E)-2-辛烯醛,酸臭味参考液含有乙酸,蘑菇味参考液含有1-辛烯-3-醇和(E)-2-壬烯醛。感官评价标准如下:风味不可感知0分,风味能分辨出但很弱1分、较弱2分、明显3分、强烈4分、非常强烈5分。

1.2.6 风味缺失实验

缺失样品由无味的葵花籽油和缺失一种或几种牛油关键风味物质复配而成。使用三角实验,向测试者呈上3个编号的样品,请测试者选出不同的样品,将重组样品与缺失组样品进行比较分析,若结果显示二者具有显著性差异,则表明缺失的物质是关键风味物质。

1.2.7 数据处理

使用SPSS Statistics 26.0进行相关性分析与方差分析,使用Excel 2010和Origin 2021b绘图。

2 结果与讨论

2.1 6种牛油的消费者偏好分析

6种牛油的消费者偏好分析结果如图1所示。

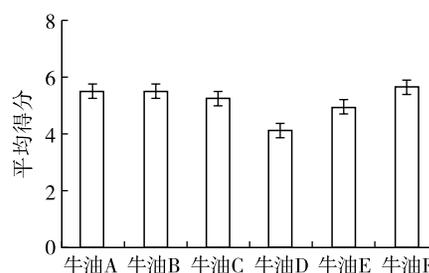


图1 6种牛油的消费者偏好分析

由图1可知,牛油F的平均得分最高,为5.70分,其次是牛油A和牛油B,平均得分均为5.57分,再次是牛油C,平均得分为5.30分。牛油E和牛油D得分较低,平均得分分别为4.93分和4.13分。相关性分析显示,牛油A、B、C、F平均得分无显著性差异,而牛油D和牛油E的平均得分显著低于其他牛油。

2.2 6种牛油中挥发性物质的组成及含量

6种牛油中挥发性物质的组成及含量如表1所示。

表1 6种牛油中挥发性物质的组成及含量

挥发性物质	mg/kg					
	牛油A	牛油B	牛油C	牛油D	牛油E	牛油F
醛类	10.40 ± 0.32 ^c	11.14 ± 0.26 ^c	15.60 ± 0.96 ^b	4.24 ± 0.03 ^d	12.44 ± 0.14 ^c	19.48 ± 1.00 ^a
酮类	0.50 ± 0.08 ^d	0.45 ± 0.04 ^d	1.41 ± 0.01 ^b	0.19 ± 0.05 ^e	1.14 ± 0.02 ^c	2.63 ± 0.05 ^a
醇类	1.46 ± 0.99 ^b	4.71 ± 0.84 ^a	6.04 ± 0.38 ^a	0.54 ± 0.03 ^b	1.29 ± 0.34 ^b	2.51 ± 0.29 ^b
酸类	11.73 ± 0.54 ^a	10.56 ± 0.91 ^a	7.72 ± 0.44 ^b	1.42 ± 0.23 ^d	4.99 ± 0.25 ^c	10.76 ± 0.45 ^a
酯类	0.83 ± 0.03 ^a	0.23 ± 0.01 ^{bc}	0.72 ± 0.23 ^a	0.02 ± 0.00 ^e	0.47 ± 0.08 ^{ab}	0.65 ± 0.04 ^a
吡嗪类	0.10 ± 0.01	-	0.08 ± 0.00	-	0.04 ± 0.00	0.14 ± 0.02
呋喃类	0.57 ± 0.04 ^{bc}	0.17 ± 0.00 ^d	1.21 ± 0.06 ^a	0.39 ± 0.02 ^c	0.54 ± 0.03 ^{bc}	0.77 ± 0.13 ^b
吡啶类	0.12 ± 0.01 ^{cd}	0.12 ± 0.01 ^{cd}	0.19 ± 0.03 ^c	0.02 ± 0.01 ^d	0.34 ± 0.03 ^b	0.78 ± 0.09 ^a
其他类	1.65 ± 0.12 ^b	1.94 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.02 ^e	0.02 ± 0.00 ^e	0.43 ± 0.01 ^d	0.71 ± 0.12 ^c
总含量	27.35 ± 0.25 ^d	29.31 ± 0.33 ^c	33.04 ± 0.71 ^b	6.84 ± 0.11 ^f	21.65 ± 0.19 ^e	38.44 ± 0.32 ^a
物质种类数	59	55	50	51	61	63

注:同行不同字母表示具有显著性差异($p < 0.05$)

由表 1 可知,6 种牛油样品中检测出的挥发性物质种类多样,按其结构分为 9 大类,包括醛类、酮类、醇类、酸类、酯类、吡嗪类、呋喃类、吡啶类及其他类。牛油 A~F 检测出的挥发性物质种类数在 50~63 之间,含量范围在 6.84~38.44 mg/kg 之间,呈现出显著性差异($p < 0.05$)。挥发性物质最丰富的是牛油 F,不仅检出物质种类最多,挥发性物质总含量也最高。牛油 D 检出的挥发性物质总含量最低,且物质种类也较少。醛类是脂肪氧化的主要产物,其阈值较低,通常呈青草、坚果等香味^[6]。除牛油 A 外,其余 5 种牛油中含量最多的都是醛类物质,且含量差异显著($p < 0.05$),这与前人研究结果^[7]一致。牛油 B~F 中酸类物质含量仅次于醛类物质,低分子质量的挥发性脂肪酸同样是牛油中的重要风味物质,一般存在于反刍动物的肉与脂肪中,通常具有令人不愉悦的风味,如酸臭味、汗臭味等^[8]。不同品牌牛油中酸类物质含量同样差异显著($p < 0.05$)。此外,酮类、醇类物质阈值相对较低,同样会对牛油风味产生一定程度的影响,二者可由酯类水解产生,也可由 Strecker 降解产物进一步反应生成^[8]。鉴于牛油 F 的平均得分最高且挥发性物质组成与含量最丰富,因此选择牛油 F 作为鉴定牛油关键风味物质的样品。

2.3 AEDA 法确定牛油 F 中风味物质的稀释因子

通过 HS-SPME 提取牛油 F 中的挥发性物质,使用 GC-O-MS 结合 AEDA 法确定牛油中的风味物质,结果如表 2 所示。

由表 2 可知,在牛油中共鉴定出 23 种风味物质,包括 10 种醛类、5 种酸类、3 种醇类、1 种酮类和 4 种杂环类化合物。其中醛类化合物占主导地位,这与前人的研究结果^[9]类似。醛类物质中(*E*)-2-辛烯醛和(*E,E*)-2,4-壬二烯醛的稀释因子最高,超过 16,辛醛、(*E,E*)-2,4-庚二烯醛和癸醛也具有较高的稀释因子,其他 5 种醛类物质的稀释因子介于 1~4 之间。乙酸在酸类化合物中的稀释因子最高,超过 16,丁酸、3-甲基丁酸和辛酸的稀释因子为 4,4-甲基戊酸的稀释因子为 1。挥发性脂肪酸通常含有刺激性的臭味,气味阈值偏低,因而很容易被分辨出。Kim 等^[10]从生牛肉中也检测到乙酸和丁酸的存在,它们拥有令人不愉悦的气味。醇类也是重要的风味物质,但其稀释因子的最高值小于醛类和酸类,1-己醇、1-辛烯-3-醇和 1-庚醇的稀释因子均为 8。1-辛烯-3-醇是一种在油脂中常被检出的风味活性物质^[11-12],具有独特的

蘑菇味,Assaf 等^[13]认为其来源于亚油酸的氧化分解。杂环类化合物中 2-戊基呋喃和 2-戊基吡啶的稀释因子均超过 16。Henderson 等^[14]报道了氨基酸与 2,4-癸二烯醛热反应产生 2-戊基吡啶的过程,并认为相较于氨基酸的 α -氨基,游离氨更有助于 2-戊基吡啶的形成。3-乙基-2,5-二甲基吡嗪的稀释因子低于前两者,但有报道称其为美拉德反应中的重要化合物^[15-16]。

表 2 牛油中风味物质的稀释因子与气味描述

风味物质	气味描述	稀释因子
醛类		
(<i>E</i>)-2-辛烯醛	脂味,坚果味	≥16
(<i>E,E</i>)-2,4-壬二烯醛	脂味,坚果味	≥16
(<i>E,E</i>)-2,4-庚二烯醛	青香味	8
癸醛	青香味	8
辛醛	铁锈味,青香味	8
(<i>E</i>)-2-十二烯醛	青香味	4
(<i>E,E</i>)-2,4-癸二烯醛	深度油炸味	4
(<i>E</i>)-2-庚烯醛	米香味	4
(<i>E</i>)-2-壬烯醛	蘑菇味,橡胶味	1
壬醛	脂味,甜橙味	1
酸类		
乙酸	醋味,酸味	≥16
丁酸	汗臭味	4
辛酸	臭味	4
3-甲基丁酸	汗臭味	4
4-甲基戊酸	臭味	1
醇类		
1-己醇	奶味	8
1-辛烯-3-醇	蘑菇味	8
1-庚醇	橡胶味,肥皂味	8
酮类		
2-壬酮	水果味	1
杂环类		
2-戊基呋喃	鱼腥味	≥16
2-戊基吡啶	薄荷清香	≥16
3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	烤土豆味	4
4-丁基-4-丁内酯	奶味	4

2.4 牛油中风味物质的 OAV

基于 2.3 的结果,稀释因子越大,贡献越强。如果稀释因子过高,样品中的风味物质浓度可能过高,导致在仪器分析和感官测试时,风味物质之间的重叠和密集,难以区分和准确测定每种成分的浓度,基于先前的研究经验,对稀释因子不小于 8 的风味物质进行定量分析并计算其 OAV,结果如表 3 所示。

由表 3 可知,乙酸的含量最高,为 6.02 mg/kg,

其次是1-庚醇(1.23 mg/kg),而辛醛、(E)-2-辛烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、癸醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃和2-戊基吡啶的含量在0.1~1.0 mg/kg之间,1-己醇和(E,E)-2,4-壬二烯醛的含量低于0.1 mg/kg。11种风味物质中OAV大于或等于1的有7种。其中,(E,E)-2,4-壬二烯醛的OAV最高,为62,其次是(E)-2-辛烯醛(54)和乙酸(49),2-戊基吡啶和辛醛的OAV在10~30之间,1-辛烯-3-醇和2-戊基呋喃的OAV较低,分别为7和1。7种关键风味物质对牛油风味的贡献由大到小依次为(E,E)-2,4-壬二烯醛、(E)-2-辛烯醛、乙酸、2-戊基吡啶、辛醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃。

表3 牛油中风味物质的含量与OAV

风味物质	阈值/ (mg/kg) ^[17-18]	含量/ (mg/kg)	OAV
(E,E)-2,4-壬二烯醛	0.001 5	0.09 ± 0.00 ^d	62
(E)-2-辛烯醛	0.004	0.21 ± 0.05 ^{cd}	54
辛醛	0.056	0.69 ± 0.08 ^{bc}	12
(E,E)-2,4-庚二烯醛	0.36	0.15 ± 0.05 ^{cd}	<1
癸醛	0.65	0.18 ± 0.03 ^{cd}	<1
1-辛烯-3-醇	0.034	0.23 ± 0.01 ^{cd}	7
1-己醇	0.4	0.05 ± 0.01 ^d	<1
1-庚醇	40.782	1.23 ± 0.18 ^b	<1
乙酸	0.124	6.02 ± 0.86 ^a	49
2-戊基吡啶	0.005	0.14 ± 0.03 ^d	27
2-戊基呋喃	0.1	0.14 ± 0.05 ^d	1

注:不同字母代表具有显著性差异($p < 0.05$)

2.5 风味重组实验

将2.4中7种OAV大于或等于1的化合物按表3所测定的含量添加到无味葵花籽油中,对其进行感官评定,并与牛油F进行对比,结果如图2所示。

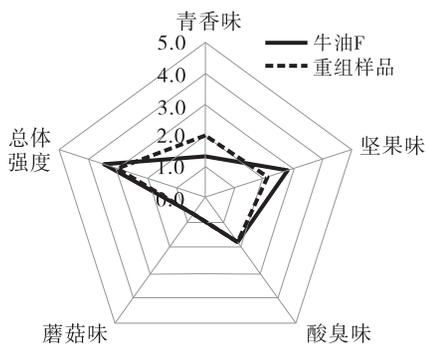


图2 牛油F与重组样品的感官得分

由图2可知,重组样品的酸臭味和蘑菇味与牛油F相差不大。重组样品的风味总体强度略弱于牛油F,二者的差异可能是由稀释因子较低或OAV

较低的化合物造成的,甚至在GC-O分析中没有检出的挥发性物质也可能通过相互作用影响整体风味。不同的醛类化合物可以提供不同的风味特征,缺少某些特定的醛类物质可能会减少风味的复杂性和多样性,使坚果味表现不充分。较强的“青香味”则可能是由于其他气味的不足凸显了青香味物质的贡献作用。重组样品较好地重现了牛油的风味,表明已成功识别出了牛油样品中风味贡献大的关键风味物质。

2.6 风味缺失实验

为了进一步研究各物质对风味的贡献,配制了8组缺失样品,每个样品都缺失了一种或几种风味化合物,并通过三角实验进行评估,结果如表4所示。

表4 风味缺失实验结果

缺失样品 编号	缺失物质	与重组样品的 差异显著性
1	辛醛	*
2	(E)-2-辛烯醛	*
3	(E,E)-2,4-壬二烯醛	*
4	乙酸	*
5	1-辛烯-3-醇	
6	2-戊基呋喃	
7	2-戊基吡啶	
8	1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃、 2-戊基吡啶	*

注:*表示差异显著($p < 0.01$),显著性由正确判断数和实验数决定

由表4可知,重组样品与缺失样品1~4相比,差异有显著性。然而,缺失1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃和2-戊基吡啶3种风味物质中一种的样品不会导致显著差异,但缺失样品8显示与重组样品有显著性差异,说明上述3种风味化合物之间可能存在协同效应,通过相互作用对牛油的风味产生重要影响。缺失实验进一步证实,去除(E,E)-2,4-壬二烯醛、(E)-2-辛烯醛、乙酸和辛醛后牛油的风味发生了显著变化,表明这4种化合物对牛油风味的贡献最大,2-戊基吡啶和2-戊基呋喃这2种杂环类化合物对牛油的风味贡献较小,1-辛烯-3-醇和杂环类化合物主要是以协同作用的方式对牛油风味予以修饰。

3 结论

本文通过消费者偏好分析和挥发性成分测定,从6种牛油中选出最受消费者喜爱的牛油,并采用分子感官科学技术手段对该牛油中关键风味物质进

行分析。结果表明:筛选出的最受消费者喜爱的牛油中含有 23 种风味物质,包括 10 种醛类、5 种酸类、3 种醇类、1 种酮类和 4 种杂环类化合物,其中 (*E,E*)-2,4-壬二烯醛、(*E*)-2-辛烯醛、乙酸和辛醛在牛油风味中的贡献最突出,2-戊基吡啶、1-辛烯-3-醇和 2-戊基呋喃次之。本研究可为不同风味需求火锅底料的研究提供理论依据。

参考文献:

- [1] 赵自通, 梁志宏. 火锅底料油脂中的风险因子及检测方法研究进展[J]. 中国调味品, 2022, 47(8): 191-196.
- [2] 王丽金, 胡丽香, 张浩, 等. 基于气味活性值及香气重组对牛油中关键香气活性化合物的分析[C]// 中国食品科学技术学会第十七届年会摘要集. 西安:中国食品科学技术学会, 2020: 526-527.
- [3] SUN J, MA M, SUN B, et al. Identification of characteristic aroma components of butter from Chinese butter hotpot seasoning[J/OL]. Food Chem, 2021, 338: 127838 [2023-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127838>.
- [4] 卿云光, 罗在粉. 油脂的提取方法对酸价和过氧化值测定的影响[J]. 广州化工, 2015, 43(5): 147-148, 151.
- [5] 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.
- [6] ZHANG Y, WU Y, CHEN S, et al. Flavor of rapeseed oil: An overview of odorants, analytical techniques, and impact of treatment[J]. Compr Rev Food Sci Food Saf, 2021, 20(4): 3983-4018.
- [7] 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.
- [8] GRACKA A, JELE Ń H H, MAJCHER M, et al. Flavoromics approach in monitoring changes in volatile compounds of virgin rapeseed oil caused by seed roasting[J]. J Chromatogr A, 2016, 1428: 292-304.
- [9] 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.
- [10] KIM K, KIM Y H. Composition of key offensive odorants released from fresh food materials[J]. Atmos Environ, 2014, 89: 443-452.
- [11] NEUGEBAUER A, GRANVOGL M, SCHIEBERLE P. Characterization of the key odorants in high-quality extra virgin olive oils and certified off-flavor oils to elucidate aroma compounds causing a rancid off-flavor[J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(21): 5927-5937.
- [12] MATHEIS K, GRANVOGL M. Characterisation of the key aroma compounds in commercial native cold-pressed rapeseed oil by means of the Sensomics approach[J]. Eur Food Res Technol, 2016, 242(9): 1565-1575.
- [13] ASSAF S, HADAR Y, DOSORETZ C G. 1-Octen-3-ol and 13-hydroperoxylinoleate are products of distinct pathways in the oxidative breakdown of linoleic acid by *Pleurotus pulmonarius* [J]. Enzyme Microb Technol, 1997, 21(7): 484-490.
- [14] HENDERSON S K, NAWAR W W. Thermal interaction of linoleic acid and its esters with valine[J]. J Am Oil Chem Soc, 1981, 58(5): 632-635.
- [15] WANG F, SHEN H, LIU T, et al. Formation of pyrazines in Maillard model systems: Effects of structures of lysine-containing dipeptides/tripeptides[J/OL]. Foods, 2021, 10(2): 273 [2023-03-14]. <https://doi.org/10.3390/foods10020273>.
- [16] XU X, YU M, RAZA J, et al. Study of the mechanism of flavor compounds formed via taste-active peptides in bovine bone protein extract[J/OL]. LWT - Food Sci Technol, 2021, 137: 110371 [2023-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110371>.
- [17] GEMERT L J V. Compilations of odour threshold values in air, water and other media[M]. 2nd ed. Netherlands: Oliemans Punter & Partners BV, 2011.
- [18] YU P, YANG Y, SUN J, et al. Identification of volatile sulfur-containing compounds and the precursor of dimethyl sulfide in cold-pressed rapeseed oil by GC-SCD and UPLC-MS/MS[J/OL]. Food Chem, 2022, 367: 130741 [2023-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130741>.