

炒籽温度对芝麻油香气活性组分 和感官品质的影响

马雪婷¹, 尹文婷¹, 李诗佳¹, 汪学德¹, 郑楠楠¹, 冯成², 杨忠欣³

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 郑州 450001; 2. 驻马店顶志食品有限公司, 河南 驻马店 463000;

3. 瑞福油脂股份有限公司, 山东 潍坊 261000)

摘要:利用 SPME-GC-MS-O 分析了不同炒籽温度下芝麻油的香气活性组分, 利用描述性分析技术比较了芝麻油的感官品质差异, 利用 9 点快感标度评价了芝麻油的消费者接受度。结果表明: 随着炒籽温度的升高, 芝麻油挥发性成分的含量逐渐增多, 其中主要的香气活性物质吡嗪类含量增加最为显著。炒籽温度为 160 °C 时, 检测到 25 种香气活性物质, 芝麻油整体香气最弱, 具有生芝麻味; 炒籽温度为 180 °C 时, 检测到 28 种香气活性物质, 芝麻油香气和口感最佳, 刺激感最低, 消费者接受度最高; 炒籽温度为 200 °C 时, 检测到 31 种香气活性物质, 芝麻油整体香气较强, 但焦糊味、苦味和刺激感等负面感官强度明显增加。

关键词:芝麻油; 炒籽温度; GC-MS-O; 挥发性成分; 香气活性组分; 描述性分析

中图分类号: TS224.2; TS227 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)08-0006-06

Effect of seed roasting temperature on the aroma-active composition and sensory quality of sesame oil

MA Xueting¹, YIN Wenting¹, LI Shijia¹, WANG Xuede¹,
ZHENG Nannan¹, FENG Cheng², YANG Zhongxin³

(1. School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. Zhumadian Ding Zhi Foodstuff Co., Ltd., Zhumadian 463000, Henan, China;

3. Ruifu Sesame Oil Co., Ltd., Weifang 261000, Shandong, China)

Abstract: SPME-GC-MS-O was used to investigate the effect of seed roasting temperature on the aroma-active composition of sesame oil. The sensory quality of sesame oil was measured by quantitative descriptive analysis. Consumer acceptability was rated on a 9-point hedonic scale. The total volatile contents in sesame oil increased with the increasing of seed roasting temperature. Pyrazines, as the most important odor-active compounds in sesame oil, increased most dramatically. When seed roasting temperature was 160 °C, 25 odor-active compounds were detected, and the sesame oil had the weakest overall aroma profile with raw sesame seed flavor. 28 Odor-active compounds were detected in the sesame oil when seed roasting temperature was 180 °C, and it had the most desired flavor and mouthfeel,

the least irritation with the highest consumer acceptability ratings. 31 Odor-active compounds were detected in the sesame oil when seed roasting temperature was 200 °C, and it was the strongest overall flavor intensity, but it also had obvious undesired attributes including burnt, bitter and irritation.

Key words: sesame oil; seed roasting temperature; GC-MS-O; volatile compound; aroma-active compound; quantitative descriptive analysis

收稿日期: 2020-12-07; 修回日期: 2020-12-17

基金项目: 国家特色油料产业技术体系(CARS-14-1-29); 河南工业大学博士基金(2018BS060); 芝麻油感官评价标准制定(51001157)

作者简介: 马雪婷(1995), 女, 硕士研究生, 研究方向为油脂风味化学(E-mail) 18838919024@163.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) wangxuede1962@126.com。

芝麻油具有丰富的营养和独特的香气而深受我国消费者喜爱。研究表明,炒籽条件的控制对芝麻油香气的形成和感官品质影响显著^[1]。适度炒籽能赋予芝麻油良好的香气,提高消费者接受度,同时也能有效控制高温下苯并芘^[2]和氯丙醇酯^[3]等有害物质的形成。

目前国内外关于炒籽温度对芝麻油品质影响的研究主要集中于炒籽温度对芝麻油挥发性成分的影响^[4-7]。Dong^[4]、Park^[7]等采用固相微萃取(SPME)研究了炒籽温度对芝麻油挥发性成分的影响,结果发现,芝麻油中总挥发性物质、吡嗪、呋喃和糠醛的含量随着炒籽温度的升高而增加,其中吡嗪、呋喃和糠醛等物质均是焙烤过程中美拉德反应和焦糖化反应的主要产物^[8]。然而,并不是所有的挥发性成分都对芝麻油的香气有贡献,仅有少部分在芝麻油中浓度高于其气味阈值的挥发性成分才具有香气活性,这些物质被称为香气活性物质,它们对芝麻油整体的香气有很大贡献^[9]。目前关于炒籽条件对芝麻油中香气活性物质和感官品质影响的研究很少。

利用气相色谱-质谱-嗅闻联用(GC-MS-O)技术将香气物质的分子结构和人嗅觉联系起来,更能有效地评价芝麻油的风味品质。本研究采用 SPME 和 GC-MS-O 技术,对不同炒籽温度下的芝麻油的挥发性成分、香气活性组分进行了鉴定和比较,并评价其感官品质和消费者喜爱度,从风味和感官品质的角度为芝麻油的生产工艺优化提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

赣芝 10 号芝麻,河南省农业科学院提供。

BT-10 炒籽机,山东邦腾机械设备有限公司;10832 液压榨油机,郑州金邦机械制造有限公司;扬烟机,天津众品味食品有限公司;DZKW-S-4 电热恒温水浴箱;配有 DVB-CAR-PDMS 的 SPME 进样器(50/30 μm 萃取头),Sigma 公司;5977A-7890B GC-MS 气相色谱-质谱联用仪(配有 Agilent MSD 化学工作站和 NIST17 质谱库),美国安捷伦公司;20 mL 带聚四氟乙烯隔垫的 18003C 顶空进样瓶,道邦科技;嗅辨仪(ODP),美国 Gerstel 公司。

河南工业大学小麦和玉米深加工国家工程实验室的国际标准化感官实验室设计参考 GB/T 13868—2009《感官分析 建立感官分析实验室的一般导则》的标准,配有准备室、讨论室和评价室。

1.2 实验方法

1.2.1 芝麻油的制备

将清理干净的生芝麻放入设定不同温度(160、

180、200 $^{\circ}\text{C}$)炒籽机中焙炒 15 min。将炒好的芝麻进行扬烟,使芝麻迅速冷却至室温。经液压压榨后,用离心机离心过滤得到芝麻油,放入冰箱中-24 $^{\circ}\text{C}$ 冷藏备用。

1.2.2 挥发性成分和香气活性组分分析

采用 SPME 对 1.2.1 中得到的 3 份芝麻油的挥发性成分进行萃取。每次使用 SPME 萃取头前,将其放入气相色谱的进样口,在 250 $^{\circ}\text{C}$ 下老化 1 h。将 5 g 芝麻油放入 20 mL 顶空进样瓶中,插入 SPME 萃取头,在 60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中萃取 50 min。拔出萃取头,插入 GC 进样口,在 250 $^{\circ}\text{C}$ 下解吸 2 min 进行 GC-MS-O 分析。

GC 条件:HP-5MS 毛细管柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);升温程序为起始温度 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 3.5 min,以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度升温到 230 $^{\circ}\text{C}$,保持 8 min;载气为高纯氦气(纯度 99.999%),流速 1.8 mL/min。

MS 条件:电子轰击(EI)离子源,电子能量 70 eV;传输线温度 280 $^{\circ}\text{C}$;离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$;四级杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$;增益因子 1.00;全扫描采集模式;质量扫描范围(m/z)33~500。

GC-O 条件:测定的挥发性成分在质谱和嗅辨仪之间的比例为 1:1;嗅闻小组成员为 5 个经过 1 年芝麻油专项嗅闻培训的食品学院研究生。

采用 NIST17 质谱库对检测到的芝麻油的挥发性成分初步定性匹配度为 80% 以上的物质。此外,在相同的色谱条件下对正构烷烃(C7~C30)进行分析,获得一系列正构烷烃的保留时间,以此计算挥发性化合物的线性保留指数(RI),与标准化学品(STD)的 RI 进行比较定性^[8]。采用面积归一化法计算各物质的相对含量。

1.2.3 感官评价

将外观无明显差异的芝麻油样品盛放在统一规格的品油杯中,并使用无气味标签纸对其进行随机的三位数编码。称取 10 mL 芝麻油样品,用玻璃盖密封,将其保存在(28 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 恒温装置中待用。

感官评价小组由 12 名经过 2 年培训的食品学院研究生组成。参照尹文婷等^[1]的方法制定芝麻油感官评价方法并进行适当修改。芝麻油感官属性定义见表 1。80 名消费者用 9 点快感标度(1=极其不喜欢,5=既不喜欢也不讨厌,9=非常喜欢)对每个样本的可接受性进行评分。感官评分在 0~100 mm 标尺上打分,属性强度为 0 mm 最弱,100 mm 最强。

实验数据由 Compusense Cloud(Compusense 有

限公司,加拿大安大略省)计算机系统收集并进行方差分析(ANOVA)和对应分析(Corresponding Analysis)。

表1 芝麻油感官属性定义

感官属性	定义
炒芝麻味	炒熟的芝麻的香气
焦香味	适度炒制的食品的焦香味
留香	吞咽芝麻油后,其香气在口腔持续停留
焦糊味	过度焙烤而变焦、变黑的芝麻的气味,闻起来略苦
苦味	苦的基本味觉
涩味	口腔中表面收缩、拉紧、起皱的触觉
生芝麻味	未经加热或焙炒的芝麻的固有气味
焦糖味	芝麻经过焙炒后所散发出的一种带有甜香、焦苦的气味
层次感	形容芝麻油香气属性多样,有很多层次,例如前、中、后香调不同
刺激感	喉咙或舌头上蛰刺、疼痛的口感

2 结果与分析

2.1 炒籽温度对挥发性成分和香气活性组分的影响

利用 SPME-GC-MS 分析不同炒籽条件下的芝麻油的挥发性物质,在 3 份芝麻油中共检测到 202 种挥发性成分,主要包括吡嗪类、醛类、酮类、醇类、呋喃类、吡咯类、酚类、烃类、吡啶类、酯类、噻唑类等(如图 1 和图 2 所示)。炒籽时间相同的条件

下,随着芝麻炒籽温度的升高,芝麻油挥发性物质的含量均明显增加。利用 GC-MS-O 共检测到 37 种香气活性物质,其中 20 种香气活性物质在 3 种芝麻油中同时被检测到(见表 2)。

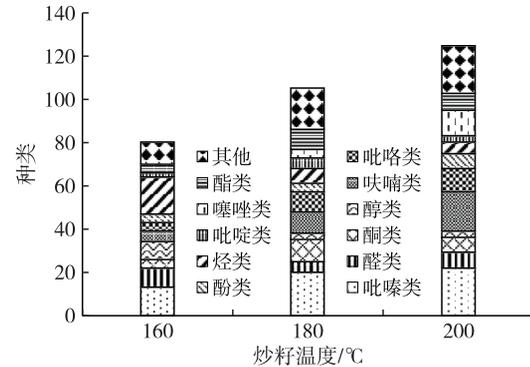


图1 不同炒籽温度的芝麻油中挥发性成分的种类

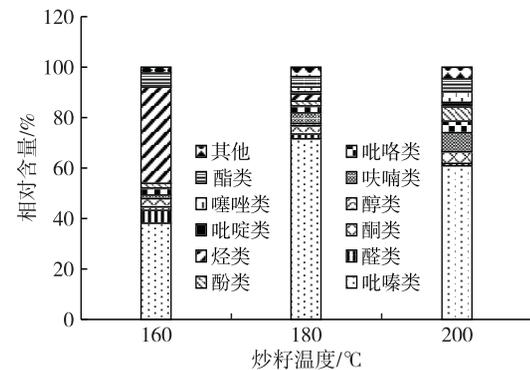


图2 不同炒籽温度的芝麻油中不同挥发性成分的相对含量

表2 不同炒籽温度下芝麻油香气活性物质的相对含量

香气活性物质	保留指数	相对含量/%			气味描述
		160 °C	180 °C	200 °C	
2-甲基吡嗪	764	5.1 ± 1.1	16.2 ± 1.7	19.0 ± 1.8	爆米花味、焙烤味
2,5-二甲基吡嗪	885	17.4 ± 0.1	24.7 ± 6.4	9.5 ± 0.9	坚果味、炒芝麻味
2,6-二甲基吡嗪	889	-	-	6.3 ± 0.6	焙烤味、坚果味
2-乙基吡嗪	892	1.5 ± 0.0	2.1 ± 0.2	1.7 ± 0.1	花生酱味、炒芝麻味
2,3-二甲基吡嗪	896	1.0 ± 0.1	2.3 ± 0.6	1.5 ± 0.2	焙烤味、坚果味
2-乙基-6-甲基吡嗪	986	0.7 ± 0.2	3.1 ± 0.3	2.8 ± 0.1	坚果味
2-乙基-5-甲基吡嗪	989	3.0 ± 0.1	5.3 ± 0.4	3.2 ± 0.0	坚果味
2,3,5-三甲基吡嗪	990	4.5 ± 0.2	6.2 ± 0.2	3.5 ± 0.3	焙烤味、坚果味
2-乙酰基吡嗪	1 012	-	0.4 ± 0.0	1.0 ± 0.1	爆米花味、坚果味
3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	1 073	3.7 ± 0.2	6.4 ± 0.2	5.6 ± 0.2	坚果味、焙烤味
2,3-二甲基-5-乙基吡嗪	1 081	0.4 ± 0.0	1.7 ± 0.2	1.4 ± 0.1	焙烤味、坚果味
2,6-二乙基吡嗪	1 082	-	-	0.6 ± 0.0	焙烤味、坚果味
2,3-二乙基-5-甲基吡嗪	1 153	0.1 ± 0.0	0.7 ± 0.0	0.6 ± 0.0	土豆味
吡咯	<700	0.4 ± 0.0	0.9 ± 0.1	1.1 ± 0.1	甜味、坚果味
2-乙酰基吡咯	1 055	-	-	0.6 ± 0.0	坚果味、爆米花味
1-糠基吡咯	1 181	-	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	坚果味、奶香味
2-乙烯基呋喃	<700	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	-	蒜味、焦糖味
5-甲基呋喃醛	950	-	0.3 ± 0.0	0.9 ± 0.0	苦杏仁味、焦糖味
2-正戊基呋喃	981	0.9 ± 0.0	0.8 ± 0.1	0.4 ± 0.0	焦糖味
2-甲基噻唑	743	-	-	0.2 ± 0.0	硫味、洋葱味

续表 2

香气活性物质	保留指数	相对含量/%			气味描述
		160℃	180℃	200℃	
4-甲基噻唑	758	-	0.2±0.0	0.6±0.0	硫味、烤肉味
2,4-二甲基噻唑	856	-	0.2±0.0	0.4±0.0	硫味、蒜味
2-甲基-2-噻唑啉	919	-	-	0.3±0.0	焙烤味、硫味
噻吩	<700	0.1±0.0	0.2±0.0	0.2±0.0	焙烤味、蒜味
四氢噻吩酮	933	-	-	0.2±0.0	蘑菇味、硫味
2-甲氧基苯酚	1 085	-	0.4±0.0	2.2±0.1	烟熏味、焦糊味
4-乙炔基-2-甲氧基苯酚	1 314	0.5±0.2	0.6±0.1	1.0±0.0	烟熏味、焦糊味
3-甲基丁醛	<700	0.6±0.0	0.2±0.0	0.2±0.0	麦芽味、水果味
2-甲基丁醛	<700	2.0±0.0	1.0±0.1	0.4±0.0	苦杏仁味、水果味、焦糊味
正己醛	743	0.8±0.0	-	-	生青味
壬醛	1 100	0.3±0.1	-	-	青草味、脂肪味
2,3-戊二酮	<700	0.3±0.0	0.2±0.0	0.1±0.0	焦糊味
2-庚酮	864	0.8±0.1	0.6±0.1	0.1±0.0	肥皂味、香蕉味
1-辛烯-3-醇	969	0.7±0.0	0.5±0.1	-	蘑菇味、土腥味
正辛醇	1 067	0.1±0.0	0.1±0.0	-	蘑菇味
辛烷	727	1.2±0.2	0.4±0.1	0.1±0.0	柠檬味、水果味
D-柠檬烯	1 019	0.7±0.0	-	-	柠檬味、树脂味

注：“-”表示未检出。

吡嗪类化合物为芝麻油中含量最丰富的物质,160、180℃和200℃炒籽时分别检测到吡嗪类物质13种(38.3%)、20种(71.6%)和22种(60.9%),它们是由芝麻中的氨基酸与还原糖在高温条件下发生美拉德反应产生,具有花生酱味、焙烤味、坚果味以及爆米花味等气味特征^[1,8-12]。具有香气活性的吡嗪类物质共有13种(其中160℃10种,180℃11种,200℃13种),包括2-甲基吡嗪(爆米花味,焙烤味)、2,5-二甲基吡嗪(坚果味,炒芝麻味)、2,6-二甲基吡嗪(焙烤味,坚果味)、2-乙基吡嗪(花生酱味,炒芝麻味)、2,3-二甲基吡嗪(焙烤味,坚果味)、2-乙基-6-甲基吡嗪(坚果味)、2-乙基-5-甲基吡嗪(坚果味)、2,3,5-三甲基吡嗪(焙烤味,坚果味)、2-乙酰基吡嗪(爆米花味,坚果味)、3-乙基-2,5-二甲基吡嗪(坚果味,焙烤味)、2,3-二甲基-5-乙基吡嗪(焙烤味,坚果味)、2,6-二乙基吡嗪(焙烤味,坚果味)、2,3-二乙基-5-甲基吡嗪(土豆味)。2,6-二甲基吡嗪和2,6-二乙基吡嗪仅在高温焙炒(200℃)条件下检测到,与Kim等^[6]的研究结果相似。

吡咯类和吡啶类化合物种类及相对含量总体随着炒籽温度的升高逐渐增加,160℃炒籽时检测到4种吡咯类(2.6%)和2种吡啶类(0.4%);180℃炒籽时检测到9种吡咯类(3.0%)和5种吡啶类(1.1%);200℃炒籽时检测到11种吡咯类(4.7%)

和3种吡啶类(1.3%)。吡咯类和吡啶类化合物均是由美拉德反应形成^[1]。具有香气活性的吡咯类化合物有吡咯(甜味,坚果味)、2-乙酰基吡咯(坚果味,爆米花味)、1-糠基吡咯(坚果味,奶香味)。

呋喃类化合物种类及相对含量随着炒籽温度的升高而增加,160、180℃和200℃炒籽时分别检测到呋喃类物质5种(1.6%)、10种(4.1%)和18种(7.4%)。呋喃类化合物的形成主要包括焦糖化反应和脂质氧化反应^[11]。2-乙炔基呋喃(蒜味、焦糖味)、5-甲基呋喃醛(苦杏仁味、焦糖味)和2-正戊基呋喃(焦糖味)为具有香气活性的呋喃类物质。

噻唑类化合物种类及相对含量随着炒籽温度的升高而增加,在160、180℃和200℃炒籽时分别检测到噻唑类化合物0种、4种(1.6%)和12种(4.0%)。噻唑类物质具有油炸以及坚果样气味并略带辛辣气息,可能是高温炒籽下糖的分解产物与脱氨酸或半胱氨酸的分解产物相互作用下产生的^[13-14]。具有香气活性的噻唑类化合物有4种,包括2-甲基噻唑(硫味,洋葱味)、4-甲基噻唑(硫味,烤肉味)、2,4-二甲基噻唑(硫味,蒜味)和2-甲基-2-噻唑啉(焙烤味,硫味)。

随着炒籽温度的升高,醛类物质的相对含量逐渐降低,160、180℃和200℃炒籽时分别检测到醛类物质9种(5.0%)、5种(1.9%)和7种(1.1%)。醛类化合物作为美拉德反应的前体物质,其相对含

量随焙烤程度的加深呈现降低的趋势,可能因为油脂氧化程度的加深,使醛类化合物发生了分解或者与其他化学物质发生了反应^[2, 11]。具有香气活性的醛类化合物包括 3-甲基丁醛(麦芽味,水果味)和 2-甲基丁醛(苦杏仁味,水果味,焦糊味)。

酮类化合物是油脂发生自动氧化产生的,芝麻发生油脂氧化的程度随着焙炒程度的加深而加深,所以酮类物质的相对含量随焙炒程度的加深而增加^[11]。160、180、200 °C 炒籽时分别检测到酮类化合物 4 种(1.6%)、10 种(3.4%)和 7 种(4.3%)。具有香气活性的酮类化合物有 2,3-戊二酮(焦糊味)和 2-庚酮(肥皂味,香蕉味)。

与醛类化合物变化趋势相似,醇类化合物相对含量随着炒籽温度的升高呈现降低的趋势。160、180、200 °C 炒籽时分别检测到醇类化合物 8 种(3.0%)、3 种(0.7%)和 3 种(0.2%)。醇类化合物作为脂质氧化的初级产物,随着炒籽温度的升高发生分解产生其他的氧化产物^[11-12]。1-辛烯-3-醇(蘑菇味,土腥味)和正辛醇(蘑菇味)为具有香气活性的醇类化合物。

在 200 °C 炒籽时检测到 7 种酚类化合物(5.4%),160 °C (1.8%)和 180 °C (1.6%)炒籽时均检测到 4 种。酚类化合物的生成与芝麻原料中天然羧酸酐的降解有关^[15],同时,在高温炒籽条件下,芝麻林素的降解还可以生成芝麻酚^[11]。2-甲氧基苯酚(烟熏味,焦糊味)和 4-乙基-2-甲氧基苯酚(烟熏味,焦糊味)是具有香气活性的酚类化合物。

烃类化合物包括烯烃和烷烃,其种类及相对含量随着炒籽温度的升高而降低,在 160、180、200 °C 炒籽时分别检测到烃类化合物 17 种(37.97%)、7 种(2.9%)和 5 种(0.6%)。这些烷烃和烯烃类化合物也是脂质氧化产生的初级产物^[16]。其中辛烷(柠檬味,水果味)和 *D*-柠檬烯(柠檬味,树脂味)为具有香气活性的烃类化合物。

此外,噻吩(焙烤味,蒜味)和四氢噻吩酮(蘑菇味,硫味)也是芝麻油中的香气活性物质。噻吩类物质的形成与含硫氨基酸的降解有关^[8, 14]。

2.2 炒籽温度对感官属性的影响(见图 3、图 4)

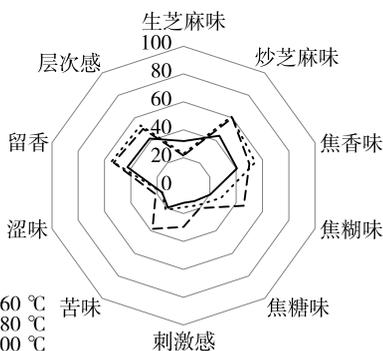


图 3 芝麻油样品感官属性雷达图

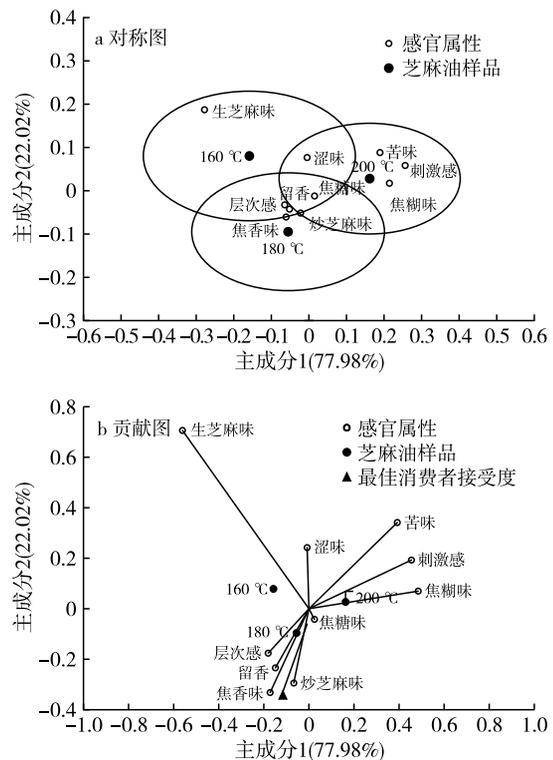


图 4 芝麻油感官属性主成分分析

由图 3 可知,10 个感官属性在 3 个芝麻油样品间存在显著差异($p < 0.05$),包括生芝麻味、炒芝麻味、焦香味、焦糊味、焦糖味、刺激感、苦味、涩味、留香和层次感。随着炒籽温度的升高,苦味、刺激感、焦糖味、焦糊味以及涩味显著增强。在 160 °C 炒籽时,芝麻油的生芝麻味最重。180 °C 炒籽时,芝麻油的焦香味、层次感和留香程度高于其他炒籽温度下的芝麻油。200 °C 炒籽时,芝麻油的焦糊味、焦糖味、刺激感和苦味等感官属性较强。

由图 4a 可知,主成分 1 解释了 77.98% 的变量,主成分 2 解释了 22.02% 的变量。主成分 1 体现了炒籽温度对芝麻油感官属性的影响。3 份芝麻油的感官属性有部分重叠,说明它们在感官属性上有相似性也有差异性。在 180 °C 炒籽时,芝麻油具有较强的焦糖味、炒芝麻味、层次感和焦香味,留香持久;160 °C 炒籽时,芝麻油的生芝麻味最强;200 °C 炒籽时,芝麻油的苦味、刺激感和焦糊味最强。

结合表 2,炒芝麻味主要来自 2-甲基吡嗪、2,5-二甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、2-乙基吡嗪、2,3-二甲基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪、3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、2,3-二甲基-5-乙基吡嗪、2,6-二乙基吡嗪、2-甲基-2-噻唑啉和噻吩,它们在 180 °C (59.8%) 炒籽芝麻油中的总相对含量高于 160 °C (33.7%) 和 200 °C (49.6%)。焦香味主要来自于 2-乙基-5-甲基吡嗪、2-乙基-6-甲基

吡嗪、2-乙酰基吡嗪、2,3-二乙基-5-乙基吡嗪、吡咯、1-糠基吡咯和2-乙酰基吡咯,它们在180℃(10.5%)炒籽芝麻油中的总相对含量高于160℃(4.2%)和200℃(9.4%)。2-乙炔基呋喃、5-甲基呋喃醛和2-正戊基呋喃对芝麻油中的焦糖味有贡献,3种物质在180℃(1.3%)和200℃(1.3%)炒籽芝麻油中的相对含量高于160℃(1.0%)。焦糊味主要来自2-甲氧基苯酚、4-乙炔基-2-甲氧基苯酚、2-甲基丁醛和2,3-戊二酮,4种物质在200℃(3.7%)炒籽芝麻油中的相对含量高于160℃(2.8%)和180℃(2.2%)。所以200℃炒籽的芝麻油有很明显的焦糊味和苦味。生芝麻味存在于160℃炒籽的芝麻油中,主要来自正己醛、壬醛、1-辛烯-3-醇、正辛醇、辛烷和D-柠檬烯,它们在160℃(3.8%)炒籽芝麻油的相对含量最高(180℃(1.0%),200℃(0.1%))。

2.3 炒籽温度对消费者接受度的影响

利用9点快感标度测量芝麻油的消费者接受度,180℃炒籽的芝麻油评分(7.5±0.8)显著高于160℃(5.3±0.9)和200℃(6.2±0.6)炒籽的芝麻油。由图4b可知,芝麻油的接受度与焦香味、炒芝麻味、焦糖味、留香和层次感呈现很强的正相关,与生芝麻味、涩味、苦味、焦糊味和刺激感呈现负相关。石龙凯等^[17]研究发现,低温(160℃和180℃)炒籽时,苯并芘含量相似,当炒籽温度为200℃时,苯并芘含量急剧增加。180℃炒籽条件下芝麻油具有最佳的风味感官品质,同时也能有效控制苯并芘等有害物质的含量,为最适宜的炒籽温度。

3 结论

不同炒籽温度制备的芝麻油具有不同的香气物质组成、感官品质和消费者接受度。随着炒籽温度的升高,芝麻油挥发性成分的含量逐渐增多。炒籽温度为160℃时,制备的芝麻油生芝麻味最为突出,检测到25种香气活性物质。炒籽温度为180℃时,制备的芝麻油检测到28种香气活性物质,芝麻油的风味和口感最佳,刺激感最低,有较强的炒芝麻味、焦糖味、焦香味、层次感和留香,消费者接受度最高。炒籽温度为200℃时,芝麻油中检测到31种香气活性物质,芝麻油的整体风味强度高,且具有焦糊味、涩味、苦味、刺激感等负面感官属性。适度的炒籽不仅能赋予芝麻油最佳的香气,同时对控制芝麻油中有害物质的形成具有重要意义。因此,芝麻油生产厂家应结合具体的生产条件选择适宜的炒籽温度,在提高消费者对芝麻油产品接受度的同时,保证芝

麻油产品的质量和安全品质。

参考文献:

- [1] 尹文婷, 马雪停, 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.
- [2] 任勇, 汪学德. 炒籽条件对压榨芝麻油品质影响[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(3): 61-64.
- [3] 张家枫, 刘玉兰, 孙国昊, 等. 不同食用油的甘油酯组成及3-MCPD酯和GEs含量研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(12): 38-43.
- [4] DONG X Y, LI P P, WEI F, et al. The impact of processing on the profile of volatile compounds in sesame oil[J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2012, 114(3): 277-286.
- [5] RYU S N, KIM S M, XI J, et al. Influence of seed roasting process on the changes in volatile compounds of the sesame (*Sesamum indicum* L.) oil [M]// SHAHIDI F, HD C T. Flavor Chemistry of Ethnic Foods. New York: Springer, 1999: 229-237.
- [6] KIM H W, PARK K M, CHOI C U. Studies on the volatile flavor compounds of sesame oils with roasting temperature[J]. Korean J Food Sci Technol, 2000, 32(2): 238-245.
- [7] PARK M H, JEONG M K, YEO J, et al. Application of solid phase-microextraction (SPME) and electronic nose techniques to differentiate volatiles of sesame oils prepared with diverse roasting conditions[J]. J Food Sci, 2011, 76(1): 80-88.
- [8] 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×GC-TOF/MS[J]. J Food Biochem, 2019, 43(10): 1-15.
- [9] SONG H L, LIU J B. GC-O-MS technique and its applications in food flavor analysis[J]. Food Res Int, 2018, 114: 187-198.
- [10] NAKAMURA S, NISHIMURA O, MASUDA H, et al. Identification of volatile flavor components of the oil from roasted sesame seeds[J]. Agric Biol Chem, 2014, 53(7): 1891-1889.
- [11] 周瑞宝. 芝麻香油风味成分[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(3): 310-315.
- [12] 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.
- [13] 汪学德, 鞠阳, 马素换, 等. 芝麻油质量安全问题与控制技术[J]. 食品科学技术学报, 2015, 33(1): 13-17.
- [14] 刘乾坤, 周瑞宝. 芝麻香油挥发性风味成分研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1993(1): 1-14.
- [15] 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.
- [16] FRANKEL E N. Volatile lipid oxidation products[J]. Prog Lipid Res, 1983, 22(1): 1-33.
- [17] 石龙凯, 刘玉兰, 崔瑞福, 等. 油籽炒籽条件对油脂中多环芳烃含量影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(3): 79-83, 90.