

不同工艺市售芝麻油的气味活性成分 和感官品质差异分析

翟卓青^{1,2}, 尹文婷^{1,2}, 汪学德^{1,2}, 马雪婷^{1,2}, 杨忠欣³

(1. 河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450001; 2. 河南工业大学 特色油料加工研究所, 郑州 450001; 3. 瑞福油脂股份有限公司, 山东 潍坊 261057)

摘要:旨在为芝麻油企业提高其产品的香气品质提供参考,以我国市场上不同工艺的13个品牌畅销芝麻油产品为实验材料,利用溶剂辅助蒸发(SAFE)法萃取挥发性物质,气相色谱-嗅闻-质谱(GC-O-MS)法和感官评价比较其气味活性成分和感官品质差异。结果表明:低温压榨芝麻油的气味活性成分以醛类、烯烃和醇类为主,生芝麻味最强;石磨水代和高温压榨芝麻油的气味活性成分以美拉德反应杂环类产物为主,具有较强的炒芝麻味、炒坚果味和焦香味;石磨水代芝麻油的苯酚类物质含量最高,烟熏味最强;高温压榨芝麻油的苦味最强。综上,不同工艺的市售芝麻油气味活性成分和感官品质具有显著差异。

关键词:芝麻油;气味活性成分;感官品质;油脂工艺;挥发性物质

中图分类号:TS225.1;TS201.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2023)10-0050-07

Difference of aroma – active compounds and sensory quality of commercial sesame oil products produced by different processes

ZHAI Zhuoqing^{1,2}, YIN Wenting^{1,2}, WANG Xuode^{1,2},
MA Xueting^{1,2}, YANG Zhongxin³

(1. School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 2. Research Institute of Special Oil Processing, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 3. Ruifu Sesame Oil Co., Ltd., Weifang 261057, Shandong, China)

Abstract: To provide reference for sesame oil enterprises to improve the aroma quality of their products, with 13 brands best-selling commercial sesame oils with different processes on the Chinese market were materials, volatile substances were extracted by solvent-assisted evaporation (SAFE) method, and the differences of aroma-active compounds and sensory quality were analyzed by gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry (GC-O-MS) method and sensory descriptive analysis, respectively. The results showed that the aroma-active compounds in the cold-pressed sesame oils were dominated by aldehydes, alkenes and alcohols, and the cold-pressed sesame oils had the strongest raw sesame flavor. The aroma-active compounds in the aqueous-extracted and high temperature-pressed sesame oils were mainly the Maillard reaction products heterocyclic substances, giving the sesame oils strong roasted sesame flavor, nutty and burnt flavor. The aqueous-extracted sesame oils had the highest concentration of volatile phenolic compounds and the strongest smoky flavor. The bitter taste in the high

temperature-pressed sesame oils was the strongest. In conclusion, the aroma-active compounds and sensory quality of sesame oil produced by different processes are significantly different.

Key words: sesame oil; aroma-active compounds; sensory quality; oil processing; volatile compounds

收稿日期:2022-07-12;修回日期:2023-07-01

基金项目:财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系资助(CARS-14)

作者简介:翟卓青(1997),女,硕士研究生,研究方向为油脂风味化学(E-mail)z15514359670@126.com。

通信作者:尹文婷,讲师,博士(E-mail)yin.wenting@hotmail.com;汪学德,教授,博士(E-mail)wangxuode1962@126.com。

中国有“芝麻王国”之美誉,其芝麻年产量约占世界总产量的20%,且一半以上的芝麻被用来制作芝麻油^[1-2]。芝麻油含有丰富的不饱和脂肪酸、生育酚、木脂素,具有抗氧化和延缓衰老的功效^[3-5]。芝麻油也因其独特浓郁的风味备受消费者喜爱。

芝麻油的加工工艺对其风味品质有决定性的影响。常见的芝麻油加工工艺包括低温压榨、石磨水代法和高温压榨^[6]。尹文婷^[7]、Yin^[8]等分析了4种不同工艺芝麻油的挥发性组分和感官品质差异,发现低温压榨芝麻油因未经炒籽,具有天然的生芝麻籽香气,但整体风味强度较弱,风味层次感不足。小磨香油由传统的石磨水代法制得,其风味浓郁、口感绵柔,得到众多消费者的喜爱。高温压榨法是工业化应用最广泛的工艺,采用该工艺制备的芝麻油烤香味浓郁,但压榨过程的高温严重影响了芝麻油风味品质的稳定性。在芝麻油众多的挥发性组分中,仅有少部分组分(气味活性成分)对芝麻油的风味产生影响^[9]。气味活性成分组成的差异可能是造成芝麻油感官品质差异的关键因素^[8,10]。然而,现有研究多侧重于分析和比较芝麻油的挥发性组分的差异,对其气味活性成分的鉴定和分析相对较少。此外,现有对芝麻油风味的研究多针对实验室制备的样品,不能真实反映我国市场现有主要芝麻油产品的风味和感官品质。

鉴于此,本研究收集了我国市场上销售量较好的13个品牌的芝麻油产品,按工艺可将它们归为3类:石磨水代、高温压榨和低温压榨芝麻油。通过溶剂辅助挥发(SAFE)法和气相色谱-嗅闻-质谱(GC-O-MS)法分析芝麻油的气味活性成分,并利用定量描述分析(QDA)评价芝麻油产品的感官品质,分析并比较我国畅销芝麻油产品的气味活性成分和感官品质的差异,以期为芝麻油企业提高其产品的香气品质提供一定的方向和参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

从超市购买的13个品牌芝麻油产品,包括5种石磨水代芝麻香油(品牌A、B、C、D、E)、6种高温压榨芝麻油(品牌F、G、H、I、J、K)和2种低温压榨芝麻油(品牌L和M)。所有的芝麻油样品均是从白芝麻中提取,于5℃储藏。

无水硫酸钠(Na_2SO_4)、二氯甲烷,凯美尔化学试剂有限公司(中国天津);2-甲基吡嗪、2,5-二甲基吡嗪、乙基吡嗪、2,3-二甲基吡嗪等香气标准品,4-壬醇,纯度均大于95%,色谱级,上海麦克林生化科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

SAFE装置,北京肯堡博美玻璃仪器厂;气相色谱-质谱联用仪(配Agilent-MSD化学工作站和NIST17质谱库),美国安捷伦公司;ODP3嗅辨仪,德国哲斯泰公司;韦氏浓缩柱,郑州天泽仪器设备有限公司;氮吹浓缩仪,天津奥特塞恩斯仪器公司。

1.2 实验方法

1.2.1 芝麻油挥发性物质的萃取

参照文献[11]采用SAFE法萃取芝麻油的挥发性物质,并稍作修改。称取25g芝麻油,加入75mL二氯甲烷,并加入150μL 4-壬醇(1mg/mL)作为内标物,25℃下摇床振荡10h。样品置于SAFE装置的滴液漏斗中,水浴锅和循环水浴锅的温度均设置为50℃,将液氮加入冷阱中,待系统的真空度达到3kPa时,缓慢打开滴液漏斗旋塞进行萃取。所得萃取液加入无水 Na_2SO_4 ,置于冰箱(-20℃)中干燥过夜,过滤得到澄清萃取液,经韦氏浓缩柱浓缩到5mL,再氮吹至3mL,经有机系滤膜(0.22μm)过滤,待测。

1.2.2 芝麻油的气味活性成分分析

采用GC-O-MS法分析芝麻油的气味活性成分。

GC条件:HP-5MS毛细管色谱柱(30m×0.25mm,0.25μm);升温程序为起始温度40℃,保持5min,以3℃/min升温到230℃,保持5min,再以10℃/min升温到250℃,保持5min;载气为高纯度氦气(纯度99.999%)。样品经GC分离后,以分流比1:1进入嗅辨仪和MS检测器。

MS条件:电子轰击离子源(E),电子能量70eV,离子源温度230℃,四级杆温度150℃,全扫描采集模式,质量扫描范围(m/z)33~500。

嗅闻条件:传输线温度280℃,配有蒸馏水和99.999%氮气以提高嗅闻舒适感。

定性和定量分析:将未知化合物的质谱图与NIST17质谱库进行比对,筛选出匹配度大于80%的未知化合物,并依据其保留指数(RI)定性。通过内标法(4-壬醇为内标物)计算挥发性化合物的含量。

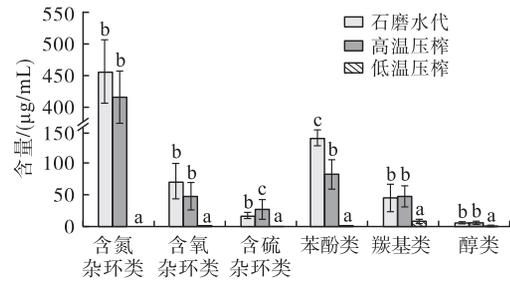
1.2.3 芝麻油的感官评价

依据中国粮油学会的团体标准T/CCOA 29—2020《芝麻油感官评价》,以10cm标尺为基准对芝麻油进行感官评价。评价员(5男5女)来自河南工业大学感官评价小组,他们具有1年以上油脂品评经验。感官实验数据利用Compusense Cloud软件系统(Compusense有限公司,加拿大安大略省)收集和分析。

2 结果与讨论

2.1 芝麻油气味活性成分的比较

13种市售芝麻油不同类别气味活性成分的含量见表1,不同工艺市售芝麻油不同类别气味活性物质含量差异见图1,13种市售芝麻油气味检测频率和气味描述见表2。在13种市售芝麻油中共鉴定出926种挥发性风味物质,其中含有91种气味活性成分,首次在芝麻油中发现的气味活性成分有25种(表2)。



注:不同类别气味物质含量为每种工艺芝麻油的平均值;同一类物质不同小写字母上标的样品间具有显著性差异($p < 0.05$)

图1 不同工艺市售芝麻油不同类别气味活性成分含量差异

表1 13种市售芝麻油不同类别气味活性成分的含量

品牌	工艺	含量/(µg/mL)										
		吡嗪类	吡咯类	吡啶类	呋喃类	噻唑类	噻吩类	苯酚类	醛类	酸类	烃类	醇类
A	石磨水代	510.8 ^{ef}	53.3 ^d	11.2 ^{cd}	75.6 ^{ef}	15.0 ^c	7.7 ^{de}	153.5 ^{de}	66.5 ^h	-	3.2 ^{bcd}	5.2 ^{cd}
B	石磨水代	544.1 ^f	49.6 ^d	3.3 ^a	121.4 ^g	15.3 ^c	7.0 ^{de}	145.7 ^{de}	12.8 ^{bc}	10.0 ^d	2.7 ^{bcd}	6.2 ^d
C	石磨水代	314.9 ^d	39.0 ^{bc}	10.0 ^{bcd}	50.1 ^{ede}	7.0 ^{ab}	7.0 ^{de}	115.7 ^{cd}	17.1 ^{cd}	-	1.7 ^{abc}	4.3 ^{bc}
D	石磨水代	344.9 ^d	44.3 ^{cd}	22.4 ^f	62.4 ^{def}	8.9 ^{abc}	6.3 ^{de}	139.3 ^{de}	54.2 ^g	13.6 ^e	2.4 ^{abcd}	5.9 ^d
E	石磨水代	287.5 ^{cd}	38.4 ^{bc}	6.6 ^{abc}	43.2 ^{cd}	5.6 ^{ab}	6.4 ^{de}	134.9 ^{de}	29.7 ^{ef}	8.0 ^c	3.1 ^{bcd}	5.0 ^{cd}
F	高温压榨	471.7 ^e	21.1 ^a	31.5 ^g	63.7 ^{def}	29.5 ^d	6.0 ^{ede}	97.8 ^c	53.3 ^g	2.8 ^b	1.3 ^{abc}	6.3 ^d
G	高温压榨	111.3 ^a	17.3 ^a	5.4 ^{ab}	14.8 ^{ab}	2.9 ^a	2.1 ^a	63.8 ^b	74.4 ^h	1.3 ^a	1.4 ^{abc}	5.7 ^d
H	高温压榨	238.6 ^{bc}	34.3 ^{bc}	13.8 ^{de}	28.2 ^{bc}	12.5 ^{bc}	5.8 ^{cd}	51.7 ^b	30.3 ^{ef}	-	1.5 ^{abcd}	6.3 ^d
I	高温压榨	490.5 ^{ef}	46.5 ^{cd}	8.2 ^{abc}	63.1 ^{def}	33.6 ^d	5.0 ^c	105.5 ^c	36.7 ^f	2.0 ^{ab}	2.0 ^{abcd}	5.6 ^d
J	高温压榨	183.6 ^b	26.4 ^{ab}	17.0 ^e	33.7 ^{bc}	11.0 ^{abc}	3.1 ^b	65.1 ^b	48.0 ^g	-	1.0 ^{ab}	3.6 ^{bc}
K	高温压榨	725.4 ^g	35.1 ^{bc}	17.5 ^{ef}	75.9 ^{ef}	45.5 ^e	3.1 ^b	106.7 ^c	23.2 ^{de}	2.4 ^b	3.3 ^d	9.2 ^e
L	低温压榨	-	-	-	1.0 ^a	-	-	1.0 ^a	1.9 ^a	7.8 ^c	1.7 ^{abc}	1.9 ^{ab}
M	低温压榨	-	-	-	1.0 ^a	-	-	-	3.5 ^{ab}	-	0.7 ^a	0.4 ^a

注:-表示未检出。同一列中不同小写字母上标表示样品间具有显著性差异($p < 0.05$),下同

表2 13种市售芝麻油气味检测频率和气味描述

气味活性成分	保留指数	检测频率	气味描述	参考文献	气味活性成分	保留指数	检测频率	气味描述	参考文献
2,6-二甲基吡嗪	897	11	焙烤味,油香	[9,11]	2,3,5-三甲基吡嗪	987	11	苦味,坚果味	[9,11]
2-甲基吡嗪	807	11	咸味,坚果味	[9,11,25]	2-乙基-3-甲基吡嗪	988	11	苦味,焙烤味	[11,25]
2,5-二甲基吡嗪	895	11	坚果香,油香味	[9,11,25]	2,3-二甲基-5-乙基吡嗪	1073	3	焙烤味,坚果味	[9,11,25]
2,6-二乙基-吡嗪	1070	9	爆米花味,焦糖味	[9,11]	(3-甲基吡嗪-2-基)甲醇	1107	6	炒坚果味	[11]
2-乙基-5-甲基吡嗪	979	10	坚果味	[9,11,25]	2,3-二乙基-5-甲基吡嗪	1142	10	焙烤味,坚果味	[9,11]
3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	1065	11	甜香味,爆米花味	[9,11]	2-甲基-3,5-二乙基吡嗪	1137	11	坚果味,焙烤味	[11]
2-乙基吡嗪	887	11	油香,烤芝麻味	[9,11,25]	2-乙酰基吡嗪	1007	11	爆米花味,焙烤味	[9,11]
2-乙基-6-甲基吡嗪	978	11	炒芝麻味,烤土豆味	[9,11,25]	1-(6-甲基-2-吡嗪基)-1-乙酮	1097	11	巧克力	[11]
2-甲基-5-异丙基吡嗪	1032	11	花香	新发现	1-(5-甲基-2-吡嗪基)-乙酮	1093	2	焙烤味,烤花生	新发现
2-乙烷基-3,5-二甲基吡嗪	1065	3	焙烤味	新发现					
2-乙烷基-5-甲基吡嗪	994	10	爆米花味	[11,25]					

续表 2

气味活性成分	保留指数	检测频率	气味描述	参考文献	气味活性成分	保留指数	检测频率	气味描述	参考文献
吡嗪	1 000	11	焙烤味	[11]	2-乙酰基噻唑	996	11	肉香味	[11]
2-(1-甲基乙炔基)-吡嗪	1 086	4	焦糖味	[11]	3,4,5-三甲基异噻唑	989	4	硫磺味,焙烤味	[11]
2,3-二甲基吡嗪	891	11	焙烤味,坚果味	[9,11]	2,5-二甲基噻唑	889	2	肉香味,咖啡味	新发现
2-乙烯吡嗪	913	11	烤花生香,坚果味	[11]	2,4-二甲基-2-噻唑啉	933	7	蒜味,苦味	[11]
2-吡咯甲醛	1 001	11	谷仓味,爆米花味	[11]	4-甲基噻唑	801	11	硫磺味	[11,23,25]
N-甲基-2-吡咯甲醛	983	11	坚果味,焙烤味	[11]	四氢噻吩酮	929	10	焦香味	[9,11]
2-吡咯甲酸甲酯	1 101	4	橡胶味,酵母味	新发现	5-甲基-2-噻吩甲醛	1 066	5	硫味,肉味	新发现
1-糠基吡咯	1 168	9	坚果味,焦糖味	[11,25]	2-甲基四氢噻吩-3-酮	967	11	腥味,硫磺味	[11]
2-乙基吡咯	792	2	爆米花味	[11]	2-正戊酰噻吩	1 070	3	硫磺味,肉味	新发现
1,5-二甲基-2-吡咯甲腈	1 089	11	红豆香,焦糖味	[11]	3-甲基噻吩	737	11	硫磺味,洋葱味	[11]
2-甲基吡咯	896	4	甜香	[11]	2,3-二甲基噻吩	853	10	焙烤味,坚果味	[11,25]
2-乙酰基-1-甲基吡咯	1 157	5	药味	新发现	2-乙酰基噻吩	1 070	5	洋葱味,硫磺味	新发现
2-甲基吡啶	795	8	咸香	[11]	2,5-噻吩二甲醛	1 170	1	香椿味,硫磺味	[11]
3-(甲硫基)-吡啶	1 128	9	金属味,腥味	新发现	2-苯基乙硫醇	1 155	4	橡胶味	[11]
2-戊基吡啶	1 182	6	咖啡味	[11]	2-甲氧基苯酚	1 076	13	烟熏味,焦糊味	[9,11,25]
2-丁基吡啶	1 175	3	苦杏仁味	新发现	甲基麦芽酚	1 092	9	面包味,焦糖味	[11]
2-丙基吡啶	1 181	8	碱味	新发现	5-烯丙基愈创木酚	1 343	8	烤香味,烟熏味	新发现
6-甲基-2-吡啶甲酸	840	2	氨水味	新发现	4-乙基-2-甲氧基苯酚	1 299	11	烟熏味,糊味	[9,11]
2-乙酰基呋喃	898	10	甜香,爆香	[11,25]	苯甲醛	945	12	苦杏仁味	[11,23,25]
5-甲基-2-乙酰基呋喃	1 017	8	谷仓味,坚果味	[11]	戊醛	<700	11	发酵味	[23]
2-乙烯基呋喃	<700	9	葱味,焦糖味	[9,11,25]	庚醛	889	8	油腻味,咸香味	[11,25]
2-乙酰基-2-四氢呋喃	801	3	发酵味	新发现	苯乙醛	1 030	12	花香味	[11,23,25]
1-(3-羟基-2-呋喃基)乙酮	1 069	6	橡胶味	新发现	正辛醛	991	4	红豆味	新发现
2-正戊基呋喃	967	13	坚果味,水果味	[9,11]	壬醛	1 092	13	生青味,奶油味	[11,25]
2-正丙基呋喃	998	3	谷仓味	[11]	(E)-2-庚烯醛	944	7	酸败味,生花生味	[11,25]
5-甲基呋喃醛	950	11	蘑菇味	[9,23]	2-十一烯醛	1 349	9	柑橘香	新发现
2,5-二甲基呋喃	<700	5	焦糖味	[11]	(E,E)-2,4-癸二烯醛	1 273	10	油炸味,土腥味	[11,23,25]
甲基糠基二硫	1 195	10	土腥味	[11]	(E)-2-辛烯醛	1 039	10	腐植味,油腻味	[11]
糠醇	842	11	烤花生味	[11]	3-甲基丁醛	<700	10	苹果味	[11]
2-乙基-4-甲基噻唑	950	7	坚果味,青草味	新发现	正己醛	783	13	青草味	[11,25]
2-异丙基-4-甲基噻唑	1 033	4	坚果味	新发现	苯乙醇	1 100	6	豆香味,玫瑰香	[23]
5-乙基噻唑	921	4	爆米花味	新发现	正己醇	849	10	米香味,甜香味	[11,25]
5-乙基-2-甲基噻唑	994	2	谷仓味	新发现	1-辛烯-3-醇	968	10	蘑菇味	[9,11,25]
2-甲基-2-噻唑啉	915	7	硫磺味,焙烤味	[11,25]	丙酸	<700	5	酸味	新发现
					戊酸	885	6	醋味	新发现
					顺基- α -香柠檬	1 418	13	柠檬味	新发现
					间二甲苯	852	13	维生素味,苦味	[11,25]

2.1.1 含氮杂环类气味物质

杂环类物质由芝麻焙烤过程的美拉德反应和焦糖化反应产生^[12-14]。由表1可知,市售芝麻油的杂环类物质含量差异较大。含氮杂环类物质包括吡嗪类、吡咯类、吡啶类化合物。吡嗪类化合物是市售的石磨水代和高温压榨芝麻油中占比最大的气味物质,赋予芝麻油爆米花、炒芝麻和坚果等香气特征^[13]。吡咯和吡啶类化合物具有令人愉悦的爆米花香和焦糖味^[15]。由图1可知,含氮杂环类物质在市售石磨水代和高温压榨芝麻油之间没有显著差异,低温压榨芝麻油未检测到含氮杂环类物质。由表2可知,2,6-二甲基吡嗪、2-甲基吡嗪、2,5-二甲基吡嗪、2-乙基吡嗪、2-乙基-6-甲基吡嗪、2-吡咯甲醛、N-甲基-2-吡咯甲醛、1,5-二甲基-2-吡咯甲腈等含氮杂环类物质在11种市售石磨水代和高温压榨芝麻油中均被检测到。

2.1.2 含氧杂环类气味物质

含氧杂环类气味物质主要为呋喃类化合物,赋予芝麻油焦糖味和爆米花的气味^[16]。由表1和图1可知,石磨水代和高温压榨芝麻油的呋喃类气味物质的含量显著高于低温压榨芝麻油的($p < 0.05$)。这可能是由于芝麻油中的大部分呋喃类物质来自于炒籽时的美拉德反应,少部分来自脂质的自动氧化降解^[16-17]。由表2可知,在13种市售芝麻油中共检测到11种呋喃类气味活性物质。其中,2-正戊基呋喃在13种市售芝麻油中均被检测到。

2.1.3 含硫杂环类气味物质

含硫杂环类物质包括噻唑类和噻吩类化合物,主要来自于含硫氨基酸的热降解和美拉德反应^[18],赋予芝麻油烤肉味、硫磺味和大葱味^[18-19]。由表1和图1可知,高温压榨芝麻油中的含硫杂环类物质的含量最高,显著高于石磨水代芝麻油的($p < 0.05$),低温压榨芝麻油未检测到含硫杂环类气味活性成分。由表2可知,2-乙酰基噻唑、4-甲基噻唑、2-甲基四氢噻吩-3-酮、3-甲基噻吩在11种市售石磨水代和高温压榨芝麻油中均被检测到。

2.1.4 苯酚类气味物质

苯酚类化合物可能是由芝麻中的木质素在炒籽时热降解产生,赋予芝麻油烟熏味^[20]。由表1可知,苯酚类物质含量在13种市售芝麻油中总体存在显著差异($p < 0.05$)。由图1可知,石磨水代芝麻油中的苯酚类物质含量($137.82 \mu\text{g}/\text{mL}$)显著高于高温压榨芝麻油的($81.77 \mu\text{g}/\text{mL}$)($p < 0.05$),这可能是前者烟熏味显著高于后者的原因。石磨水代芝麻油的预处理过程中对芝麻进行了水分调制,多余

的水分可能促进了木质素的降解从而产生了更多的苯酚类物质^[11]。由表2可知,2-甲氧基苯酚、甲基麦芽酚、5-烯丙基愈创木酚、4-乙基-2-甲氧基苯酚在13种市售芝麻油中被检测到的频率分别为13次、9次、8次和11次。2-甲氧基苯酚是唯一在低温压榨芝麻油中被检测到的苯酚类物质,其在低温压榨芝麻油中的含量低于石磨水代和高温压榨芝麻油,表明其可能天然存在于生芝麻中,并在炒籽时因木质素降解而进一步增加^[21]。

2.1.5 羰基类气味物质

芝麻油中发现的羰基类物质包括醛、酮、酯和酸,赋予芝麻油甜香味、生青味和油脂气味^[11,18]。虽然醛类物质的含量较吡嗪类物质低很多,但其阈值也较低,对芝麻油的整体香气起着重要的作用^[22]。由表1可知,13种市售芝麻油的羰基类化合物含量总体存在显著差异($p < 0.05$)。由图1可知,石磨水代和高温压榨芝麻油中羰基类气味物质含量显著高于低温压榨芝麻油($p < 0.05$),可能是因为炒籽时的高温促进了脂质降解形成了更多的羰基化合物^[9]。由表2可知,壬醛和正己醛在13种市售低温压榨、石磨水代和高温压榨芝麻油中均被检测到。壬醛由油酸氧化产生,正己醛由亚油酸氧化产生^[20-21]。苯乙醛和苯甲醛在13种市售芝麻油中被检测到12次(除低温压榨品牌L芝麻油),它们可能由苯丙氨酸通过Strecker降解产生。

2.1.6 其他气味物质

醇类物质多数是由不饱和脂质氧化产生。

由表1和图1可知,石磨水代和高温压榨芝麻油的醇类物质总含量显著高于低温压榨芝麻油的($p < 0.05$)。由表2可知,正己醇、苯乙醇和1-辛烯-3-醇在13种市售芝麻油中检测到的频率分别为10次、6次和10次。正己醇和1-辛烯-3-醇是由亚油酸氧化产生的^[23]。顺基- α -香柠檬和间二甲苯在13种市售芝麻油中均被检测到,分别赋予芝麻油柠檬味和维生素味、苦味。间二甲苯在高温压榨芝麻油和低温压榨芝麻油中均存在,可能是芝麻在种植过程中受到了环境的污染而引入到芝麻油中^[24-25]。

2.2 芝麻油的感官品质差异

13种市售芝麻油的感官评分见表3,不同工艺市售芝麻油感官品质差异见图2。

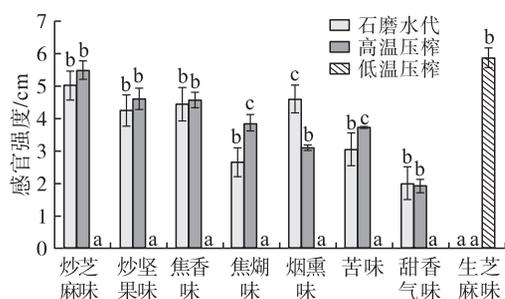
由表3可以看出,13种市售芝麻油的8种感官属性之间存在差异。由图2可知,低温压榨芝麻油表现出了最强的生芝麻味($p < 0.05$),其他感官属性评分均为0,其气味活性物质中主要含有醛类、烯烃和醇类物质(表1)。石磨水代和高温压

榨芝麻油富含杂环类气味活性物质(表1、图1),具有较强的炒芝麻味、炒坚果味和焦香味。石磨水代芝麻油烟熏味最强($p < 0.05$),与其苯酚类物

质的含量最高有关(表1)。高温压榨芝麻油苦味最强($p < 0.05$),这可能与炒籽的程度和压榨时的高温有关^[9]。

表3 13种市售芝麻油的感官评分

品牌	工艺	感官强度/cm							
		炒芝麻味	炒坚果味	焦香味	焦糊味	烟熏味	苦味	甜香味	生芝麻味
A	石磨水代	5.3 ^{cd}	4.0 ^{bcd}	4.6 ^{cd}	3.3 ^{bc}	5.1 ^{fg}	4.3 ^e	1.7 ^{bc}	0.0 ^a
B	石磨水代	5.8 ^{cd}	5.3 ^e	4.8 ^{cd}	2.2 ^b	4.9 ^{ef}	3.9 ^{de}	1.5 ^b	0.0 ^a
C	石磨水代	5.2 ^{cd}	5.2 ^e	5.8 ^d	2.2 ^b	3.9 ^{def}	1.2 ^{ab}	2.9 ^d	0.0 ^a
D	石磨水代	3.9 ^b	2.9 ^b	2.9 ^b	2.1 ^b	5.5 ^g	2.7 ^{cd}	2.3 ^{bcd}	0.0 ^a
E	石磨水代	4.9 ^{bcd}	3.9 ^{bcd}	4.2 ^c	3.5 ^{bcd}	3.7 ^{de}	3.2 ^{de}	1.6 ^b	0.0 ^a
F	高温压榨	6.1 ^d	4.3 ^{cd}	4.9 ^{cd}	3.2 ^{bc}	3.9 ^{def}	3.7 ^{de}	1.3 ^b	0.0 ^a
G	高温压榨	5.6 ^{cd}	5.1 ^{de}	4.6 ^{cd}	3.3 ^{bc}	2.3 ^{bc}	4.2 ^e	1.7 ^b	0.0 ^a
H	高温压榨	5.6 ^{cd}	4.9 ^{cd}	4.3 ^{cd}	3.4 ^{bc}	3.7 ^{cd}	1.7 ^c	1.8 ^{bc}	0.0 ^a
I	高温压榨	5.1 ^{cd}	3.7 ^{bc}	4.9 ^{cd}	4.0 ^{cd}	3.5 ^{cd}	3.5 ^{de}	2.1 ^{bcd}	0.0 ^a
J	高温压榨	6.0 ^d	5.1 ^{de}	4.4 ^{cd}	4.8 ^d	1.4 ^b	2.8 ^{cd}	2.7 ^{cd}	0.0 ^a
K	高温压榨	4.7 ^{bc}	4.6 ^{cd}	4.4 ^{cd}	4.6 ^{cd}	3.9 ^{def}	6.5 ^f	1.9 ^{bcd}	0.0 ^a
L	低温压榨	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	5.6 ^b
M	低温压榨	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	6.2 ^c



注:不同感官品质的感官强度为每种工艺芝麻油的平均值;同一感官属性不同小写字母上标的样品间具有显著差异($p < 0.05$)

图2 不同工艺市售芝麻油感官品质差异

3 结论

本研究利用气味活性成分和感官品质研究了我国市售13个不同工艺芝麻油产品的差异。低温压榨芝麻油中,醛类、烯烃和醇类为主要气味活性成分,具有较强的生芝麻味。石磨水代芝麻油、高温压榨芝麻油的杂环类气味活性成分最丰富,具有较强的炒芝麻味、炒坚果味和焦香味。石磨水代芝麻油的苯酚类物质含量最高,烟熏味最强。高温压榨芝麻油苦味最强。研究结果有助于芝麻油生产企业对产品的香气品质进行市场定位,并为我国芝麻油产品的香气和感官质量的提高提供了一定的参考。

参考文献:

[1] ZHOU Q, GENG F, DENG Q, et al. Dynamic analysis of polar metabolites and volatile compounds in sesame seeds during roasting [J]. Cereal Chem, 2019, 96(2): 358 - 369.

[2] 万茵, 宋莹蕾, 白丽霞, 等. 基于香气强度的芝麻油特征

香气成分分析[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(11): 31 - 34.

[3] 谢岩黎, 赵文红, 孙淑敏, 等. 芝麻油风味成分和营养功能研究进展[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(2): 67 - 71.

[4] 闫政, 马宇翔, 曾国展, 等. 浸出芝麻油中芝麻木酚素提取工艺的研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(9): 107 - 111.

[5] SHI L, ZHENG L, ZHANG Y, et al. Evaluation and comparison of lipid composition, oxidation stability, and antioxidant capacity of sesame oil: an industrial - scale study based on oil extraction method[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2018, 120(10): 158 - 180.

[6] 张艳, 宋高翔, 陶宇. 芝麻油加工工艺现状及发展趋势[J]. 粮食与食品工业, 2015, 22(5): 23 - 26.

[7] 尹文婷, 马雪婷, 汪学德. 不同工艺芝麻油的挥发性成分分析和感官评价[J]. 中国油脂, 2019, 44(12): 8 - 13.

[8] YIN W T, WASHINGTON M, MA X T, et al. Consumer acceptability and sensory profiling of sesame oils obtained from different processes [J]. Grain Oil Sci Technol, 2020, 3(2): 39 - 48.

[9] 马雪婷, 尹文婷, 李诗佳, 等. 炒籽温度对芝麻油香气活性组分和感官品质的影响[J]. 中国油脂, 2021, 46(8): 6 - 11.

[10] 张艳, 宋高翔, 陶宇. 芝麻油加工工艺现状及发展趋势[J]. 粮食与食品工业, 2015, 22(5): 23 - 26.

[11] 马雪婷. 芝麻油香气活性的分子组成与影响因素及储藏稳定性研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2021.

[12] 尹文婷, 汪学德, 刘玉兰, 等. 芝麻油感官评价: T/CCOA 29 - 2020[S]. 北京: 中国粮油学会, 2021.

[13] ADAMS A, KIMPE N D. Formation of pyrazines from

- ascorbic acid and amino acids under dry - roasting conditions [J]. *Food Chem*, 2009, 115(4): 1417 - 1423.
- [14] 王芙蓉, 范家琪, 沈海亮, 等. 葵花籽油中吡嗪类风味化合物形成机理的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(2): 330 - 334.
- [15] 李会晓. 芝麻油及其脂肪酸对脱脂芝麻粕热反应挥发性香气成分的影响[D]. 南昌:南昌大学, 2016.
- [16] 李鹏宇, 张宁, 陈海涛, 等. SDE - GC - MS 结合 GC - O 分析番茄牛腩的挥发性风味成分[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(2): 89 - 97.
- [17] 刘鑫, 李睿, 徐漪沙, 等. 不同加工处理方式对芝麻油风味的影响研究[J]. *保鲜与加工*, 2020, 20(6): 148 - 156.
- [18] 魏长庆. 新疆胡麻油特征香气成分鉴别及其产生机制研究[D]. 江苏 无锡:江南大学, 2015.
- [19] XU Y D, PING P L, FANG W, et al. The impact of processing on the profile of volatile compounds in sesame oil [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2012, 114(3): 277 - 286.
- [20] MANLEY C H, VALLON P P, ERICKSON R E. Some aroma components of roasted sesame seed (*Sesamum indicum* L.) [J]. *J Food Sci*, 1974, 39(1): 73 - 76.
- [21] 孙灵霞, 李苗云, 靳春杰, 等. 基于电子鼻和气质联用技术分析不同品牌道口烧鸡的香气差异性[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(6): 238 - 243.
- [22] 闫鉴, 兰天, 王家琪, 等. 基于电子鼻和气质联用技术分析市售牡丹籽油产品的香气差异性[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(19): 264 - 274.
- [23] JIA X, ZHOU Q, WANG J, et al. Identification of key aroma - active compounds in sesame oil from microwaved seeds using E - nose and HS - SPME - GC \times GC - TOF/MS[J/OL]. *J Food Biochem*, 2019, 43(10): e12786 [2022 - 07 - 12]. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12786>.
- [24] KHODER M I. Ambient levels of volatile organic compounds in the atmosphere of Greater Cairo [J]. *Atmos Environ*, 2007, 41(3): 554 - 566.
- [25] YIN W T, MA X T, LI S J, et al. Comparison of key aroma - active compounds between roasted and cold - pressed sesame oils[J/OL]. *Food Res Int*, 2021, 150: 110794 [2022 - 07 - 12]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110794>.
-
- (上接第 49 页)
- [12] 杨雅新, 汪学德, 郑永战. 冷榨芝麻油在煎炸过程中的品质变化[J]. *粮食与油脂*, 2016, 29(7):35 - 38.
- [13] 袁立阳. 煎炸油中极性物质及其氧化甘油三酯的生物评价[J]. 江苏 无锡:江南大学, 2021.
- [14] 史德青, 何志敏, 齐崑. 蛋白质酶促水解过程集总动力学研究[J]. *化学反应工程与工艺*, 2002, 18(4): 315 - 322.
- [15] SMITH R. Kinetic analysis of naphtha reforming with platinum catalyst[J]. *Chem Eng Prog*, 1959, 55:76 - 80.
- [16] 周红军. 芳烃型连续重整集总反应动力学模型研究[D]. 上海:华东理工大学, 2011.
- [17] 张红梅, 吴慧雄, 张树增, 等. 十七集总催化重整反应器的稳态模拟[J]. *北京化工大学学报(自然科学版)*, 2003, 30(5):35 - 39.
- [18] 余顺波, 陈长艳, 张品, 等. 11 种食用植物油的脂肪酸组成及主要营养成分含量[J]. *贵州农业科学*, 2022, 50(7):113 - 120.
- [19] 方亚峰, 周婷, 陶丽媛, 等. 食用油在持续煎炸过程中品质的变化与评价[J]. *粮食与食品工业*, 2016, 23(2):32 - 34, 39.
- [20] 张栩, 李颖, 汪勇, 等. 亚麻籽油和棕榈液油煎炸油条过程中的品质变化[J]. *中国油脂*, 2021, 46(7):41 - 47, 68.
- [21] 宿时, 杨雅新, 钱志伟, 等. 冷榨花生油在煎炸过程中的品质变化[J]. *食品科技*, 2020, 45(6):239 - 243.
- [22] 张家枫, 刘玉兰, 安柯静, 等. 煎炸不同食材的花生油中极性组分与氧化甘油三酯聚合物含量的相关性研究[J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(7):79 - 84.
- [23] 董会娟. 菜籽油煎炸过程中品质变化及氧化稳定性研究[D]. 天津:天津科技大学, 2019.
- [24] RICE F O, HERZFELD K F. The thermal decomposition of organic compounds from the standpoint of free radicals. VI. The mechanism of some chain reactions [M]// *Selected Readings in Chemical Kinetics*. Amsterdam: Elsevier, 1967:154 - 170.
- [25] SHUN W, KOIZUMI C. Influence of the position of unsaturated fatty acid esterified glycerol on the oxidation rate of triglyceride [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1983, 60(6):1105 - 1109.