

不同市售牛油的品质及风味化合物分析

郑美玉¹, 张天宇¹, 聂强胜¹, 张立伟^{1,2,3}, 邓维泽⁴, 马麟⁴, 何东平^{1,2,5},
郑竟成^{1,2,5}, 周力^{1,2,5}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 国家市场监督管理总局重点实验室(食用油质量与安全), 武汉 430023;
2. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 武汉 430023;
3. 农产品加工与转化湖北省重点实验室, 武汉 430023; 4. 四川张兵兵生物科技股份有限公司,
四川 广汉 618300; 5. 武汉市食品化妆品检验所, 武汉 430023)

摘要:旨在为探究市售牛油特征风味化合物提供参考, 采用国标法测定 13 种品牌市售牛油的理化指标(酸值、过氧化值、碘值、皂化值)及脂肪酸组成, 采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(SPME-GC-MS)分析其挥发性化合物, 并通过气味活性值(OVA)确定其特征风味化合物。结果表明, 13 种牛油酸值、过氧化值均符合国标要求(除样品 6 的酸值外); 牛油的主要脂肪酸为棕榈酸、硬脂酸和油酸, 三者总含量达 80% 以上。13 种牛油中共检测出 156 种挥发性化合物, 对牛油风味有重要贡献的(OVA > 1)有 68 种, 主要包括醛类、酮类、酯类、烷烃类、酸类、杂环类、醇类、饱和和炔类。通过 OVA 大于 100 确定了 18 种特征风味化合物, 分别为苯甲醛、正己醛、2-十一烯醛、3-甲基-1-戊醛、壬醛、癸醛、十五醛、(E)-2-庚烯醛、正辛醛、十一醛、(E)-2-辛烯醛、2-癸烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、正癸酸、丙烯酸酐、2-乙基环丁醇、十一烷、丙位辛内酯。市售牛油特征风味化合物中 70% 以上为醛类化合物, 其对牛油风味影响最为显著。

关键词:牛油; 品质; 脂肪酸; 特征风味化合物

中图分类号: TS227; TS222+.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)09-0139-06

Quality and flavour compounds analysis of different commercial butter

ZHENG Meiyu¹, ZHANG Tianyu¹, NIE Qiangsheng¹, ZHANG Liwei^{1,2,3},
DENG Weize⁴, MA Lin⁴, HE Dongping^{1,2,5},
ZHENG Jingcheng^{1,2,5}, ZHOU Li^{1,2,5}

(1. Key Laboratory of Edible Oil Quality and Safety, State Administration for Market Regulation, College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Key Laboratory for Deep Processing of Major Grain and Oil, Ministry of Education, College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

3. Hubei Key Laboratory for Processing and Transformation of Agricultural Products, Wuhan 430023, China; 4. Sichuan Zhangbingbing Biotechnology Corporation Limited, Guanghan 618300, Sichuan, China; 5. Wuhan Institute for Food and Cosmetic Control, Wuhan 430023, China)

Abstract: In order to provide references for the characteristic flavour compounds in butter, the physicochemical indexes (acid value, peroxide value, iodine value, saponification value) and fatty acid

收稿日期: 2023-12-26; 修回日期: 2024-05-18

基金项目: 国家市场监督管理总局重点实验室(食用油质量与安全)开放研究基金资助(SYYKF202306); 国家市场监督管理总局项目(2023MK151)

作者简介: 郑美玉(2001), 女, 在读硕士, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白(E-mail) zmy6780808@163.com。

通信作者: 周力, 博士(E-mail) m13307106657@163.com。

composition of 13 kinds of commercial butter were determined by national standard, and the volatile compounds were analyzed by SPME-GC-MS. The characteristic flavour compounds were determined by OVA. The results showed that the acid value and peroxide value of 13 kinds of butter met the requirements of national standard

except the acid value of sample 6. The fatty acids of butter were mainly composed of palmitic acid, stearic acid and oleic acid, and the total content of the three was more than 80%. A total of 156 volatile compounds were detected in 13 kinds of butter, and 68 of them ($OVA > 1$) made important contributions to the flavour of butter, mainly including aldehydes, ketones, esters, alkanes, acids, heterocycles, alcohols and unsaturated hydrocarbons. 18 Characteristic flavour compounds were determined by $OVA > 100$. They were benzaldehyde, *n*-hexanal, 2-undecylenal, 3-methyl-1-pentylaldehyde, nonylaldehyde, decylaldehyde, pentadecanal, (*E*)-2-heptenal, *n*-octanal, undecylal, (*E*)-2-octenal, 2-decylenal, (*E,E*)-2,4-heptadienal, *n*-decanoic acid, acrylic anhydride, 2-ethylcyclobutanol, undecylane and propyloctanolactone. More than 70% of the commercial butter characteristic flavour compounds are aldehydes, which has the most significant effect on the flavour of butter.

Key words: butter; quality; fatty acid; characteristic flavour compound

食用牛油是由洁净的牛脂肪组织加工提炼而成的,呈类白色或淡黄色,口感细腻,风味独特^[1]。牛油富含矿物质、维生素等微量元素,有很高的营养价值^[2],常被用于制作火锅底料和风味调和油^[3]。因牛的品种及加工工艺的不同,不同品牌的牛油风味存在较大差异,但目前国内外的研究主要集中在各种因素对牛油风味的影响^[4],关于市售牛油的品质对比和特征风味化合物的鉴定研究相对较少。

本文在探究不同品牌牛油理化性质的基础上,采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(SPME-GC-MS)分析不同品牌牛油的挥发性成分,结合气味活性值(OAV)确定牛油的特征风味化合物,以期为今后探究牛油风味形成提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

样品1(老火锅牛油),宁夏红鑫源食品有限公司;样品2(精炼牛油),临沂新金锣肉制品集团有限公司;样品3(精炼纯牛油),重庆市帅克食品有限公司;样品4(火锅牛油),社旗县鸿源食品有限公司;样品5(火锅牛油),西安市秦牛油脂有限公司;样品6(精制黄牛油),界首市玉兔食用油脂有限公司;样品7(精品牛油),双泰油脂(德州)有限公司;样品8(精炼火锅牛油),重庆牧哥食品有限公司;样品9(纯牛油),宁夏江好食品有限公司;样品10(火锅牛油),重庆牧哥食品有限公司;样品11(精品牛油),四川航佳生物科技有限公司;样品12(精制牛油),广汉市迈德乐食品有限公司;样品13(珍品牛油),河北穆林轩油脂有限公司。

硫代硫酸钠、可溶性淀粉、福林酚试剂,分析纯,

国药集团有限公司;冰乙酸、三氯甲烷、碘化钾,分析纯,科密欧化学试剂有限公司;正己烷、甲醇,色谱纯,丁酸、辛酸、壬酸、2-甲基丁酸乙酯等标准品,美国Sigma-Aldrich公司。

1.1.2 仪器与设备

ZFD-A5140 鼓风干燥箱,上海智城分析仪器制造有限公司;7890B 气相色谱仪、7890A-5975C 气相色谱质谱联用仪,美国安捷伦公司;MILLI-Q 超纯水机,美国 Millipore 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 基本理化指标的测定

酸值的测定参照 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》中的冷溶剂指示剂滴定法;过氧化值的测定参照 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》中的滴定法;碘值的测定参照 GB/T 5532—2022《动植物油脂 碘值的测定》;皂化值的测定参照 GB/T 5534—2008《动植物油脂 皂化值的测定》。

1.2.2 脂肪酸组成的测定

脂肪酸组成的测定参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》中的内标法。

1.2.3 挥发性化合物的测定

采用 SPME-GC-MS 分析牛油的挥发性化合物。

SPME 条件:参照吕晓玲等^[5]的方法。

GC 条件:DB-5M SUI 毛细管色谱柱(30 m × 320 μm × 0.25 μm);载气为高纯氦气,流速 1.3 mL/min;进样口温度 250 °C;不分流进样;升温程序为起始温度 40 °C,保持 3 min,以 4 °C/min 的速率升

温到 150 °C,保持 1 min,以 8 °C/min 的速率升温至 250 °C,保持 6 min。

MS 条件:电子轰击(EI)离子源,电子能量 70 eV;四极杆温度 150 °C;离子源温度 230 °C;扫描范围(m/z)20~500。

采用 NIST 20 质谱库对挥发性化合物定性。参考文献[6](内标法,以 1 mg/mL 2-甲基-3-庚酮的二氯甲烷溶液为内标)和文献[7](外标法)对挥发性化合物定量,其中外标法以挥发性化合物峰面积(x)与其质量浓度(y)绘制标准曲线,结果见表 1。

表 1 部分挥发性化合物标准曲线方程

化合物	标准曲线方程	R^2
丁酸	$y = 60\ 000\ 000x + 20\ 000\ 000$	0.994 5
辛酸	$y = 182\ 123x - 15\ 440$	0.996 7
壬酸	$y = 927\ 563x + 442\ 756$	0.994 7
2-甲基丁酸乙酯	$y = 7\ 000\ 000x + 161\ 546$	0.999 4
乙酸乙酯	$y = 7\ 756\ 497x - 25\ 742$	0.997 3
乙酸癸酯	$y = 200\ 000x + 1\ 000\ 000$	0.996 7
2-壬酮	$y = 267\ 566x + 127\ 204$	0.997 2
5-甲基糠醛	$y = 3\ 000\ 000x + 7\ 178\ 575$	0.997 7
(E)-2-戊烯醛	$y = 7\ 000\ 000x + 1\ 000\ 000$	0.998 0
(E, E)-2,4-壬二烯醛	$y = 9\ 000\ 000x - 47\ 461$	0.999 0
(E)-2-辛烯醛	$y = 10\ 000\ 000x + 174\ 752$	0.998 7
(E)-2-庚烯醛	$y = 364\ 275x - 109\ 807$	0.998 7
壬醛	$y = 10\ 000\ 000x + 2\ 000\ 000$	0.998 9
苯甲醛	$y = 8\ 000\ 000x + 1\ 000\ 000$	0.999 4
癸醛	$y = 10\ 000\ 000x - 314\ 742$	0.999 6
庚醛	$y = 20\ 000\ 000x - 717\ 858$	0.999 4
2-乙基-5-甲基吡嗪	$y = 6\ 000\ 000x + 631\ 878$	0.998 7
2,6-二甲基吡嗪	$y = 10\ 000\ 000x + 4\ 175\ 698$	0.997 7
2,5-二甲基吡嗪	$y = 9\ 000\ 000x + 97\ 547$	0.998 8
3-苯基丙腈	$y = 10\ 000\ 000x + 2\ 000\ 000$	0.997 3
2-戊基呋喃	$y = 5\ 000\ 000x$	0.999 5

1.2.4 OAV 的计算

参照文献[8]计算挥发性化合物的 OAV,挥发性化合物的 OAV 越大,其对样品的整体风味贡献越大,OAV 大于 1 的挥发性化合物对牛油的整体风味有重要贡献,OAV 大于 100 的挥发性化合物对牛油的整体风味有显著贡献,被认为是特征风味物质^[9]。OAV 计算如式(1)所示。

$$V_{OA} = C/T \quad (1)$$

式中: V_{OA} 为 OAV; C 为挥发性化合物的质量浓度, $\mu\text{g/L}$; T 为挥发性化合物的气味阈值, $\mu\text{g/L}$,挥发性化合物的气味阈值来源于文献[10-13]。

1.2.5 数据处理

采用 SPSS16.0 对数据进行 ANOVA 分析,结果以“平均值 \pm 标准差”表示。

2 结果与讨论

2.1 不同牛油的理化指标分析

不同牛油的理化指标见表 2。

表 2 不同牛油的理化指标

牛油	酸值(KOH)/ (mg/g)	过氧化值/ (g/100 g)	碘值(I)/ (g/100 g)	皂化值 (KOH)/ (mg/g)
样品 1	2.00 ^c	0.10 ^d	41.63 ^c	184.14 ^b
样品 2	0.28 ^a	0.02 ^a	39.06 ^b	178.52 ^a
样品 3	1.81 ^d	0.07 ^c	45.40 ^d	189.76 ^c
样品 4	0.51 ^b	0.03 ^a	41.45 ^c	184.23 ^b
样品 5	2.04 ^e	0.06 ^b	41.12 ^c	183.79 ^b
样品 6	2.55 ^f	0.07 ^c	34.42 ^a	187.06 ^c
样品 7	1.39 ^c	0.07 ^c	46.31 ^d	190.74 ^d
样品 8	1.71 ^d	0.05 ^b	41.54 ^c	185.17 ^b
样品 9	1.64 ^d	0.04 ^b	42.26 ^c	186.08 ^c
样品 10	2.16 ^e	0.09 ^d	31.64 ^a	184.35 ^b
样品 11	1.30 ^c	0.07 ^c	46.09 ^d	190.72 ^d
样品 12	0.38 ^a	0.07 ^c	40.39 ^b	182.16 ^a
样品 13	1.84 ^d	0.06 ^b	40.80 ^b	181.43 ^a

注:同列不同字母表示具有显著差异($p < 0.05$)

由表 2 可知,13 种牛油样品中除样品 6 的酸值外,其他样品的酸值、过氧化值均符合 GB 10146—2015《食品安全国家标准 食用动物油脂》的要求[酸值(KOH) ≤ 2.5 mg/g,过氧化值 ≤ 0.20 g/100 g],其中样品 2 的酸值、过氧化值均最低。碘值是衡量油脂不饱和程度的指标,皂化值反映脂肪酸平均分子质量的大小^[14],样品 7 的碘值、皂化值最高。

2.2 不同牛油的脂肪酸组成分析

不同牛油的脂肪酸组成及相对含量见表 3。

由表 3 可知,13 种牛油中共检出 21 种脂肪酸,主要为棕榈酸(C16:0)、油酸(C18:1)、硬脂酸(C18:0),这 3 种脂肪酸的总含量达 80% 以上。其中,不饱和脂肪酸(UFA)以油酸为主,饱和脂肪酸(SFA)以棕榈酸和硬脂酸为主。不同品牌牛油的脂肪酸组成不同,样品 4 SFA 含量最高,样品 7 UFA 含量最高。不同品牌牛油的棕榈酸和硬脂酸含量差别很大,是导致不同品牌牛油 SFA 和 UFA 比例存在差异的原因。UFA 易发生氧化,产生醛、酮、酸等化合物,是风味物质的重要前体物质^[15],因此牛油中 UFA 的组成、含量与牛油的品质及其特征风味的形成密切相关。

表3 不同牛油的脂肪酸组成及相对含量

%

脂肪酸	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	样品 6	样品 7	样品 8	样品 9	样品 10	样品 11	样品 12	样品 13
C10:0	0.12 ^b	0.06 ^a	0.16 ^c	—	0.12 ^b	0.09 ^b	0.22 ^e	0.10 ^b	0.15 ^c	0.07 ^a	0.19 ^d	0.19 ^d	0.09 ^b
C12:0	0.16 ^c	0.07 ^a	0.15 ^c	0.24 ^e	0.20 ^d	0.15 ^c	0.18 ^d	0.13 ^b	0.21 ^d	0.10 ^a	0.17 ^c	0.10 ^a	0.12 ^b
C14:0	2.77 ^c	3.10 ^d	3.57 ^e	2.09 ^a	2.06 ^a	2.78 ^c	3.25 ^d	2.60 ^b	2.75 ^c	2.04 ^a	2.24 ^b	3.71 ^e	2.36 ^b
C14:1	0.49 ^c	0.74 ^e	0.84 ^f	0.19 ^a	0.15 ^a	0.72 ^c	0.38 ^b	0.45 ^c	0.61 ^d	0.37 ^b	0.53 ^d	0.59 ^d	0.37 ^b
C15:0	0.45 ^c	0.45 ^c	0.64 ^e	0.17 ^a	0.33 ^b	0.57 ^d	0.58 ^d	0.43 ^c	0.45 ^c	0.30 ^b	0.54 ^d	0.61 ^c	0.34 ^b
C15:1	0.21 ^c	0.36 ^d	0.34 ^d	—	0.09 ^a	0.37 ^d	0.20 ^b	0.22 ^c	0.27 ^c	0.20 ^b	0.35 ^d	0.40 ^e	0.19 ^b
C16:0	40.38 ^d	25.95 ^a	25.15 ^a	53.73 ^e	41.94 ^d	29.12 ^b	29.09 ^b	34.12 ^c	32.81 ^c	41.10 ^d	35.52 ^d	24.56 ^a	38.66 ^d
C16:1	1.87 ^b	2.93 ^d	3.19 ^e	0.64 ^a	0.90 ^a	2.56 ^c	1.89 ^b	1.97 ^b	2.23 ^c	2.37 ^c	2.10 ^c	2.36 ^c	1.63 ^b
C17:0	0.38 ^b	0.43 ^c	0.64 ^e	0.10 ^a	0.39 ^b	0.48 ^c	0.59 ^d	0.38 ^b	0.51 ^d	0.32 ^b	1.34 ^f	0.60 ^e	0.37 ^b
C17:1	0.38 ^b	0.43 ^c	0.64 ^e	0.10 ^a	0.39 ^b	0.48 ^c	0.59 ^d	0.38 ^b	0.51 ^d	0.32 ^b	0.62 ^e	0.60 ^e	0.37 ^b
C18:0	15.67 ^c	23.61 ^d	22.75 ^d	6.78 ^a	12.99 ^b	21.97 ^d	18.99 ^c	19.77 ^c	18.02 ^c	14.63 ^b	15.50 ^c	25.28 ^e	14.99 ^b
C18:1n9t	2.14 ^b	2.82 ^c	3.87 ^d	0.71 ^a	2.17 ^b	2.46 ^b	6.95 ^f	2.83 ^c	2.73 ^b	2.12 ^b	4.52 ^e	4.12 ^c	2.16 ^b
C18:1n9c	29.99 ^a	34.60 ^d	33.70 ^c	28.77 ^a	32.27 ^b	33.42 ^c	31.03 ^b	31.15 ^b	33.32 ^c	30.68 ^b	31.38 ^b	32.65 ^e	33.37 ^c
C18:2n6t	0.19 ^a	0.47 ^d	0.53 ^e	5.78 ^f	0.10 ^a	0.32 ^c	0.26 ^b	0.33 ^c	0.65 ^e	0.41 ^d	0.24 ^b	0.36 ^c	0.25 ^b
C18:2n6c	4.24 ^c	2.76 ^a	2.79 ^a	—	5.24 ^d	3.40 ^a	4.73 ^d	4.06 ^c	3.88 ^b	4.11 ^c	3.89 ^b	2.84 ^a	3.94 ^c
C20:0	—	0.23 ^b	0.18 ^a	0.23 ^b	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C18:3n6	0.16 ^a	—	—	—	0.32 ^d	0.26 ^c	0.15 ^a	0.33 ^d	0.20 ^b	0.34 ^d	0.17 ^a	0.17 ^a	0.28 ^c
C20:1	0.18 ^a	0.16 ^a	0.22 ^b	—	0.14 ^a	0.21 ^b	0.25 ^c	0.37 ^d	0.31 ^d	0.15 ^a	0.21 ^b	0.25 ^c	0.18 ^a
C18:3n3	—	0.40 ^d	0.44 ^d	0.14 ^a	0.18 ^a	0.45 ^d	0.33 ^b	0.39 ^c	0.39 ^c	0.30 ^b	0.36 ^c	0.38 ^c	0.36 ^c
C21:0	—	0.16 ^b	0.16 ^b	—	—	0.15 ^b	—	—	—	0.08 ^a	0.17 ^b	0.21 ^c	—
C20:2	0.23 ^b	0.23 ^b	—	0.22 ^b	—	—	0.31 ^c	—	—	—	—	0.04 ^a	—
SFA	59.93	54.06	53.40	63.34	58.03	55.31	52.90	57.53	54.90	58.64	55.67	55.26	56.93
UFA	40.08	45.90	46.56	36.63	41.95	44.65	47.07	42.48	45.10	41.37	44.37	44.76	43.10

注: — 为未检出,定义为脂肪酸含量小于0.05%; 同行不同的小写字母表示有显著差异($p < 0.05$)

2.3 不同牛油挥发性成分的分析

13种牛油中共检测出156种化合物,其中醛类、酮类各25种,杂环类、烷烃类各24种,酯类23种,醇类、酸类各12种,不饱和烃类10种,其他1种。根据OVA大于1筛选出对牛油风味有重要贡献的挥发性化合物,见表4。

由表4可知,对牛油风味有重要贡献的挥发性化合物共有68种,包括醛类、酮类、酯类、烷烃类、酸类、杂环类、醇类、不饱和烃类、其他。其中,醛类化合物的数量明显多于其他化合物,且其整体含量偏高,阈值低,对牛油的风味影响显著,这与李贝贝^[16]的牛油中醛类化合物数量最多的研究结果一致。醛类化合物中,苯甲醛、正己醛、3-甲基-1-戊醛和2-十一烯醛的OAV最高,分别为732.0、557.5、544.3、362.9,对牛油的风味影响最显著;壬醛、癸醛、十五醛、(E)-2-庚烯醛、正辛醛等化合物的OAV均超过200,对牛油风味贡献较大。酮类化合物多是不饱和脂肪酸经高温氧化分解生成的^[17],为牛油提供丰富的脂香味^[18]。牛油中酮类化合物

OVA相对于醛类较小,但对牛油风味也有重要贡献。酯类化合物具有水果的甜味及花香^[19],酯类化合物的OVA整体偏低,其中丙位辛内酯的OAV(157.3)较高,对牛油整体风味有显著影响。烷烃类化合物中十一烷具有较高的OAV(927.2),但由于大多数烷烃类化合物的香味较弱或无味^[20],其对牛油整体风味直接贡献相对较小。王霞等^[21]认为烷烃类化合物是杂环类化合物的关键中间体,对风味的形成有一定的贡献,由此推测烷烃类化合物可能是形成牛油香味化合物的重要中间体。杂环类化合物主要是通过美拉德反应产生的^[22],为牛油提供焦糖的甜香和坚果焙烤的焦香味^[23]。牛油杂环类化合物中2-正丙基咪唑的OAV相对较高,咪唑类化合物大多具有强烈的肉香味^[24]。醇类化合物中2-乙基环丁醇的OAV(148.8)最高,说明其对牛油风味有显著影响。绝大部分酸类、不饱和烃类化合物的OAV较小,对牛油风味的影响相对较小。

通过OVA大于100筛选出18种化合物为牛油特征风味化合物,包括13种醛类[苯甲醛、正己醛、

3-甲基-1-戊醛、2-十一烯醛、壬醛、癸醛、十五醛、(E)-2-庚烯醛、正辛醛、十一醛、(E)-2-辛烯醛、2-癸烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛],2种酸类(正癸酸、丙烯酸酐),1种醇类(2-乙基环丁醇),1种烷烃类(十一烷),1种酯类(丙位辛内酯)。特征风味化合物中70%以上都是醛类化合物,再次说明醛类化合物对牛油整体风味的贡献较大,其中苯甲醛具有坚果味^[25],正己醛赋予牛油脂香味和清香味^[26],2-十一烯醛有脂肪香和清香味^[27],壬醛赋予牛油脂香味和独特的橘香味^[28-29]。

表4 对牛油风味有重要贡献的挥发性成分

化合物	质量浓度/ ($\mu\text{g/L}$)	阈值/ ($\mu\text{g/L}$)	OAV
醛类			
苯甲醛	2 195.9	3.0	732.0
正己醛	8 363.2	15.0	557.5
3-甲基-1-戊醛	5 443.4	10.0	544.3
2-十一烯醛	5 443.4	15.0	362.9
壬醛	7 038.0	20.0	351.9
癸醛	578.8	2.0	289.4
十五醛	5 631.6	20.0	281.6
(E)-2-庚烯醛	2 341.3	10.0	234.1
正辛醛	3 294.5	15.0	219.6
十一醛	971.6	5.0	194.3
(E)-2-辛烯醛	1 720.7	10.0	172.1
2-癸烯醛	1 868.1	15.0	124.5
(E,E)-2,4-庚二烯醛	520.7	5.0	104.1
(E)-2-壬醛	364.0	5.0	72.8
2-庚烯醛	594.1	13.0	45.7
庚醛	5 631.6	260.0	21.7
十二醛	611.8	33.0	18.5
(E,E)-2,4-壬二烯醛	86.0	60.0	1.4
酮类			
仲辛酮	3 174.2	80.0	39.7
2,3-庚二酮	1 693.2	65.0	26.0
2-庚酮	1 138.9	45.0	25.3
丙酮	336.6	20.0	16.8
2-壬酮	462.9	35.0	13.2
2-氮己环酮	578.8	70.0	8.3
2-丁基-2-环戊烯酮	244.2	30.0	8.1
2-癸酮	366.8	60.0	6.1
甲基壬基甲酮	201.0	40.0	5.0
3-壬烯-2-酮	97.1	25.0	3.9
2-十五烷酮	183.4	50.0	3.7
十七烷酮	62.7	30.0	2.1
酯类			
丙位辛内酯	1 100.9	7.0	157.3
丙位庚内酯	872.2	55.0	15.9
丙酸乙基酯	197.5	25.0	7.9

续表4

化合物	质量浓度/ ($\mu\text{g/L}$)	阈值/ ($\mu\text{g/L}$)	OAV
戊酸甲酯	58.4	10.0	5.8
己酸丁酯	301.2	70.0	4.3
5-氧代四氢呋喃-2-甲酸甲酯	39.5	10.0	4.0
1,3-苯二酚单苯甲酸酯	37.5	10.0	3.8
4-己内酯	72.9	20.0	3.6
5-氧代四氢呋喃-2-羧酸乙酯	95.3	35.0	2.7
二乙二醇单乙基醋酸酯	67.1	30.0	2.2
磷酸三乙酯	135.0	65.0	2.1
烷烃类			
十一烷	4 635.8	5.0	927.2
十二烷	248.7	11.0	22.6
3,7-二甲基壬烷	66.6	3.0	22.2
1,1-二甲基环戊烷	543.7	35.0	15.5
3,3-二甲基己烷	445.2	49.0	9.1
3-甲基癸烷	35.9	12.0	3.0
酸类			
正癸酸	176.0	1.0	176.0
丙烯酸酐	3 303.4	20.0	165.2
2-甲基丁酸	92.0	3.0	30.7
辛酸	365.4	30.0	12.2
丁酸	92.0	10.0	9.0
2-甲基戊酸酐	49.7	20.0	2.5
杂环类			
2-正丙基呋喃	2 098.1	65.0	32.3
2-戊基吡啶	51.4	2.0	25.7
1-乙基磺酰哌嗪	56.1	5.0	11.2
2-丁基吡啶	166.3	25.0	6.7
咪唑	5.5	1.0	5.5
醇类			
2-乙基环丁醇	372.0	2.5	148.8
(E)-2-十二碳烯醇	33.1	1.0	33.1
叔戊醇	22.2	0.9	24.7
1-甲基环戊醇	11.9	0.6	19.8
2,2,4,4-四甲基-1,3-环丁二醇	14.8	0.8	18.5
1,14-十四烷二醇	16.0	1.5	10.7
不饱和烃类			
3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	289.0	20.0	14.5
4-壬炔	460.3	40.0	11.5
顺式-1,1,1-三甲基-2-丁烯	95.4	25.0	3.8
其他			
对甲基苯酚	166.7	15.0	11.1

3 结论

对 13 种品牌牛油的品质和挥发性化合物进行了分析。13 种品牌的牛油酸值、过氧化值均符合国标要求(除样品 6 的酸值外)。牛油中主要的脂肪酸为棕榈酸、硬脂酸和油酸,三者总含量达 80% 以上,牛油中的不饱和脂肪酸对牛油风味的形成至关重要。13 种牛油中共检出 156 种挥发性成分,其中 OVA 大于 1 的有 68 种,通过 OVA 大于 100 确定了 18 种特征风味化合物,特征风味化合物中醛类化合物数量最多,占 70% 以上。

参考文献:

- [1] 刘佳敏,姚迪,何新益,等. 低硬度调和牛油的制备及品质分析[J]. 食品与机械,2020,36(3):200-202,231.
- [2] 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.
- [3] 王同珍,陈孝建,安爱,等. 气相色谱-质谱技术结合化学计量学对 5 种动物油进行判别分析[J]. 分析测试学报,2016,35(5):557-562.
- [4] 李涵润,刘雄,覃小丽,等. 油脂种类对调和牛油风味的影响[J]. 中国油脂,2022,47(6):53-61.
- [5] 吕晓玲,杨雪吟,李津,等. 精制各阶段牛油风味研究[J]. 粮食与油脂,2011,24(11):24-27.
- [6] YANG P, SONG H L, WANG L J, et al. Characterization of key aroma-active compounds in black garlic by sensory-directed flavor analysis[J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(28): 7926-7934.
- [7] SONG H, LIU J. GC-O-MS Technique and its applications in food flavor analysis[J]. Food Res Int, 2018, 114: 187-198.
- [8] DUNKEL A, STEINHAUS M, KOTTHOFF M, et al. Nature's chemical signatures in human olfaction: A foodborne perspective for future biotechnology[J]. Angew Chem Int Ed, 2014, 53(28): 7124-7143.
- [9] 白佳伟,陈亮,周尚庭,等. 特级高盐稀态酿造酱油中关键香气物质的分析[J]. 中国酿造,2019,38(11):179-185.
- [10] 马宇,黄永光. 清酱香型白酒挥发性风味组分及香气特征[J]. 食品科学,2019,40(20):241-248.
- [11] LÓPEZ R, ORTÍN N, PÉREZ-TRUJILLO J P, et al. Impact odorants of different young white wines from the Canary Islands[J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(11): 3419-3425.
- [12] WANG X X, FAN W L, XU Y. Comparison on aroma compounds in Chinese soy sauce and strong aroma type liquors by gas chromatography-olfactometry, chemical quantitative and odor activity values analysis[J]. Eur Food Res Technol, 2014, 239(5):813-825.
- [13] BOONBUMRUNG S, TAMURA H, MOOKDASANIT J, et al. Characteristic aroma components of the volatile oil of yellow keaw mango fruits determined by limited odor unit method[J]. Food Sci Technol Res, 2001, 7(3): 200-206.
- [14] 朱巍. 猪油液化及降胆固醇加工技术研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2016.
- [15] 龙斌,王锡昌,张凤枰,等. 川鲶挥发性风味成分和脂肪酸分析[J]. 食品科学,2013,34(22):250-256.
- [16] 李贝贝. 重庆牛油火锅底料风味和品质优化初探[D]. 重庆:西南大学,2021.
- [17] 王玉,赵延宁,薛勇,等. 基于电子鼻与 SPME-GC-MS 法分析咸鲢鱼加工过程挥发性风味成分变化[J]. 食品工业科技,2018,39(24):266-272.
- [18] 宋恭帅,戴志远,沈清,等. 激光辅助促释技术快速分析鲨鱼肝油精制过程的挥发性成分[J]. 中国食品学报,2021,21(6):243-250.
- [19] KHAIRY H L, SAADOON A F, ZZAMAN W, et al. Identification of flavor compounds in rambutan seed fat and its mixture with cocoa butter determined by SPME-GCMS[J]. J King Saud Univ Sci, 2018, 30(3): 316-323.
- [20] 田维芬,周君,明庭红,等. 基于电子鼻和 GC-MS 的不同品牌橄榄油挥发性风味物质研究[J]. 食品工业科技,2017,38(7):285-292.
- [21] 王霞,黄健,侯云丹,等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析黄鳍金枪鱼肉的挥发性成分[J]. 食品科学,2012,33(12):268-272.
- [22] 王雪梅,孙文佳,李亚隆,等. 不同产地鲜辣椒发酵郫县豆瓣的品质分析[J]. 食品科学,2020,41(10):213-221.
- [23] LI C C, HOU L X. Review on volatile flavor components of roasted oilseeds and their products[J]. Grain Oil Sci Technol, 2018,1(4):151-156.
- [24] CALKINS C R, HODGEN J M. A fresh look at meat flavor[J]. Meat Sci, 2007, 77(1): 63-80.
- [25] 卢春霞,翁丽萍,王宏海,等. 3 种网箱养殖鱼类的主体风味成分分析[J]. 食品与发酵工业,2010,36(10):163-169.
- [26] 申慧珊. 马铃薯方便粉丝调味料研制及其风味物质检测分析[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [27] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [28] 张哲奇,臧明伍,张凯华,等. 熟制、高压灭菌和复热对粉蒸肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学,2019,40(10):187-192.
- [29] 余欢,管敬喜,杨莹,等. 7 株野生葡萄酒酵母对‘桂葡 3 号’干葡萄酒香气成分的影响[J]. 食品科学,2019,40(4):251-258.