

花椒风味油茶籽油制备及挥发性物质分析

Preparation and volatile compounds analysis of *Camellia* seed oil with *Zanthoxylum* flavor

李东¹ 张琼¹ 何新益¹ 李云^{2,3} 张陈云¹

LI Dong¹ ZHANG Qiong¹ HE Xin-yi¹ LI Yun^{2,3} ZHANG Chen-yun¹

(1. 天津农学院食品科学与生物工程学院, 天津 300384; 2. 江西上饶师范学院生命科学学院, 江西 上饶 334000; 3. 贵州布依丽吉油茶实业有限公司, 贵州 黔西南州 562400)

(1. Department of Food Science and Biotechnology, Tianjin Agriculture University, Tianjin 300384, China; 2. College of Life Science, Shangrao Normal University, Shangrao, Jiangxi 334000, China; 3. Guizhou Buyiliji Oil tea Industry Co., Ltd., Qianxinan Prefecture, Guizhou 562400, China)

摘要:目的:为改善油茶籽油的特殊气味,以油茶籽油和花椒为原料开发花椒风味油茶籽油。方法:研究不同工艺条件下花椒风味油茶籽油的过氧化值、酸价、脂肪酸组成和气味变化。结果:当料液比($m_{\text{花椒}} : m_{\text{油茶籽油}}$)为10:100、煎炸温度为180℃、煎炸时间为5 min时,制备所得样品的酸价为0.4007 mg/g、过氧化值为0.0304 g/100 g、羟基-β-山椒素含量为2.225 mg/g,料液比对花椒风味油茶籽油的主要脂肪酸含量影响较小;油茶籽油和花椒风味油含有油茶籽油的关键风味物质(E)-2-辛烯醛和庚醛。结论:花椒风味油茶籽油具备花椒油的特殊风味物质芳樟醇和柠檬烯,可有效改变油茶籽油的风味。

关键词:花椒; 油茶籽油; 花椒酰胺; 挥发性物质

Abstract: Objective: In order to improve the special smell of *Camellia oleifera* seed oil, the *Zanthoxylum* flavor *Camellia oleifera* seed oil was developed with *camellia oleifera* seed oil and prickly ash as the raw materials. **Methods:** The peroxide value, acid value, fatty acid composition and odor change of *Zanthoxylum bungeanum* flavor seed oil were studied under different processing conditions. **Results:** When the ratio of material to liquid was 10:100 ($m_{\text{pepper}} : m_{\text{camellia oil}}$), the frying

temperature was 180℃, and the frying time was 5 minutes, the acid value, peroxide value and hydroxy-β-pyrroxin content were 0.4007 mg/g, 0.0304 g/100 g and 2.225 mg/g, respectively. The ratio of material to liquid had little influence on the content of main fatty acids of *Zanthoxylum bungeanum* flavor oil tea seed oil. *Camellia oleifera* seed oil and *Zanthoxylum bungeanum* flavor oil contain the key flavor compounds (E)-2-octenal and heptanal. **Conclusion:** The special flavor substances of *Zanthoxylum bungeanum* oil, linalool and limonene, can effectively change the flavor of the oil.

Keywords: *Zanthoxylum bungeanum*; *Camellia oleifera* seed oil; zanthoxylamide; volatile substances

油茶籽油是经油茶的籽加工提取而来的一种极具营养的高端保健食用油,其营养价值可以与橄榄油媲美,具有东方橄榄油之称^[1]。油茶籽油中单不饱和脂肪酸含量高于橄榄油,具有预防心血管疾病、抗癌和提高免疫力等功能,可降低低密度脂蛋白水平及冠心病的发病率,同时降低血清中胆固醇含量^[2-4]。但由于其特殊的气味对油茶籽油的推广有一定的影响。

花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)为芸香科花椒属植物,其果皮干燥后,具有特殊的麻味和浓烈的香味^[5],是川菜烹饪的传统香辛料,有“川味花椒之王”的美誉^[6]。花椒具有降血压、抗癌、防虫抑菌等功能,是《中国药典》中记录的常用中药材^[7]。花椒果皮中的主要麻味物质为酰胺类物质^[8],以羟基-α-山椒素为主^[9],还含有羟基-β、γ、ε-山椒素和α、β、γ-山椒素,花椒素,羟基-γ-花椒素,四氢花椒素,异花椒素,花椒油素等^[10]。花椒油是将植物油温度升高,在高温下煎炸将花椒中的呈香味物质提取至植物油中,得到

基金项目:天津市科技计划项目(编号:21YDTPJC00840);贵州布依丽吉油茶实业有限公司横向委托项目(编号:GZBYLJ202001);天津市宝坻区农业科技计划项目(编号:202011,202103)

作者简介:李东,男,天津农学院在读硕士研究生。

通信作者:何新益(1974—),男,天津农学院教授,博士。

E-mail: hedevid@163.com

李云(1973—),女,江西上饶师范学院高级工程师,硕士。E-mail: liyun@zkjy.com

收稿日期:2022-11-02 **改回日期:**2023-04-28

含有麻香味的植物油^[11]。制备花椒油常采用的食用油有大豆油和菜籽油,制备的工艺普遍为热浸提^[12]。将花椒制成花椒油可以有效解决花椒不宜直接食用的问题^[13]。方正等^[14]采用液相色谱—质谱联用技术研究不同产地的花椒油加速贮藏期间麻味物质含量变化及组成变化,发现四川汉源红花椒制成的花椒油麻味物质含量最高。

花椒油一般具有椒香浓郁、醇麻爽口^[15]的特点,常被用作肉类的除腥去膻,具有增香调味的功效,受到消费者的喜爱^[16]。酰胺类物质是花椒中的主要呈味物质,DBS51/008—2019规定花椒油中的酰胺类物质以羟基- β -山椒素计。研究拟采用花椒和油茶籽油为主要原料,以羟基- β -山椒素计花椒风味的油茶籽油的花椒酰胺含量为主要标准,优选较佳煎炸温度和料液比,并通过快速气相电子鼻研究样品的主要挥发性物质,以期建立花椒风味油茶籽油的特征风味物质,开发花椒风味油茶籽油,为油茶籽油的应用开发提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

油茶籽油:望漠红球,贵州布依丽吉实业有限公司;

花椒:青花椒,产地重庆江津;

羟基- β -山椒素:分析纯,上海源叶生物科技有限公司;

冰乙酸、95%乙醇、甲醇、碘化钾:分析纯,天津市天力化学试剂公司;

淀粉指示剂、氢氧化钠:分析纯,天津市化学试剂供销公司;

0.100 9 mol/L 硫代硫酸钠标准滴定液、可溶性淀粉:分析纯,天津化学试剂三厂。

1.1.2 仪器与设备

万用电炉:DL-1型,北京市永光明医疗仪器有限公司;

离心机:H2050R型,长沙湘仪离心机仪器有限公司;

水浴恒温振荡器:SHA-C型,天津市赛得利斯实验分析仪器制造厂;

油浴锅:DF-101S型,上海力辰邦西科技有限公司;

紫外—可见分光光度计:UV-800型,日本 Hmadzu 公司;

旋涡振荡器:MVS-1型,北京金北德工贸有限公司;

电子天平:FA2204B型,上海佑科仪器仪表有限公司;

超声清洗器:KQ2200B型,天津市超声仪器技术有限公司;

快速气相色谱—电子鼻:Heracles I型,法国 AlphaM.O.S公司。

1.2 试验方法

1.2.1 花椒风味油茶籽油的制备 参照文献[17—18]。

1.2.2 单因素试验 固定煎炸时间为5 min,分别考察料液比($m_{\text{花椒}} : m_{\text{油茶籽油}}$)分别为5 : 100,7.5 : 100,10 : 100,12.5 : 100,15 : 100)和煎炸温度(165,180,195,210,225 ℃)对花椒素类总物质含量的影响。

1.2.3 花椒酰胺类(羟基- β -山椒素)含量测定 参照 DBS51/008—2019,以花椒酰胺类物质浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线,得到 $y=0.153 3x-0.011 3$ ($R^2=0.998 9$),线性范围为1~8 $\mu\text{g/mL}$ 。

1.2.4 酸价测定 按 GB 5009.229—2016 执行。

1.2.5 过氧化值测定 按 GB 5009.227—2016 执行。

1.2.6 脂肪酸组成分析 按 GB 5009.168—2016 执行。

1.2.7 挥发性物质测定 称取2 g样品于20 mL顶空瓶中待测。进样体积5 000 μL ,进样速度250 $\mu\text{L/s}$,进样口温度200 ℃,进样持续时间25 s;捕集阱参数:初始温度30 ℃,分流10 mL/min,捕集持续时间30 s,最终温度240 ℃;柱温参数:初始温度40 ℃,以2 ℃/s升温至230 ℃,保持10 s,采集时间170 s;检测器温度280 ℃,FID增益12。

1.3 数据处理

采用 SPSS 17.0 软件对数据进行相关性分析,采用 Origin 2021b 软件作图。各试验至少平行3次,结果表示为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 料液比对羟基- β -山椒素含量、酸价和过氧化值的影响

由图1(a)可知,料液比对羟基- β -山椒素含量影响差异显著($P<0.05$),当料液比($m_{\text{花椒}} : m_{\text{油茶籽油}}$)为5 : 100~15 : 100时,花椒风味油茶籽油中的羟基- β -山椒素含量不断增加,是由于随着花椒与油茶籽油料液比的增大,花椒果皮中的酰胺类物质浸出量不断增大,但当料液比($m_{\text{花椒}} : m_{\text{油茶籽油}}$)为15 : 100时,产品的颜色较深无光泽,影响产品品质,与李锦^[19]的结论类似。由图1(b)知,当料液比($m_{\text{花椒}} : m_{\text{油茶籽油}}$)为5 : 100,7.5 : 100时,样品的过氧化值差异不显著,但与其他3个样品的差异显著。随着料液比的增大,酸价和过氧化值均呈上升趋势,但均显著低于 DBS51/008—2019 中规定的限值3 mg/g 和0.25 g/100 g。这可能是由于花椒果皮中存在一定的水分,在煎炸过程中会使油茶籽油部分氧化酸败。综合考虑,选择料液比($m_{\text{花椒}} : m_{\text{油茶籽油}}$)为10 : 100。

2.2 煎炸温度对羟基- β -山椒素含量、酸价和过氧化值的影响

由图2(a)可知,当煎炸温度为180,210,225 ℃时,各

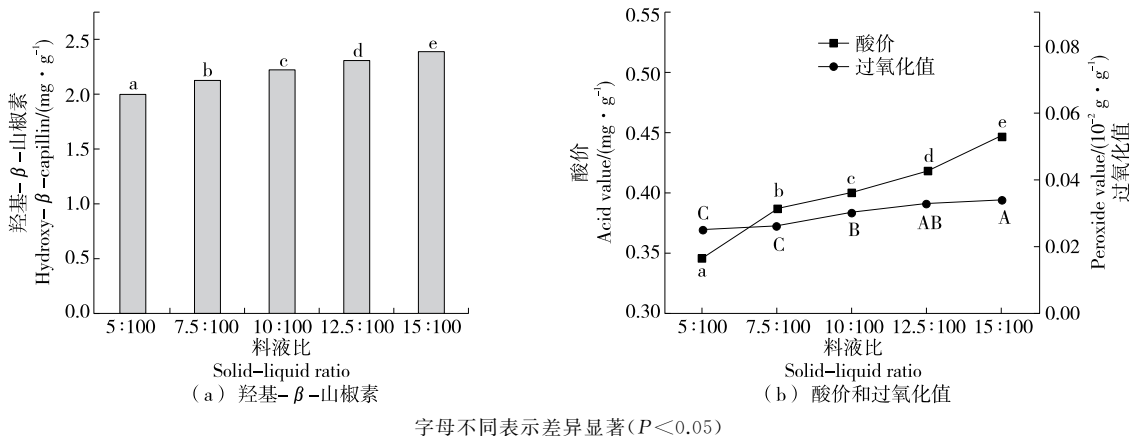


图 1 料液比对花椒风味油茶籽油的羟基-β-山椒素含量、酸价和过氧化值的影响

Figure 1 Effects of solid-liquid ratio on content of hydroxy-β-pyroxylin, acid value and peroxide value in *Zanthoxylum* flavor *Camellia oleifera* seed oil

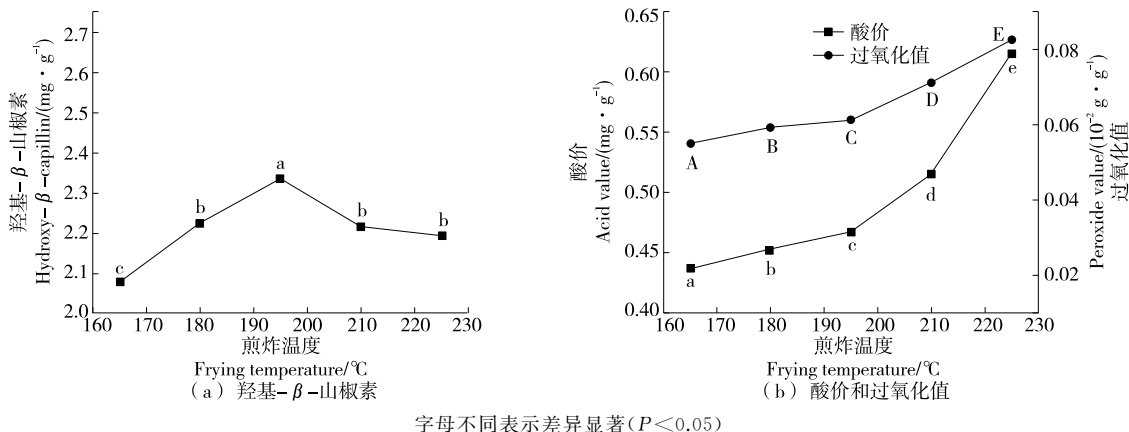


图 2 煎炸温度对花椒风味油茶籽油的羟基-β-山椒素含量、酸价和过氧化值的影响

Figure 2 Effects of frying temperature on content of hydroxy-β-pyroxylin, acid value and peroxide value in *Zanthoxylum* flavor *Camellia oleifera* seed oil

样品间的羟基-β-山椒素含量差异不显著,但与煎炸温度为 165,195 °C 的差异显著 ($P < 0.05$),且 165 °C 和 195 °C 间的差异显著 ($P < 0.05$)。羟基-β-山椒素含量随煎炸温度的升高呈先上升后下降趋势,先上升可能是由于温度较低时,花椒果皮中的花椒酰胺类麻味物质浸出较少,随着煎炸温度的升高花椒酰胺浸出上升,但当煎炸温度 > 195 °C 时,随着煎炸温度的上升,羟基-β-山椒素含量减低,可能是由于花椒酰胺的性质不稳定,高温下易分解,导致花椒风味油茶籽油含量降低,与张风芳^[20]的结论一致。

由图 2(b)可知,不同煎炸温度下,样品的酸价和过氧化值均差异显著。随着煎炸温度的升高,花椒风味油茶籽油的酸价和过氧化值均呈上升趋势,尤其是过氧化值在煎炸温度 > 195 °C 时急剧上升,可能是由于煎炸温度超过 200 °C 后,油脂氧化速度变快造成上述现象,与曲宗

乔^[21]的结论一致。综合考虑,选择煎炸温度为 180 °C。

2.3 料液比对脂肪酸组成的影响

由表 1 可知,花椒风味油茶籽油的主要脂肪酸为油酸、亚油酸、软脂酸和硬脂酸,4 类脂肪酸占总体脂肪酸含量的 97% 以上,除料液比 ($m_{\text{花椒}} : m_{\text{油茶籽油}}$) 为 12.5 : 100 时的硬脂酸含量与其他 4 个样品的差异显著外,各样品间的油酸、亚油酸和软脂酸含量差异均不显著。花椒风味油茶籽油中的饱和脂肪酸含量为 10.8%~11.2%,单不饱和脂肪酸含量为 79.2%~79.6%,多不饱和脂肪酸含量为 9.4%~9.6%,表明料液比对脂肪酸含量的影响较小,说明不能以脂肪酸区分花椒风味油茶籽油的料液比。

2.4 挥发性物质分析

将煎炸温度为 165,180,195,210,225 °C 的 5 种样品分别命名为 JZ₁₆₅、JZ₁₈₀、JZ₁₉₅、JZ₂₁₀ 和 JZ₂₂₅。

由图 3 可知,各样品的物质含量存在不同。简单通

过色谱图去分析 5 种样品的物质含量差异工作量较大,需进行统计分析,主成分分析(PCA 分析)可以快速挖掘数据,提取主要特征信息数据,剔除数据中冗余信息^[22],因此利用 PCA 分析 5 种样品的差别。

由图 4 可知,主成分 1 的贡献率为 93.983%,主成分 2 的贡献率为 5.066%,两种主成分的累加贡献率为 99.049%,超过 85%以上^[23],说明主成分 1、2 能够很好地反映原来样品的整体信息。不同点的远近代表相似性高低,相同点的离散程度代表相同样品的均一性^[24],从图 4

即可看出,5 种样品相互间均有较大距离,说明不同的煎炸温度下花椒风味油茶籽油气味存在明显差异。

由表 2 可知,当煎炸温度为 165 ℃时,与 180 ℃的样品差别最小,与 225 ℃的样品差别最大;当煎炸温度为 180 ℃时,与 165 ℃的样品差别最小,与 225 ℃的样品差别最大;当煎炸温度为 195 ℃时,与 210 ℃的样品差别最小,与 165 ℃的样品差别最大;当煎炸温度为 210 ℃时,与 195 ℃的样品差别最小,与 225 ℃的样品差别最大;当煎炸温度为 225 ℃时,与 195 ℃的样品差别最小,与

表 1 料液比对花椒风味油茶籽油脂肪酸组成的影响[†]

Table 1 Effects of different feed liquid ratios on fatty acid composition of *Zanthoxylum* flavor *Camellia oleifera* seed oil

脂肪酸组成	<i>m</i> 花椒 : <i>m</i> 油茶籽油				
	5 : 100	7.5 : 100	10 : 100	12.5 : 100	15 : 100
葵酸	0.05±0.000 6 ^a	0.13±0.001 4 ^b	0.16±0.001 6 ^c	0.17±0.001 9 ^c	0.17±0.003 3 ^d
十四碳酸	0.04±0.030 0 ^b	0.04±0.036 0 ^b	0.07±0.067 0 ^c	0.12±0.116 0 ^d	0.03±0.031 2 ^a
软脂酸	8.68±0.100 0 ^a	8.72±0.090 0 ^a	8.80±0.083 0 ^a	8.75±0.103 8 ^a	8.62±0.160 0 ^a
软脂油酸	0.17±0.001 9 ^b	0.15±0.001 5 ^a	0.19±0.001 8 ^d	0.23±0.002 8 ^e	0.18±0.003 4 ^c
珍珠酸	0.08±0.000 9 ^d	0.07±0.000 7 ^c	0.06±0.000 6 ^a	0.08±0.000 9 ^d	0.06±0.001 2 ^b
十七碳一烯酸	0.08±0.000 9 ^c	0.07±0.000 7 ^a	0.08±0.000 8 ^d	0.08±0.001 0 ^c	0.08±0.001 5 ^b
硬脂酸	2.03±0.023 0 ^a	2.05±0.020 0 ^a	2.03±0.019 0 ^a	2.11±0.030 0 ^b	2.04±0.040 0 ^a
油酸	78.97±0.890 0 ^a	78.70±0.800 0 ^a	78.50±0.740 0 ^a	78.21±0.930 0 ^a	78.70±1.500 0 ^a
亚油酸	9.02±0.100 0 ^a	9.16±0.930 0 ^a	9.20±0.087 0 ^a	9.12±0.110 0 ^a	9.11±0.170 0 ^a
十八碳三烯酸	0.43±0.005 0 ^a	0.43±0.004 4 ^a	0.44±0.004 1 ^a	0.43±0.005 1 ^a	0.43±0.008 1 ^a
花生一烯酸	0.47±0.005 3 ^a	0.50±0.005 0 ^b	0.47±0.004 4 ^a	0.71±0.008 5 ^d	0.59±0.012 2 ^c
饱和脂肪酸	10.876	11.007	11.126	11.213	10.926
单不饱和脂肪酸	79.674	79.402	79.237	79.239	79.536
多不饱和脂肪酸	9.450	9.591	9.638	9.548	9.538

† 小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

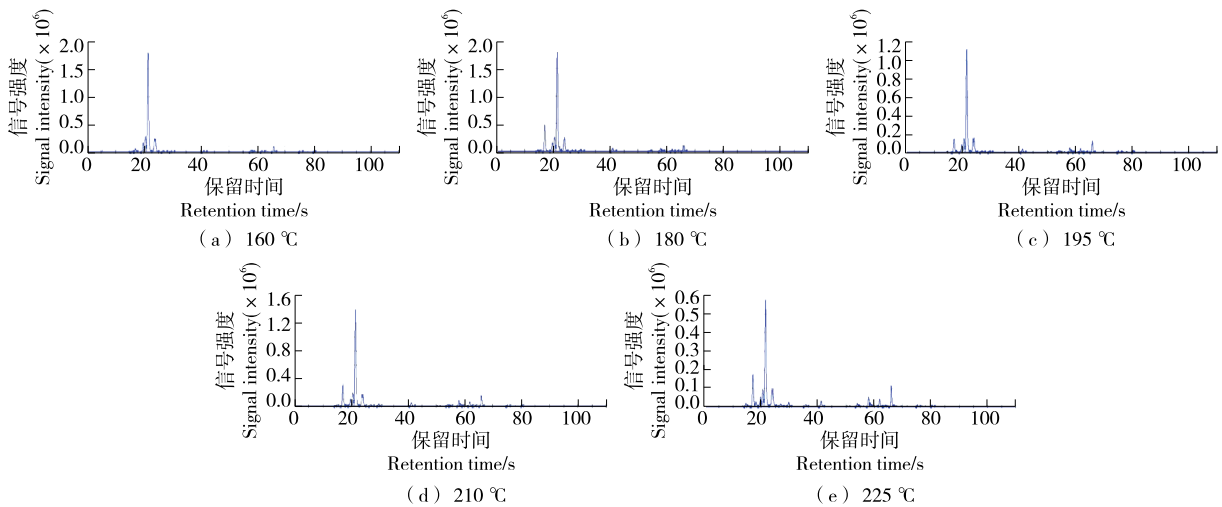


图 3 5 种样品的气相离子流图

Figure 3 Gas chromatograms of five samples

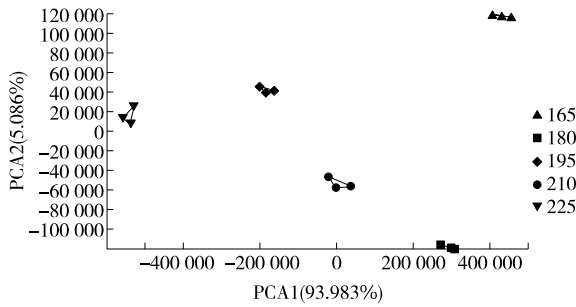


图 4 5 种样品的气味 PCA 图

Figure 4 Principal component analysis diagram of five sample odors

165 ℃ 的样品差别最大。这说明煎炸温度对风味的影响较大,当花椒风味油茶籽油炸温度为 180 ℃ 时,与煎炸温度为 165,210 ℃ 时的样品分辨率较低,说明选择煎炸温度为 180 ℃ 能很好地兼顾 165,210 ℃ 两种样品的风味。

将市售花椒油、花椒风味油茶籽油、花椒风味(油茶—大豆调和)油,根据 3 种花椒油气味成分在色谱柱上的保留指数进行定性,结果见表 3。

由表 3 可知,市售花椒油中检测出醛类物质 1 种、烯类物质 5 类、醇类物质 2 种、酮类物质 1 种、烃类物质

表 2 5 种样品的指纹分辨指数分析

Table 2 Table of relative distances of five samples

样品名	参照样品	距离(由近至远)	指纹分辨指数/%
JZ195	JZ210	212 141.45	95.67
JZ180	JZ165	272 830.28	89.13
JZ180	JZ210	298 128.22	90.29
JZ195	JZ225	361 598.03	98.17
JZ165	JZ210	459 170.06	98.84
JZ180	JZ195	501 902.22	96.68
JZ210	JZ225	551 677.69	98.91
JZ165	JZ195	617 947.75	99.59
JZ180	JZ225	845 975.25	98.63
JZ165	JZ225	978 176.50	99.70

1 种,其主要挥发性物质为芳樟醇、柠檬烯^[11];花椒风味油茶籽油中检测出醛类物质 7 种、烯类物质 5 类、醇类 3 种、酮类物质 2 种,(*E*)-2-辛烯醛、庚醛和(*E*)-2-癸烯醛为其关键挥发性物质^[25];花椒风味(油茶—大豆调和)油中检测出醛类物质 7 种、烯类物质 5 类、醇类 3 种、酮类物质 2 种,己醛、(*E,E*)-2,4-庚二烯醛为其关键特征风味^[26]。花椒风味(油茶—大豆调和)油既含有大豆油的关键风味己醛,亦含有油茶籽油的关键风味(*E*)-2-辛烯醛、

表 3 物质定性表[†]

Table 3 Qualitative list of material

保留时间/min	保留指数	市售花椒油	花椒风味油茶籽油	花椒风味(油茶—大豆调和)油	可能的风味化合物
14.82	444	—	+	+	乙醇
17.00	494	+	+	+	正戊烷
18.11	520	+	+	+	丙酮
19.45	551	—	+	+	辛醛
41.21	802	+	+	+	己醛
54.10	939	+	+	+	α -蒎烯
54.97	950	+	+	+	月桂烯
56.14	965	—	+	+	(<i>E</i>)-2-辛烯醛
58.01	989	—	+	+	2-壬酮
58.63	997	+	+	+	水芹烯
60.27	1 021	+	—	—	<i>P</i> -伞花烃
61.07	1 033	+	+	+	桉叶油醇
61.95	1 047	+	+	+	柠檬烯
63.81	1 075	+	+	+	α -异松油烯
64.66	1 088	—	+	+	(<i>E,E</i>)-2,4-庚二烯醛
66.01	1 110	+	+	+	芳樟醇
67.25	1 132	—	+	+	(<i>E</i>)-2-辛烯醛
67.78	1 141	—	+	+	庚醛
81.87	1 413	—	+	+	(<i>E</i>)-2-癸烯醛

† “+”表示含有该物质;“—”表示不含。

庚醛,同时具备花椒风味油茶籽油的特殊风味芳樟醇和柠檬烯。

3 结论

试验表明,以油茶籽油为原料油、花椒为原料制备的油茶籽油基花椒调味油的最佳工艺参数为料液比($m_{\text{花椒}} : m_{\text{油茶籽油}}$)10 : 100、煎炸温度 180 ℃、煎炸时间 5 min。此条件下制备的花椒风味茶籽油的酸价为 0.400 7 mg/g、过氧化值为 0.030 4 g/100 g、羟基-β-山椒素含量为 2.225 mg/g。料液比对花椒风味油茶籽油中的 4 种主要脂肪酸含量影响较小,可不考虑料液比与脂肪酸含量的关系。由快速气相电子鼻分析得到,花椒风味油茶籽油中检测出醛类物质 7 种、烯类物质 5 类、醇类 3 种、酮类物质 2 种,花椒风味(油茶—大豆调和)油既有大豆油的关键风味己醛,亦有油茶籽油的关键风味(E)-2-辛烯醛、庚醛,还具备花椒调味油的特殊风味芳樟醇和柠檬烯。研究针对市售花椒油、花椒风味油茶籽油、花椒风味(油茶—大豆调和)油共有的风味物质给予分析,后续将会对 3 种油特有的风味进行深入研究,对比其差异。

参考文献

- [1] 吴潇. 我国油茶产业发展影响因素及趋势预测研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017: 18.
- [2] ZEB A. Triacylglycerols composition, oxidation and oxidation compounds in camellia oil using liquid chromatography-mass spectrometry[J]. Chemistry and Physics of Lipids, 2012, 165(5): 608-614.
- [3] TU P S, TUNG Y T, LEE W T, et al. Protective effect of camellia oil (*Camellia oleifera* Abel.) against ethanol-induced acute oxidative injury of the gastric mucosa in mice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(24): 4 932-4 941.
- [4] YANG C Y, LIU X M, CHEN Z Y, et al. Comparison of oil content and fatty acid profile of ten new *Camellia oleifera* cultivars[J]. Journal of Lipids, 2016(2): 1-6.
- [5] 杨静, 赵镭, 史波林, 等. 青花椒香气快速气相电子鼻响应特征及 GC-MS 物质基础分析[J]. 食品科学, 2015, 36(22): 69-74.
- [6] 肖岚, 熊敏, 幸勇, 等. 橄榄油与菜籽油调和比例对花椒油风味及营养成分的影响[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(1): 82-91.
- [7] HONG L, JING W, QING W, et al. Inhibitory effect of *Zanthoxylum bungeanum* essential oil (ZBEO) on *Escherichia coli* and intestinal dysfunction[J]. Food & Function, 2017, 8(4): 1 569-1 576.
- [8] 袁海梅, 邱露, 谢贞建, 等. 花椒属植物生物碱类成分及其药理学活性研究进展[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(23): 4 573-4 584.
- [9] 朱妞. 花椒活性成分研究现状及发展前景[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(4): 4-6.
- [10] 徐珊珊, 张璐璐, 高海燕, 等. 基于超高效液相色谱—质谱的汉源花椒麻味物质构成研究[J]. 中国调味品, 2018, 43(5): 6-12.
- [11] 王立艳, 陈吉江, 安骏, 等. 混合原料制取花椒油工艺优化及挥发成分分析[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(8): 18-23.
- [12] 韩卓涛, 王燕, 王延云, 等. 顶空—气相色谱—质谱法分析花椒油中的挥发性成分[J]. 中国调味品, 2018, 43(6): 139-143.
- [13] ZHAO Z F, ZHU R X, ZHONG K, et al. Characterization and comparison of the pungent components in commercial *Zanthoxylum bungeanum* oil and *Zanthoxylum schinifolium* oil[J]. Journal of Food Science, 2013, 78(10): 1 516-1 522.
- [14] 方正, 高海燕, 赵镭, 等. 花椒油树脂加速贮藏期间麻味物质组成及麻感变化[J]. 中国调味品, 2019, 44(8): 1-6, 12.
- [15] 纪珍珠. 花椒叶主要成分分析和干燥特性研究[D]. 咸阳: 西北

- 农林科技大学, 2015: 14.
- JI Z Z. Study of the main composition of *Zanthoxylum* leaf and its dry characteristics [D]. Xiayang: Northwest Agriculture & Forestry University, 2015: 14.
- [16] HUO Z H, XU D P, BIAO P, et al. Predicting distribution of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. in China [J]. BMC Ecology, 2020, 20(1): 366-375.
- [17] 高夏洁, 钟葵, 赵镭, 等. 我国不同产区花椒油的椒麻感官特性及物质组成[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 281-287.
- GAO X J, ZHONG K, ZHAO L, et al. Sensory numb taste characteristics and numb taste-active components of pepper oil produced in different areas of China[J]. Food Science, 2022, 43(8): 281-287.
- [18] 李航, 孙婧譞, 秦泽宇, 等. 花椒调味油加工过程品质变化研究[J/OL]. 中国油脂. (2022-05-30) [2022-10-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1099.TS.20220530.0829.004.html>.
- LI H, SUN J X, QIN Z Y, et al. Study on quality changed of *Zanthoxylum* oil during processing[J/OL]. China Oils and Fats. (2022-05-30) [2022-10-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1099.TS.20220530.0829.004.html>.
- [19] 李锦. 花椒及花椒籽风味油的制取及品质研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2020: 27.
- LI J. Study on preparation and quality of *Zanthoxylum bungeanum* and *Zanthoxylum bungeanum* seed flavor oil [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2020: 27.
- [20] 张凤芳. 花椒麻度分级与鲜花椒油生产工艺优化[D]. 成都: 西华大学, 2015: 42.
- ZHANG F F. Classification of *Zanthoxylum* and optimization of production technology of fresh *Zanthoxylum* oil [D]. Chengdu: Xihua University, 2015: 42.
- [21] 曲宗乔. 不同油脂的煎炸性能及煎炸专用油配制的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2019: 33.
- QU Z J. Study on the frying performance of different oils and the formulation of special frying oil[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2019: 33.
- [22] 张保霞. 基于主成分分析和改进支持向量机的猪肉品质识别[J]. 食品与机械, 2022, 38(1): 146-151.
- ZHANG B X. Pork quality identification based on principal component analysis and improved support vector machine[J]. Food & Machinery, 2022, 38(1): 146-151.
- [23] 孟祥忍, 高子武, 王恒鹏, 等. 主成分分析法构建循环卤煮牛肉挥发性风味强度评价模型[J]. 食品与机械, 2022, 38(10): 29-36.
- MENG X R, GAO Z W, WANG H P, et al. Construction of evaluation model of volatile flavor intensity of cyclic stewed beef based on principacomponent analysis[J]. Food & Machinery, 2022, 38(10): 29-36.
- [24] 孙海燕, 郝丹青, 李新生, 等. 不同品种及产地鲜天麻挥发性物质差异性分析[J]. 食品与机械, 2022, 38(4): 58-64.
- SUN H Y, HAO D Q, LI X S, et al. Differential analysis of volatile substances in fresh *Gastrodia elata* from different varieties and origin[J]. Food & Machinery, 2022, 38(4): 58-64.
- [25] JIA X, DENG Q C, YANG Y N, et al. Unraveling of the aroma-active compounds in virgin *Camellia* oil (*Camellia oleifera* abel) using gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry, aroma recombination, and omission studies[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(32): 9 043-9 055.
- [26] 袁桃静, 赵笑颖, 庞一扬, 等. 基于电子鼻、HS-GC-IMS 和 HS-SPME-GC-MS 对 5 种食用植物油挥发性风味成分分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(9): 102-111.
- YUAN T J, ZHAO X Y, et al. Detection of volatile flavor compounds in five edible vegetable oils by electronic nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(9): 102-111.

(上接第 165 页)

- [27] FUMIKO I, YUKI M, RISAKO T, et al. Changes in taste compounds, breaking properties, and sensory attributes during dry aging of beef from Japanese black cattle[J]. Meat Science, 2016, 112: 46-51.
- [28] FLORES M, TOLDRA F. Microbial enzymatic activities for improved fermented meats [J]. Trends in Food Science & Technology, 2011, 22(2/3): 81-90.
- [29] TERJUNG N F, WITTE, HEINZ V. The dry aged beef paradox: Why dry aging is sometimes not better than wet aging[J]. Meat Sci, 2021, 172: 108355.
- [30] LEE H J, CHOE J H, KIM M S, et al. Role of moisture evaporation in the taste attributes of dry- and wet-aged beef determined by chemical and electronic tongue analyses[J]. Meat Science, 2019, 151: 82-88.
- [31] LI X, BABOL J, BREDIE W L P, et al. A comparative study of beef quality after ageing *longissimus* muscle using a dry ageing bag, traditional dry ageing or vacuum package ageing[J]. Meat Sci, 2014, 97(4): 433-442.
- [32] 王恒鹏, 吴鹏, 陈胜妹, 等. 排酸时间与熟制程度对牛肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 16-21.
- WANG H P, WU P, CHEN S S, et al. Effects of time and degree of cooking on volatile flavor compounds of beef [J]. Food & Machinery, 2018, 34(12): 16-21.
- [33] FLORES M, GRIMM CC, TOLDRA F, et al. Correlations of sensory and volatile compounds of spanish "Serrano" dry-cured ham as a function of two processing times [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(6): 2 178-2 186.