

小磨芝麻香油制备过程中品质的变化

黄欣宇¹, 夏晓红¹, 韩佳欣¹, 褚艺¹, 郝文彬², 韩彩静¹, 王霞^{1,3}, 张丰香^{1,3}

(1. 山东第二医科大学 公共卫生学院, 山东 潍坊 261053; 2. 瑞福油脂股份有限公司, 山东 潍坊 261057;
3. 潍坊市食品营养与安全重点实验室, 山东 潍坊 261053)

摘要:为了更好地对小磨芝麻香油进行质控,在芝麻焙炒、石磨磨浆、水墩油3个主要工艺过程结束时取样,对不同工艺阶段芝麻油的色泽、酸值、过氧化值、脂肪酸组成及风味进行了检测。结果表明:水墩油过程使芝麻油有最大的 a 值和 b 值,分别为12.84和89.36;焙炒和石磨磨浆过程芝麻油的酸值不断降低,经水墩油之后又有所上升;与未焙炒的芝麻油相比,焙炒使芝麻油的多不饱和脂肪酸含量略有增加;电子鼻检测结果与GC-MS结果一致,焙炒和石磨磨浆过程所得芝麻油的风味相似,而水墩油使芝麻油风味物质种类增多,风味更强。综上,除焙炒过程外,水墩油也是影响小磨芝麻香油品质,特别是色泽和风味的关键环节,应加强对该阶段小磨芝麻香油风味物质变化与形成的研究。

关键词:小磨芝麻香油;色泽;酸值;过氧化值;脂肪酸;风味成分

中图分类号:TS222+.1;TS224 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)11-0021-06

Quality change of ground fragrant sesame seed oil during preparation

HUANG Xinyu¹, XIA Xiaohong¹, HAN Jiaxin¹, CHU Yi¹, QIE Wenbin²,
HAN Caijing¹, WANG Xia^{1,3}, ZHANG Fengxiang^{1,3}

(1. School of Public Health, Shandong Second Medical University, Weifang 261053, Shandong, China;
2. Ruifu Oils and Fats Co., Ltd., Weifang 261057, Shandong, China; 3. Weifang Key
Laboratory for Food Nutrition and Safety, Weifang 261053, Shandong, China)

Abstract: In order to better control the quality of ground fragrant sesame seed oil, the color, acid value, peroxide value, fatty acid composition and flavor of sesame seed oil in different process stages were measured by sampling at the end of three main processes: sesame seed roasting, millstone grinding and oil separation by oscillation (including water adding and mixing). The results showed that the process of oil separation by oscillation made sesame seed oil have the largest a value and b value, which were 12.84 and 89.36, respectively. The acid value of sesame seed oil decreased continuously during roasting and millstone grinding, but increased after oil separation by oscillation. Compared with sesame seed oil obtained with unroasted sesame seed, roasting increased the polyunsaturated fatty acids content slightly. The results of electronic nose detection were consistent with those of GC-MS. The flavor of sesame seed oil obtained by roasting and millstone grinding was similar, while the variety of flavor substances in sesame seed oil increased and the flavor was stronger after oil separation by oscillation. In conclusion, besides the roasting process, oil separation by oscillation is also a key link that affects the quality of ground fragrant sesame seed oil, especially the color and flavor. It is necessary to strengthen the research on the change and formation of flavor substances in ground fragrant sesame seed oil at this

stage.

Key words: ground fragrant sesame seed oil; color; acid value; peroxide value; fatty acid; flavor component

收稿日期:2023-05-28;修回日期:2024-06-12

作者简介:黄欣宇(1997),女,硕士研究生,研究方向为食品营养与安全(E-mail)2827760457@qq.com。

通信作者:张丰香,副教授,博士(E-mail)zfx0515@163.com。

芝麻(*Sesamum indicum* L.)是胡麻科胡麻属的草本油料作物,在亚洲和非洲地区被广泛种植,是重要的经济作物^[1]。以芝麻为原料制取的芝麻油是芝麻的主要消费产品,其风味独特,不饱和脂肪酸含量高达80%,且富含生育酚、甾醇和木脂素等多种生物活性物质,具有较高的氧化稳定性,深受消费者喜爱,是亚洲国家和地区重要的食用植物油之一^[2]。据统计,全球每年约有一半以上的芝麻被用来加工成芝麻油。我国是世界上四大种植芝麻和生产芝麻油的国家之一^[3]。

芝麻油的制备方法主要包括机械压榨、有机溶剂萃取和水代法3种,其中水代法是我国特有的芝麻油传统制备工艺,其一般采用石磨将焙炒后的芝麻磨成浆料,之后再加水墩油,此工艺制备的芝麻油被称为小磨芝麻香油。目前,小磨芝麻香油的生产工艺还基本保留传统模式,对工艺过程的控制主要是基于经验,不利于产品质量稳定和规模化生产。当前对芝麻油的研究热点也主要集中在芝麻的焙炒方式和条件对油脂品质的影响方面^[4-7],但在小磨芝麻香油的制备过程中,焙炒之后的石磨磨浆和水墩油过程也维持在较高温度,如水墩油过程一般是90℃持续4h,这些后续过程对油脂品质影响的研究较少。本研究追踪小磨芝麻香油制备的工艺过程,在焙炒、磨浆以及水墩油等关键步骤取样分析其品质变化情况,以期对小磨芝麻香油生产的过程控

制及规模化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

白芝麻,产地为埃塞俄比亚,瑞福油脂股份有限公司提供;异辛烷、甲醇、37种脂肪酸甲酯混标为色谱纯试剂;其他化学试剂均为国产分析纯试剂。

3-16KL台式冷冻离心机,德国Sigma公司;CR-910台式分光测色仪,北京科美瑞达仪器设备有限公司;TRACE-1300气相色谱仪,美国赛默飞世尔科技有限公司;PEN3电子鼻,德国Airsense公司;GCMS-TQ NX气相色谱质谱联用(GC-MS)仪,日本岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的制备

在小磨芝麻香油的制备过程中取样,取样点如图1所示,分为R、B、M、W4处,分别对应未焙炒芝麻、焙炒芝麻、石磨磨制后的芝麻浆、墩油结束后的芝麻油。各处取得的样品需迅速降至室温再进行后续处理。其中R处和B处取得的芝麻样品直接经机械低温挤压(40℃、40MPa)成浆,再与M处和W处取得的样品一样,在5000 r/min下离心15 min,取上层油脂再以11000 r/min冷冻离心15 min,得澄清油样,分别记为RO、BO、MO、WO,低温保存备用。

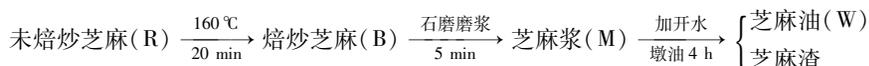


图1 小磨芝麻香油的制备工艺流程

Fig. 1 Preparation process of ground fragrant sesame seed oil

1.2.2 芝麻油色泽的测定

使用53 mm × 45 mm × 12.5 mm石英皿,利用CR-910台式分光测色仪测定油样的色泽。在每次测定前都用白瓷板对仪器进行校准,油样色泽以L、a、b值表示,其中:L值表示亮度(0~100表示由黑色到白色);a值表示从绿到红的范围,负值表示绿色,正值表示红色;b值表示从蓝到黄的范围,负值表示蓝色,正值表示黄色。

1.2.3 芝麻油酸值和过氧化值的测定

酸值的测定参照GB 5009.229—2016中的冷溶剂指示剂滴定法;过氧化值的测定参照GB 5009.227—2016中的滴定法。

1.2.4 芝麻油脂肪酸组成的测定

参照GB 5009.168—2016中的归一化法测定芝麻油的脂肪酸组成。

1.2.5 芝麻油风味的电子鼻测定

移取10 mL样品于100 mL烧杯中,用双层保鲜膜封口密封1 h,再于60℃恒温槽内恒温稳定10 min,之后直接将电子鼻的进样针头插入含样品的密封烧杯中,采用顶空吸气法进行测定。测定条件:采样时间1 s/组;传感器自清洗和归零时间分别为80 s和5 s;样品准备时间5 s;进样流量400 mL/min;分析采样时间80 s。电子鼻10种传感器性能描述见表1。

表1 电子鼻传感器性能描述

Table 1 The performance description of the electronic nasal sensor

阵列序号	传感器	性能描述
R1	W1C	对芳香类物质灵敏
R2	W5S	对氮氧化合物灵敏
R3	W3C	对氨水和芳香类物质灵敏
R4	W6S	主要对氢气有选择性
R5	W5C	对烷烃、芳香类物质灵敏

续表 1

阵列序号	传感器	性能描述
R6	W1S	对甲烷等短链烷烃灵敏
R7	W1W	对硫化物、萜类化合物灵敏
R8	W2S	对醇、醚、醛、酮类物质灵敏
R9	W2W	对芳香类物质和有机硫化物灵敏
R10	W3S	对长链烷烃灵敏

1.2.6 芝麻油风味的 GC-MS 测定

采用顶空固相微萃取法(HS-SPME)结合GC-MS分析油样的挥发性风味成分及含量。

HS-SPME操作:准确取2 mL油样于20 mL顶空瓶中并密封,在60℃下孵育30 min,然后用65 μm PDMS/CAR固相微萃取头吸附20 min,自动进样器(AOC)进样后进行GC-MS分析。

GC条件:SH-I-5Sil MS色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);载气为高纯氦气,流速1.0 mL/min;进样口温度250℃;柱箱升温程序为40℃保持2 min,以8℃/min升至100℃保持2 min,以6℃/min升至130℃保持2 min,以20℃/min升至180℃保持2 min,以10℃/min升至250℃,以30℃/min升至300℃保持2 min;不分流进样。MS条件:电子轰击式离子源(EI)温度230℃,接口温度250℃,质量扫描范围(m/z)33~550。

采用NIST数据库进行检索,对匹配度大于80(最大100)的挥发性化合物进行定性,利用<http://www.flavornet.org/flavornet.html>数据库搜索物质的风味特征。

1.2.7 数据处理

采用IBM SPSS Statistics 25、GraphPad Prism 8.0等软件进行数据处理和绘图,结果均表示为“平均值±标准偏差”;利用单因素方差分析进行组内差异比较, $p < 0.05$ 为差异具有统计学意义;采用主成分分析(PCA)和Loadings分析对电子鼻的测定结果进行分析。

2 结果与分析

2.1 芝麻油的色泽

不同工艺阶段芝麻油的色泽如表2所示。

表2 不同工艺阶段芝麻油的色泽

Table 2 Color of sesame seed oil at different process stages

油样	<i>L</i> 值	<i>a</i> 值	<i>b</i> 值
RO	94.28 ± 0.05 ^d	-2.14 ± 0.01 ^a	25.25 ± 0.02 ^a
BO	75.18 ± 0.04 ^a	11.33 ± 0.10 ^c	80.25 ± 0.12 ^b
MO	78.26 ± 0.03 ^c	8.63 ± 0.03 ^b	80.36 ± 0.06 ^b
WO	77.28 ± 0.07 ^b	12.84 ± 0.04 ^d	89.36 ± 0.11 ^c

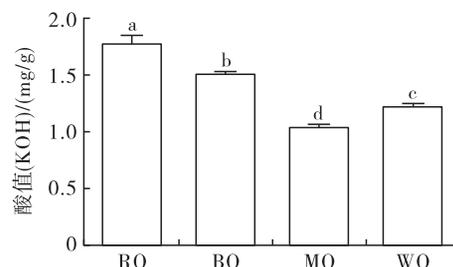
注:同列不同字母表示具有显著差异($p < 0.05$)

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$)

由表2可知:与RO(未焙炒芝麻油)相比,各工艺阶段下芝麻油的*L*值降低,*a*值和*b*值都显著增加;与BO相比,MO的*L*值增加,*a*值降低,而*b*值变化不大;WO的*L*值比MO的低,但高于BO的,其*a*值和*b*值在4个油样中最大,分别为12.84和89.36,说明WO的棕红程度要高于其他油样的。通过芝麻油色泽的变化可以看出,焙炒阶段是芝麻油色泽形成的主要阶段。Elleuch等^[8]研究认为,芝麻油色泽的改变主要是热处理过程中美拉德反应有色产物的生成,且溶于芝麻油中的主要是一些非极性有色化合物,而在本研究中,水墩油阶段芝麻油的*a*、*b*值进一步增加,说明该过程促使更多的有色物质溶入油中。

2.2 芝麻油的酸值和过氧化值

不同工艺阶段芝麻油的酸值如图2所示。



注:不同字母表示差异显著($p < 0.05$)

Note: Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$)

图2 不同工艺阶段芝麻油的酸值
Fig. 2 Acid value of sesame seed oil at different process stages

由图2可知,RO的酸值(KOH)最高,为1.78 mg/g,其次是BO的,说明焙炒使芝麻油酸值下降,MO的酸值最低,为1.04 mg/g,WO的酸值(1.22 mg/g)较MO的高,但低于BO的,说明水墩油过程使芝麻油的酸值上升。芝麻焙炒是美拉德反应的主要阶段,该反应消耗了游离脂肪酸,另外,芝麻油中小分子酸在焙炒过程中挥发^[5],导致芝麻焙炒后其油脂酸值降低;石磨磨浆阶段由于温度也较高以及美拉德反应的继续,使得油脂的酸值进一步降低;而在水墩油阶段,由于水的加入,且处理温度较高、时间较长,导致油脂水解反应的发生,使得芝麻油的酸值有所增加。实验发现,不同工艺阶段芝麻油的过氧化值均未测出,说明芝麻油的氧化反应处于很低的水平。

2.3 芝麻油的脂肪酸组成

不同工艺阶段芝麻油的主要脂肪酸组成及含量如表3所示。

由表3可知,芝麻油中含量大于或等于0.1%

的脂肪酸有 8 种,这 8 种脂肪酸的总含量超过 99%,其中亚油酸和油酸为主要脂肪酸,两者含量之和为 84% 左右。不同工艺阶段芝麻油的脂肪酸分布总体差异不大,饱和脂肪酸含量和单不饱和脂肪酸含量无显著差异,多不饱和脂肪酸含量有一定波动。焙炒处理使得亚油酸、亚麻酸、花生烯酸的含量

略有增加,之后的石磨磨浆以及水墩油处理后,除亚油酸含量略有波动外,其他脂肪酸含量没有显著变化。Xu 等^[9]研究发现,芝麻在 200 °C 焙炒 15 min 后,芝麻油脂肪酸分布与焙炒前相比变化不显著,这与本研究结果不同。

表 3 不同工艺阶段芝麻油的主要脂肪酸(含量 ≥ 0.1%) 组成及含量

Table 3 Composition and content of major fatty acids (≥0.1%) in sesame seed oil at different process stages %

脂肪酸	RO	BO	MO	WO
棕榈酸(C16:0)	8.96 ± 0.11 ^a	8.66 ± 0.07 ^a	8.59 ± 0.01 ^a	8.63 ± 0.06 ^a
硬脂酸(C18:0)	5.26 ± 0.06 ^a	5.27 ± 0.04 ^a	5.37 ± 0.00 ^a	5.35 ± 0.04 ^a
油酸(C18:1)	39.51 ± 0.11 ^a	39.07 ± 0.09 ^a	39.47 ± 0.03 ^a	39.25 ± 0.06 ^a
亚油酸(C18:2)	44.90 ± 0.07 ^c	45.59 ± 0.02 ^a	45.10 ± 0.03 ^{bc}	45.34 ± 0.04 ^{ab}
亚麻酸(C18:3)	0.30 ± 0.00 ^b	0.34 ± 0.00 ^a	0.34 ± 0.01 ^a	0.33 ± 0.00 ^a
花生酸(C20:0)	0.55 ± 0.00 ^a	0.55 ± 0.00 ^a	0.56 ± 0.00 ^a	0.55 ± 0.00 ^a
花生烯酸(C20:1)	0.14 ± 0.00 ^b	0.16 ± 0.00 ^a	0.16 ± 0.00 ^a	0.16 ± 0.00 ^a
山嵛酸(C22:0)	0.12 ± 0.00 ^a	0.12 ± 0.00 ^a	0.13 ± 0.00 ^a	0.12 ± 0.00 ^a
饱和脂肪酸	15.03 ± 0.18 ^a	14.72 ± 0.11 ^a	14.79 ± 0.01 ^a	14.78 ± 0.09 ^a
单不饱和脂肪酸	39.74 ± 0.11 ^a	39.31 ± 0.09 ^a	39.73 ± 0.03 ^a	39.50 ± 0.06 ^a
多不饱和脂肪酸	45.23 ± 0.07 ^b	45.97 ± 0.02 ^a	45.48 ± 0.04 ^{ab}	45.71 ± 0.04 ^a

注:同行不同字母表示具有显著差异($p < 0.05$)

Note: Different letters in the same row indicate significant differences ($p < 0.05$)

2.4 芝麻油的电子鼻分析结果

利用电子鼻对不同工艺阶段芝麻油的气味进行测定,并进行 PCA 和 Loadings 分析,结果分别如图 3 和图 4 所示。

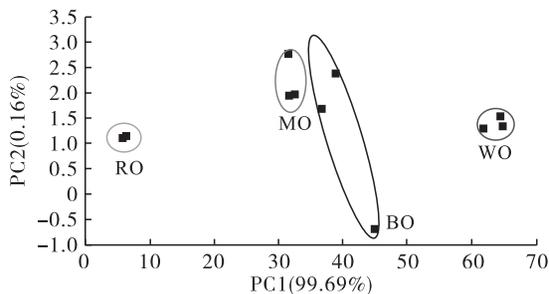


图 3 芝麻油电子鼻数据的 PCA

Fig. 3 PCA of the sesame seed oil electronic nose data

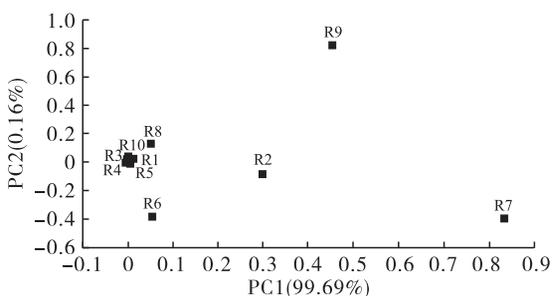


图 4 芝麻油电子鼻数据的 Loadings 分析

Fig. 4 Loadings analysis of sesame seed oil electronic nose data

由图 3 可知:第一和第二主成分方差贡献率之

和达到 99% 以上,涵盖了样本的大部分原始信息,其中第一主成分占比 99.69%,第二主成分占比 0.16%,4 种芝麻油之间的差异更多地体现在第一主成分上;焙炒之后芝麻油气味发生了较大变化;石磨磨浆处理后的芝麻油气味与焙炒处理的相近,而水墩油处理使芝麻油气味又发生了较大变化,结合传感器的响应情况可知,RO 气味最弱,WO 气味最强。

由图 4 可知:R7、R9、R2 对第一主成分贡献较大,R6、R8 对第一主成分也有少量的贡献;R9 对第二主成分的贡献最大,R7、R6、R8、R2 对第二主成分也有一定的贡献。通过 Loadings 分析推测芝麻油样品气味上的差异可能是来自于硫类物质及氮氧化合物,以及少量醇、醚、醛、酮及短链烷烃类物质。图 3 中第二主成分响应最高的样品为 BO 和 MO,推测可能在其气味组成中有机硫类物质占比更高。

2.5 芝麻油风味的 GC-MS 分析结果

许多研究表明,芝麻油中的香气成分包括吡嗪类、呋喃类、噻唑类、吡咯类、醇类、醛类、酮类、酸类、酯类等^[7],其中吡嗪类、呋喃类、硫化物等被认为可能是通过美拉德反应、Strecker 降解、脂质氧化等复杂反应形成,是重要的风味物质^[10]。本研究选取峰高前 40 的峰进行分析,从不同工艺阶段芝麻油中共鉴定出 38 种挥发性化合物,结果见表 4。

表4 不同工艺阶段芝麻油的挥发性成分

Table 4 Volatile components of sesame seed oil at different process stages

挥发性成分	CAS号	RO	BO	MO	WO	风味特征描述
甲酸己酯	629-33-4	+	-	-	-	-
庚酸	111-14-8	+	-	-	-	-
2-戊基呋喃	3777-69-3	+	-	-	-	青豆味,黄油味
(3E)-4,8-二甲基-1,3,7-壬三烯	19945-61-0	+	-	-	-	-
1-(2-丁氧基乙氧基)-乙醇	54446-78-5	+	-	-	-	-
2,6,11-三甲基十二烷	31295-56-4	+	-	-	-	-
α -香柠檬烯	13474-59-4	+	-	-	-	木头味,茶味
十九烷	629-92-5	+	-	-	-	烷烃味
1,1'-磺酰基二苯(二苯砜)	127-63-9	+	-	-	-	-
壬酸	112-05-0	+	-	-	+	脂肪味
壬醛	124-19-6	+	-	-	+	脂肪味,柑橘味
2-甲基吡嗪	109-08-0	+	+	+	+	爆米花味
2,5-二甲基吡嗪	123-32-0	+	+	+	+	可可味,烤坚果味,烤牛肉味
3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯(罗勒烯)	13877-91-3	+	+	+	-	-
2,4-二甲基-4,5-二氢-1,3-噻唑	6114-40-5	-	+	+	-	-
2-乙基-(5或6)-甲基吡嗪	13360-64-0	-	+	+	+	水果味
2,3,5-三甲基吡嗪	14667-55-1	-	+	+	-	焙烤味,土豆味
2-乙酰基吡嗪	22047-25-2	-	+	+	+	焙烤味
2,5-二甲基呋喃-3,4(2H,5H)-酮	68755-49-7	-	+	-	+	-
2-乙酰基吡咯	1072-83-9	-	+	+	+	坚果味,核桃味,面包味
2,6-二乙基吡嗪	13067-27-1	-	+	+	+	-
对羟基苯甲醚	150-76-5	-	+	+	+	-
2-烯丙基-3-甲基吡嗪	55138-62-0	-	+	+	+	-
1-(2-甲基噻啶-4-基)乙酮	67860-38-2	-	+	+	+	-
4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	7786-61-0	-	+	+	+	丁香味,咖喱味
2-甲基-2-噻唑啉	2346-00-1	-	+	-	-	-
5-甲基-2-呋喃甲醇	3857-25-8	-	+	-	+	-
5-甲基-6,7-二氢-5H-环戊并吡嗪	23747-48-0	-	-	+	+	焙烤味,坚果味
3,5-二乙基-2-甲基-吡嗪	18138-05-1	-	-	+	+	焙烤味
6-羟基噻唑啉	7467-91-6	-	-	+	+	-
糠醇	98-00-0	-	-	-	+	焦味
乙二醇二乙酸酯	111-55-7	-	-	-	+	-
5-甲基呋喃醛	620-02-0	-	-	-	+	杏仁味,焦糖味
乙酸糠酯	623-17-6	-	-	-	+	-
3-乙基-2-甲基吡嗪	15707-23-0	-	-	-	+	焙烤味
吡咯-2-甲醛	1003-29-8	-	-	-	+	-
3-萹烯	13466-78-9	-	-	-	+	柠檬味,树脂味
苯乙酮	98-86-2	-	-	-	+	花香,杏仁味

注: + 代表可检出; - 代表未检出

Note: + means detectable; - means not detected

由表4可知:RO中检出14种风味成分,其中9种在其他3种芝麻油中未检出,RO中主要是氮氧杂环类和烃类等共9种化合物,而其中吡嗪类化合物只有2种;BO和MO中各检出16种风味成分,其中相同的有13种,主要以吡嗪类等氮氧杂环类为主,其中BO有7种吡嗪类化合物,MO有9种,且

BO中还有2,4-二甲基-4,5-二氢-1,3-噻唑和2-甲基-2-噻唑啉2种含硫化物,MO中含有2,4-二甲基-4,5-二氢-1,3-噻唑,这2种含硫化物在RO及WO中均未检出,这与上述电子鼻的推测结果相对应;WO中检出25种风味成分,也主要以氮氧杂环类化合物为主,其中吡嗪类9

种,WO 中有 8 种化合物在其他 3 种芝麻油中未检出,主要是氮氧杂环类化合物,经风味特征检索,其中糠醇提供的是焦味,5-甲基呋喃醛是杏仁味、焦糖味,3-乙基-2-甲基吡嗪是焙烤味,3-萜烯是树脂味、柠檬味,苯乙酮是花香、杏仁味,在水墩油过程中这些物质的形成使得小磨芝麻香油的气味更加饱满浓厚,与电子鼻数据 PCA 结果一致。因此,在小磨芝麻香油制备过程中对其风味影响较大的不仅仅是焙烤过程,水墩油过程对其风味的贡献也很大。

3 结论

目前我国小磨芝麻香油的制备工艺还主要采用传统的水代法,其主要工艺环节包括芝麻焙炒、石磨磨浆和水墩油过程。研究发现:焙炒过程是芝麻油整体品质发生重大变化的主要阶段,经过焙炒后其油脂的 a 值和 b 值增加,酸值降低,不饱和脂肪酸略有增加,且吡嗪类风味物质种类增多;之后的石磨磨浆处理会使芝麻油的 L 值有所增加, a 值降低,酸值进一步降低,但对脂肪酸分布及风味影响不大;磨浆之后的水墩油过程使芝麻香油的 a 值和 b 值都显著增加,且高于焙炒阶段的,酸值比磨浆阶段的略高,但低于焙炒阶段的,脂肪酸分布与前两个过程的芝麻油相比没有显著区别,但是风味却显著区别于前两个过程的,水墩油过程使芝麻油风味物质种类增多,风味更强。因此,对于小磨芝麻香油制备工艺过程的研究不仅要关注焙炒工艺条件对香油品质的影响,还应加强对水墩油工艺环节的研究,探讨该阶段芝麻油风味物质的变化与形成。此外,对食品进行高温处理也可能产生一些热加工污染物,如丙烯酰胺、二羰基化合物等,从而对人体健康造成潜在的威胁,在小磨芝麻香油生产过程中这些污染物是否会产生,随着工艺进程又会发生什么样的变化,目前的关注较少,后续需要进行系统的研究,以便为小磨芝麻香油品质的控制与提高提供全面的理论依据。

参考文献:

[1] NAMIKI M. Nutraceutical functions of sesame: A review

- [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2007, 47(7): 651-673.
- [2] DOSSA K, WEI X, NIANG M, et al. Near-infrared reflectance spectroscopy reveals wide variation in major components of sesame seeds from Africa and Asia [J]. Crop J, 2018, 6(2): 202-206.
- [3] WEI P, ZHAO F, WANG Z, et al. Sesame (*Sesamum indicum* L.): A comprehensive review of nutritional value, phytochemical composition, health benefits, development of food, and industrial applications [J/OL]. Nutrients, 2022, 14(19): 4079 [2023-05-28]. <https://doi.org/10.3390/nu14194079>.
- [4] BERK E, HAMZALIOĞLU A, GÖKMEN V. Investigations on the Maillard reaction in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds induced by roasting [J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(17): 4923-4930.
- [5] JI J M, LIU Y L, SHI L K, et al. Effect of roasting treatment on the chemical composition of sesame oil [J]. LWT - Food Sci Technol, 2019, 101: 191-200.
- [6] ZHOU Q, GENG F, DENG Q C, et al. Dynamic analysis of polar metabolites and volatile compounds in sesame seeds during roasting [J]. Cereal Chem, 2019, 96(2): 1-12.
- [7] 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/OL]. J Food Biochem, 2019, 43(10): e12786 [2023-05-28]. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12786>.
- [8] ELLEUCH M, BESBES S, ROISEUX O, et al. Quality characteristics of sesame seeds and by-products [J]. Food Chem, 2007, 103(2): 641-650.
- [9] XU T, YANG R J, HUA X, et al. Improvement of the yield and flavour quality of sesame oil from aqueous extraction process by moisture conditioning before roasting [J]. Int J Food Sci Technol, 2019, 54(2): 471-479.
- [10] SHIN B R, SONG H W, LEE J G, et al. Comparison of the contents of benzo(a)pyrene, sesamol and sesamolin, and volatiles in sesame oils according to origins of sesame seeds [J]. Appl Biol Chem, 2016, 59: 129-141.