

油脂化学

加热前后油茶籽油气味特征变化的规律研究

罗凡¹, 费学谦¹, 沈丹玉¹, 杨楠^{1,2}, 钟海雁²

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400; 2. 中南林业科技大学林学院, 长沙 410004)

摘要:利用电子鼻和气相色谱-质谱联用(GC-MS)分别从整体气味和挥发性成分两方面对不同热处理条件的油茶籽油进行了分析测定。结果表明:利用电子鼻对不同温度油茶籽油气味成分的样品间进行分析具有良好的区分度;在低温加热(30~90℃)时,随加热时间延长油茶籽油气味轮廓趋于稳定,高温加热(120~150℃)20 min后随加热时间的延长油茶籽油气味轮廓呈现发散性,规律与GC-MS测定结果一致;利用电子鼻建立的油茶籽油气味模型可以对未知油茶籽油样品的加热温度和加热时间进行定量预测,预测加热温度的模型中,当加热时间为20 min和40 min时,相对偏差分别为7.9%和3.6%;在预测加热时间的模型中,当加热温度为60℃和90℃时,相对偏差分别为14.0%和11.3%;GC-MS结果表明加热后油茶籽油的挥发性物质中杂环类、部分酸、醛、醇类物质含量呈上升趋势,己醛、环戊烷、环辛烷含量随加热温度升高先增加后减少;辛烯醛和2,4-壬二烯醛的含量随加热温度升高和加热时间的延长而减少,以上现象推测来源于脂肪氧化降解、斯特雷克儿氨基酸反应或美拉德反应的Strecker降解。

关键词:油茶籽油;温度;挥发性成分;电子鼻;GC-MS**中图分类号:**TS225.1;TQ646 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2018)05-0021-07

Regulation of characteristics of the smell of oil - tea camellia seed oil before and after heating

LUO Fan¹, FEI Xueqian¹, SHEN Danyu¹, YANG Nan^{1,2}, ZHONG Haiyan²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. College of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: The overall smell and volatile components of oil - tea camellia seed oil under different heating conditions were analyzed by electronic nose and gas chromatography - mass spectrometry (GC - MS). The results showed that the differentiations of smell components in oil - tea camellia seed oils at different temperatures were good by electronic nose. The oil - tea camellia seed oil smell profile was stable with the heating time prolonging at low heating temperature (30 - 90 °C), while the smell profile was divergent with the heating time prolonging after heating for 20 min at high temperature (120 - 150 °C), which was in accordance with determination results of GC - MS. The model set up by electronic nose could quantitatively forecast the heating temperature and time heating of unknown oil - tea camellia seed oil. Using the model of heating temperature, when the heating time were 20 min and 40 min, the relative deviation were 7.9% and 3.6% respectively, while using the model of heating time, when the heating temperature were 60 °C and 90 °C, the relative deviation were 14.0% and 11.3% respectively. The GC - MS

收稿日期: 2017-08-29; **修回日期:** 2018-02-28**基金项目:** 浙江省科技计划项目(2017C02003); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFYBB2017Z A004-10); 国家重点研发计划课题(2016YFD0600803)**作者简介:** 罗凡(1980), 女, 助理研究员, 博士, 主要从事经济林产品加工利用方面的研究工作(E-mail) luofan329@163.com。

results showed that the contents of heterocyclic, partial acid, aldehyde and alcohols in volatile components of oil - tea camellia seed oil increased after heating, the contents of hexanal, cyclopentane and cyclooctane increased firstly then decreased with heating temperature increasing, and the contents of octenal and 2,4 - nonadienal de-

creased with heating temperature and heating time increasing, which were originated from oxidation degradation of fat, the Strecker degradation of amino acid or Maillard reaction, etc.

Key words: oil - tea camellia seed oil; temperature; volatile component; electronic nose; GC - MS

在干燥、炒(蒸)制和压榨过程中,温度不可避免地油茶籽的内部形态及油茶籽油的品质产生重要影响。气味是食品风味的典型特征之一^[1],也是判断食品品质优劣的重要指标。挥发性成分是气味产生的基础,其形成与生产工艺密切相关^[2]。目前油茶籽油的加工主要以压榨为主,研究压榨油茶籽油的挥发性成分组成和含量是非常重要的。冷榨油营养成分保留高,但气味清淡;热榨油具有明显的烤坚果味,但其后续的精炼处理也会影响最终气味。而利用这些气味变化及相应的挥发性成分组成差异,可以为油茶籽油生产中风味品质的控制或改良提供依据。

电子鼻的研究始于20世纪80年代初期,通过对目标物中具有的挥发性气体、有机物等进行捕集分析,对采集到的数据进行统计计算分析,使用一系列传感器来模仿嗅觉,检测和区分复杂样品的气味,其成本低廉,应用广泛^[3]。此外,还可以利用传感器模拟嗅觉以评价样品的整体风味^[4]。Zheng等^[5]利用电子鼻区别油茶籽油、玉米油和芝麻油,说明油茶籽油具有独特气味。挥发性成分分析通常采用气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术,可对样品中挥发性成分的具体种类和含量进行检测^[6-7]。Zhong等^[8-9]利用SPME-GC-MS测定冷榨油茶籽油的顶空挥发性成分,发现其主要由戊醛到壬醛等9种饱和醛组成。而电子鼻和GC-MS结合可更准确地对油脂气味变化进行分析^[10]。

本文利用GC-MS对不同热处理条件的压榨油茶籽油中的挥发性成分进行了分离鉴定;进而通过电子鼻,基于整体气味对不同油茶籽油进行了比较区分,以期从宏观(整体气味)和微观(挥发性成分)两方面为油茶籽油的品质控制提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

1.1.1 实验原料

实验中所用油茶籽样品于2016年10月底采自浙江康能食品有限公司油茶基地,在原料清理时除去未成熟粒、破损粒和霉变粒,油茶籽仁含水率7.8%,含油率49.93%。

1.1.2 仪器与设备

6YY-190型自动液压榨油机,洛阳金厦液压

机械有限公司;PEN3电子鼻,德国Airsense公司;Agilent 7890A-5975C气相色谱质谱联用仪,美国安捷伦科技有限公司;DVB/CAR/PDMS萃取头,美国Supelco公司。

1.2 实验方法

1.2.1 加热条件及制油

称取5份油茶籽各2.0 kg,平铺于托盘中并分别在30、60、90、120、150℃烘箱中烘烤0、20、40、60 min,烘后自然冷却至室温,去壳液压榨油,冷藏备用。

1.2.2 挥发性成分的萃取

准确称取5.0 g油茶籽油样品置于20 mL顶空瓶中,盖紧密封后于50℃孵育10 min。利用CTC-PAL自动进样器,将老化的DVB/CA/PDMS萃取头插入顶空瓶上空,50℃下萃取30 min。立即插入进样口在250℃下解吸1 min进行GC-MS分析^[11]。

1.2.3 GC-MS分析

GC条件:HP-INNOWAX毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);载气(He)流速1 mL/min;升温程序为初温40℃,保持3 min,以4℃/min升温至220℃,保持5 min;不分流进样。

MS条件:电子轰击(EI)离子源;电子能量70 eV;传输线温度280℃;离子源温度230℃,四级杆温度150℃;质量扫描范围(*m/z*):33~650。

化合物分析:将化合物谱图检索结果与NIST2.0谱库相匹配,仅报道匹配度大于80%的结果。采用峰面积归一化法计算各成分的相对含量。

1.2.4 电子鼻判别

称取1.0 g油茶籽油样品置于20 mL顶空瓶,盖紧密封后常温条件下平衡10 min。利用PEN3电子鼻进行测定,具体参数为:样品测定间隔时间1 s;样品准备时间5 s;样品测试时间60 s;测量计数时间1 s;清洗时间110 s;自动调零时间10 s;内部流量和进样流量300 mL/min。数据选取时间段55~58 s,每个处理重复测定8次。利用WinMuster软件进行主成分分析(PCA)及区分度(DP)计算。

2 结果与amp;讨论

2.1 油茶籽油气味轮廓的电子鼻分析

2.1.1 气味模型的建立

利用电子鼻分别采集30、60、90、120℃和

150 ℃下油茶籽分别加热 0、20、40 min 和 60 min 后所榨油茶籽油样品的气味,并根据同一时间不同温度以及同一温度不同时间加热后油茶籽油的气味轮廓分别建立模型,具体见表 1。

表 1 不同加热条件油茶籽油气味模型

模型序号	加热时间	加热温度
1	20 min	对照,30、60、90、120、150 ℃
2	40 min	对照,30、60、90、120、150 ℃
3	60 min	对照,30、60、90、120、150 ℃
4	0、20、40、60 min	30 ℃
5	0、20、40、60 min	60 ℃
6	0、20、40、60 min	90 ℃
7	0、20、40、60 min	120 ℃
8	0、20、40、60 min	150 ℃

注:对照是指未加热下的环境温度。

2.1.2 油茶籽油气味共性分析

电子鼻是利用 10 根传感器对不同气味成分进行轮廓分析和鉴别,本文利用分析软件对不同温度、不同时间的模型进行传感器贡献率分析,以期找到不同模型中油茶籽油气味成分的共性因素。结果发现在所建立的模型中传感器的贡献率相似,如图 1 所示。

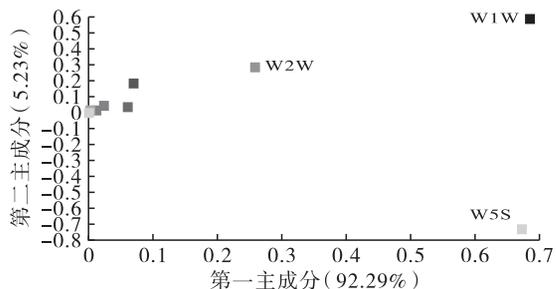


图 1 传感器贡献率分析(以气味模型 1 为例)

图 1 中每个点代表一个传感器,横纵坐标分别为第一主成分和第二主成分,横坐标轴值越大说明传感器对第一主成分贡献率越大,纵坐标值越大说明对第二主成分贡献率越大。从图 1 可以看出,传感器 W1W 对第一主成分和第二主成分贡献率都大,W2W 次之,而这两个传感器对芳香成分和有机硫化物灵敏;传感器 W5S 对第一主成分贡献率大,这个传感器对氮氧化物灵敏。由此可以推测油茶籽油的气味组成的共性特征为烷烃、芳香成分、有机硫化物和氮氧化物等。

2.1.3 加热温度对气味轮廓的影响

运用电子鼻对不同温度油茶籽油的气味轮廓进行采集,依据传感器响应值进行主成分分析和区分度计算,结果如图 2 所示。

从图 2 可以看出,加热时间一致的情况下,对油

茶籽的加热温度越高,其压榨毛油的气味轮廓越小,这可能是由于低温加热后油茶籽油的挥发量小,平行样品比较分散,气味特异性不显著,而加热温度越高,挥发量比较多,气味特异性更显著,分析的样品也更稳定。加热 20、40 min 和 60 min 后,不同温度气味成分的样品间区分度好,第一主成分和第二主成分贡献率之和分别为 99.59%、99.23% 和 99.41%,均接近 100%,说明采集数据接近原始信息。

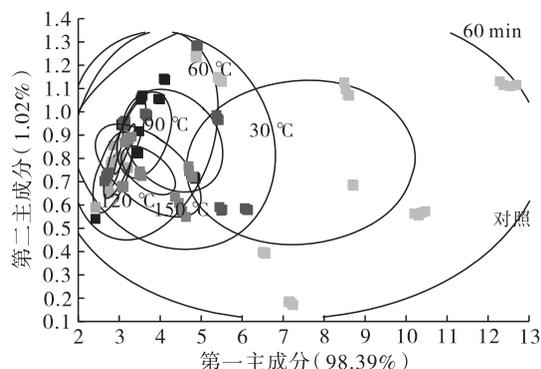
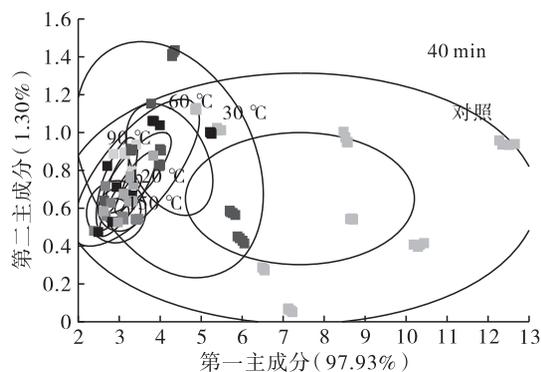
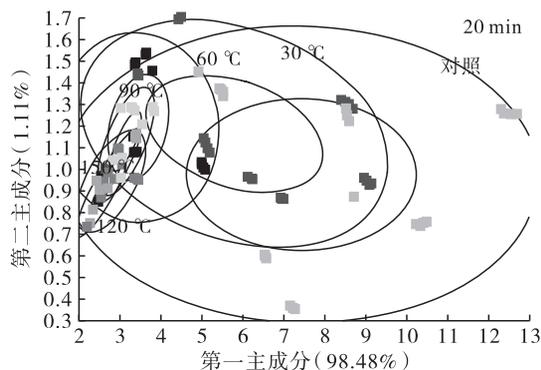


图 2 不同加热温度油茶籽油风味主成分分析结果

2.1.4 加热时间对气味轮廓的影响(见图 3)

从图 3 可以看出,随着加热温度的升高(30 ~ 90 ℃),加热时间延长导致油茶籽油气味轮廓稳定的趋势更加明显,但加热温度升高到 120 ℃ 后(120 ℃ 和 150 ℃)加热 20 min 后随加热时间的延长油茶籽油气味轮廓又呈现发散性,有可能是加热导致了新气味物质的产生。

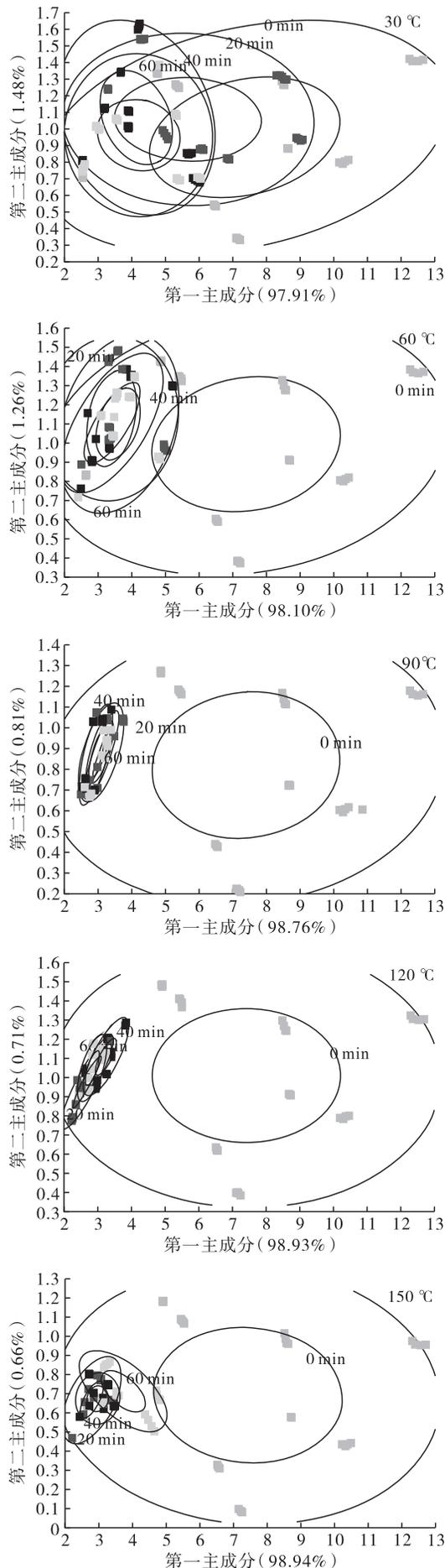


图3 不同加热时间油茶籽油风味主成分分析结果

30、60、90、120 °C 和 150 °C 分别加热 0、20、40 min 和 60 min 后,不同温度气味成分的样品间区分度好,第一主成分和第二主成分贡献率之和分别为 99.39%、99.36%、99.57%、99.64%、99.60%,均接近 100%,说明采集数据接近原始信息。

2.1.5 不同加热时间和加热温度的电子鼻判别

采用 PLS 偏最小二乘法建立预测模型,采用表 1 中模型 1,2,3 用以预测未知样品曾在一定加热时间内的加热温度;模型 4,5,6,7 和 8 用以预测未知样品曾在一定温度下的加热时间。所预测的样品分别为 100 °C 加热 20、40 min 和 60 min 后以及分别在 30、60、90、120 °C 和 150 °C 加热 30 min 后的油茶籽榨取的油茶籽油,每个未知样品测定 3 次。表 2 所示为所用模型和预测结果。

表2 电子鼻气味模型对油茶籽油加热条件的定量预测结果

模型序号	固定条件	实际值	预测值	相对偏差/%
1	加热 20 min	100 °C	(92.1 ± 5.6) °C	7.9
2	加热 40 min	100 °C	(103.6 ± 2.4) °C	3.6
3	加热 60 min	100 °C	(122.7 ± 16.5) °C	22.7
4	30 °C	30 min	(25.6 ± 2.7) min	14.6
5	60 °C	30 min	(34.2 ± 3.1) min	14.0
6	90 °C	30 min	(33.4 ± 3.6) min	11.3
7	120 °C	30 min	(19.9 ± 7.8) min	33.7
8	150 °C	30 min	(15.3 ± 4.3) min	49.0

从表 2 可以看出,在预测加热温度的模型中,当加热时间为 20、40 min 时预测较准确,相对偏差分别为 7.9% 和 3.6%;在预测加热时间的模型中,当加热温度为 60、90 °C 时预测较准确,相对偏差分别为 14.0% 和 11.3%。可能是因为适温(90 °C)和适时(40 min)加热后油茶籽油的挥发性成分更加稳定和更具特征性。

2.2 油茶籽油挥发性成分的 GC-MS 鉴定

2.2.1 挥发性成分数量

利用 GC-MS 对加热前后的油茶籽油样品进行检测,不同样品测到的挥发性成分数量不同,最少的 36 种(90 °C 加热 40 min),最多的 68 种(不加热),对挥发性成分的数量进行分析,结果如图 4 所示。

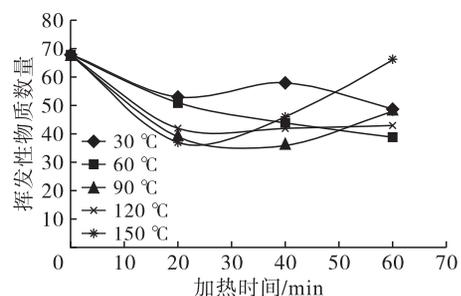


图4 油茶籽油中挥发性成分的数量变化

从图4可以看出,随着加热时间的延长,低温加热(30℃和60℃)时油茶籽油中能检测到的挥发性成分的数量呈减少趋势,在加热60 min时数量降至最低,分别只有初始的72.1%和57.4%;高温加热(90、120℃和150℃)挥发性成分的数量先减少后又增加,最少的挥发性成分数量分别出现在加热40、20 min(40 min)和20 min时,分别只有初始的52.9%、61.8%和54.4%,当加热60 min时,挥发性成分数量分别上升到48、43种和66种,为初始挥发物数量的70.6%、63.2%和97.1%。这一结果与电子鼻测定中随加热强度的增加油茶籽油气味轮廓缩小的结果一致。随加热强度增加而减少的挥发性成分有己烯醛、辛烯、苯、十二烷、丁酸、顺-7-十四碳烯醛、蒎烷、月桂烯醛、庚烯酸、己酸、邻苯二甲酸二乙酯、十六烷、苯酚和环十五烷等,推测是油茶籽在采收、贮藏、晾晒、运输过程中附着的或油茶籽油中本身的一些不稳定挥发性物质,这些物质在加热过程中被释放;随加热强度增加而增加的挥发性成分主要包括2,5-二甲基吡嗪、苯甲醛、苯甲醇、苯乙醛、5-己基二氢-2(3H)-呋喃酮、2-甲基环丙烷-1-甲酸乙酯、3,4-二甲基-2,5-二氢呋喃、丁酸、环戊烷、丁香酚甲醚、十五烷、丁羟甲苯等,分析来自于油脂及其伴随物氧化后的小分子的产生或者美拉德反应产物的增加等。

2.2.2 主要挥发性成分组成

加热前后油茶籽油样品中的主要挥发性成分如表3所示。从表3可以看出,鉴定出的挥发性物质包括醇类、醛酮类、酯类、羧酸类、杂环类等。这与龙奇志等^[12]的研究结果相符。加热后油茶籽油中的苯乙烯、己酸、5-乙二氢-2(3H)-呋喃酮、庚酸、壬酸的含量明显增加,5-己基二氢-2(3H)-呋喃酮、3,4-二甲基-2,5-二氢呋喃、丁酸、丁香酚甲醚的含量从无到有;随加热温度的升高和加热时间的延长,戊酸、苯甲醛、苯乙醛、正辛醇、壬醛、辛酸、甲氧基环辛烷、十一醇和5-丁基二氢-2(3H)-呋喃酮的含量逐渐增加,相反邻苯二甲醚、2,4-癸二烯醛和反式2,4-癸二烯醛的含量逐渐下降;己醛、环戊烷、环辛烷含量随加热温度升高先增加后减少;辛烯醛和2,4-壬二烯醛的含量随加热温度升高和加热时间的延长而减少;癸酸、4-八氢萘酚、环己酮、月桂烯酸和己酮的含量随加热变化不大。

加热后含量增加的杂环类5-乙二氢-2(3H)-呋喃酮、5-己基二氢-2(3H)-呋喃酮、3,4-二甲基-2,5-二氢呋喃、5-丁基二氢-2(3H)-呋喃酮等是美拉德反应产物,其阈值较低,

对风味贡献较大^[13],是优化坚果焙烤条件的重要指标^[14-15];正辛醇、十一醇等醇类物质主要来源于脂肪的氧化降解,直链饱和醇的阈值较高,对风味作用不大,单不饱和醇阈值较低,对风味贡献较大;醛酮类物质主要来自脂肪酸氧化一级产物氢过氧化物的分解,苯甲醛、苯乙醛、己醛和壬醛等醛类化合物的阈值很低,具有脂肪香味,主要来源于脂肪氧化降解、斯特雷克儿氨基酸反应或美拉德反应的Strecker降解^[16]。

3 结论

(1)根据电子鼻中对油茶籽油挥发性成分最敏感的W1W、W2W和W5S3个传感的性能分析得出,油茶籽油的气味组成的共性特征为烷烃、芳香成分、有机硫化物和氮氧化合物。

(2)运用电子鼻对不同温度油茶籽油的气味轮廓进行采集,依据传感器响应值进行主成分分析和区分度计算发现不同加热温度油茶籽油气味成分的样品间具有很好的区分度;随着加热温度的升高(30~90℃),加热时间延长导致油茶籽油气味轮廓稳定的趋势更加明显,但加热温度升高到120℃后(120℃和150℃)加热20 min后随加热时间的延长油茶籽油气味轮廓又呈现发散性,有可能是加热导致了新气味物质的产生。

(3)利用电子鼻所建立的气味成分模型可以对未知油茶籽油样品的加热温度和加热时间进行定量预测,其中在预测加热温度的模型中,当加热时间为20、40 min时预测较准确,相对偏差分别为7.9%和3.6%;在预测加热时间的模型中,当加热温度为60、90℃时预测较准确,相对偏差分别为14.0%和11.3%。

(4)低温加热时(30℃和60℃),随着加热时间的延长油茶籽油中能检测到的挥发性成分的数量呈减少趋势,在加热60 min时数量降至最低,分别只有初始的72.1%和57.4%;高温加热(90、120℃和150℃)挥发性成分的数量先减少后又增加,当加热60 min时,挥发性成分数量分别上升到初始挥发物数量的70.6%、63.2%和97.1%。前者的减少主要由于一些附着性成分或小分子成分的释放,后者的增加主要源于油脂氧化和美拉德反应。

(5)油茶籽油中的主要挥发性物质包括醇类、醛酮类、酯类、羧酸类、杂环类等,加热后杂环类物质、部分酸、醛、醇类物质含量呈上升趋势,己醛、环戊烷、环辛烷含量随加热温度升高先增加后减少;辛烯醛和2,4-壬二烯醛的含量随加热温度升高和加热时间的延长而减少。

表3 不同加热条件下油茶籽油挥发性成分的组成

序号	化合物	对照	30 °C 含量/%			60 °C 含量/%			90 °C 含量/%			120 °C 含量/%			150 °C 含量/%		
			20 min	40 min	60 min	20 min	40 min	60 min	20 min	40 min	60 min	20 min	40 min	60 min	20 min	40 min	60 min
1	己醛	2.77	5.03	3.82	3.60	2.70	4.68	3.12	2.44	5.33	3.19	3.02	3.84	4.18	2.33	2.22	0.13
2	环戊烷	0.13	0.11	0.09	0.25	0.09	0.34	0.17	0.17	-	0.27	-	-	-	-	-	-
3	戊酸	0.17	1.11	-	1.00	-	2.03	-	1.43	-	1.62	1.30	-	2.13	1.65	1.52	2.89
4	苯乙烯	0.07	7.65	14.31	10.81	12.27	9.56	10.79	12.29	13.50	10.91	9.01	-	7.61	14.07	6.31	-
5	苯甲醛	-	-	-	-	0.29	1.03	2.21	2.61	2.07	44.73	42.33	49.81	44.39	31.50	5.01	3.86
6	己酸	20.46	43.73	40.59	49.39	44.17	48.47	18.93	45.47	45.55	44.73	42.33	49.81	44.39	31.50	38.31	35.57
7	苯乙醛	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.22	0.36	1.35	1.56	4.60	5.55	7.70
8	5-乙二氢-2(3H)-呋喃酮	0.18	1.12	1.29	1.60	1.43	1.58	1.55	1.53	1.45	1.39	1.24	1.47	1.42	1.21	1.25	0.90
9	辛烯醛	3.89	3.54	3.07	3.16	1.23	2.81	2.51	2.67	2.42	1.55	2.48	3.04	2.90	1.76	1.36	0.84
10	正辛醇	0.14	0.98	1.09	1.21	1.17	1.23	1.24	1.37	1.66	1.66	1.54	1.44	1.48	1.78	1.87	1.74
11	庚酸	0.70	3.54	3.40	-	4.23	3.71	3.72	3.16	2.40	3.45	3.14	4.09	2.23	1.74	3.04	2.57
12	壬醛	2.03	2.68	3.26	3.50	3.55	3.43	3.90	4.30	5.57	5.16	5.60	3.91	5.24	8.56	5.58	3.56
13	环辛烷	0.06	0.21	0.14	0.19	0.16	0.19	0.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	邻苯二甲醚	1.60	0.64	-	0.32	0.33	0.20	0.26	0.32	0.28	0.33	0.34	0.30	0.35	0.38	0.31	0.34
15	5-己基二氢-2(3H)-呋喃酮	-	0.29	0.22	0.23	0.27	0.11	0.29	0.23	-	0.26	0.29	0.33	-	-	0.37	0.03
16	2-甲基环丙烷-1-甲酸乙酯	-	-	-	0.17	0.47	0.40	0.47	0.37	1.10	0.45	0.46	0.47	0.39	0.65	0.65	0.19
17	2-壬烯醛	2.41	0.60	0.47	0.45	0.47	0.48	0.44	0.50	0.48	0.50	0.57	0.55	0.61	0.85	0.75	-
18	辛酸	0.58	6.22	6.61	4.86	7.45	5.23	6.18	5.63	5.02	6.50	7.39	7.76	4.81	-	6.60	6.74
19	甲氧基环辛烷	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23	0.21	-	0.33	-	0.09	-
20	十一醇	-	-	0.11	-	0.17	0.26	0.30	-	0.83	0.32	0.22	0.46	0.29	0.90	0.58	-
21	癸酸	0.39	0.23	0.22	0.24	0.24	0.28	0.28	0.32	0.40	0.36	0.46	0.33	0.46	0.49	0.45	0.37
22	2,4-壬二烯醛	0.94	0.54	0.48	0.27	0.42	0.25	0.39	0.22	0.19	0.23	0.26	0.45	0.25	-	0.26	0.35
23	3,4-二甲基-2,5-二氢呋喃	-	1.69	-	-	1.44	1.10	1.03	1.11	0.87	1.06	1.05	1.19	1.05	1.46	1.08	0.87
24	5-丁基二氢-2(3H)-呋喃酮	0.25	0.61	0.67	0.52	0.73	0.55	0.60	0.65	0.52	0.70	0.72	-	0.55	0.93	0.76	0.74
25	4-八氢萘酚	2.92	2.07	1.86	1.52	1.82	1.68	1.72	1.83	1.30	1.83	2.22	2.27	1.80	2.99	2.65	2.31
26	环己酮	0.48	0.31	0.35	-	0.35	0.21	0.24	0.25	0.25	0.26	0.29	0.27	0.19	0.49	0.27	0.29
27	壬酸	0.47	5.50	6.54	4.38	6.42	4.10	4.20	5.22	-	5.07	6.06	5.96	3.34	3.30	4.55	4.89
28	2,4-癸二烯醛	5.47	0.48	0.41	0.36	0.30	0.31	0.19	0.20	0.20	0.18	0.20	0.21	0.23	0.31	-	0.22
29	丁酸	-	0.20	0.22	0.14	0.30	-	0.20	0.19	0.22	0.24	-	0.21	0.15	0.25	0.28	0.37
30	反式2,4-癸二烯醛	9.58	1.06	-	0.61	0.59	0.54	0.42	0.41	0.38	0.44	0.47	0.53	0.55	0.69	0.49	0.56
31	月桂烯醛	2.59	1.88	1.14	0.81	0.98	0.95	1.44	0.97	1.17	0.92	1.30	2.02	1.51	2.64	2.12	1.69
32	丁香酚甲醚	-	0.19	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13	0.19	0.13	0.20	0.20	0.18	0.14	0.28	0.22	0.19
33	己酮	0.50	0.25	0.29	0.34	0.19	0.24	0.21	0.19	0.20	0.21	0.12	0.24	0.22	0.36	0.15	0.13

注：“-”表示未检出，检出限为0.005%。

参考文献:

- [1] 杨柳, 吴翠蓉, 朱杰丽, 等. 顶空-气质联用法鉴别油茶籽油真伪[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(11): 105-109, 113.
- [2] 黄江艳, 李秀娟, 潘思轶. 固相微萃取技术在食品风味分析中的应用[J]. 食品科学, 2012, 33(7): 289-298.
- [3] 吴君章, 赵盛翹, 韩冰, 等. 基于 Flash GC 电子鼻全色谱数据的卷烟类型快速判别的研究[J]. 分析测试学报, 2017, 36(1): 80-85.
- [4] 周春丽, 刘伟, 陈冬, 等. 基于电子鼻与 SPME-GC-MS 法分析不同南瓜品种中的挥发性风味物质[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 293-301.
- [5] ZHENG H, WANG J. Detection of adulteration in camellia seed oil and sesame oil using an electronic nose [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2006, 108: 116-124.
- [6] 石文婷, 伍贤进, 王玺, 等. 气相色谱-质谱联用结合化学计量学方法分析光照对鱼腥草挥发性成分的影响[J]. 分析测试学报, 2014, 33(2): 127-132.
- [7] 李琦, 李春艳, 徐畅, 等. 低温冷冻液液萃取/GC-MS 结合保留指数分析香蕉中的挥发性成分[J]. 分析测试学报, 2017, 36(4): 457-463.
- [8] ZHONG H Y, BEDGOOD D R, BISHOP A G, et al. Endogenous biophenol, fatty acid and volatile profiles of selected oils [J]. Food Chem, 2007, 100(4): 1544-1551.
- [9] ZHONG H Y, BEDGOOD D R, BISHOP A G, et al. Effect of added caffeic acid and tyrosol on the fatty acid and volatile profiles of camellia oil following heating [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(25): 9551-9558.
- [10] 孙月娥. 基于电子鼻的植物油脂品质评价[J]. 粮油加工, 2010(6): 10-12.
- [11] 罗凡, 费学谦, 李康雄, 等. 预处理条件对油茶籽液压榨油效率和品质的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(4): 94-99.
- [12] 龙奇志, 黄永辉, 钟海雁, 等. 茶油挥发性成分的固相微萃取-气相色谱-质谱分析[J]. 中国食品学报, 2009, 9(3): 187-194.
- [13] 孙红梅, 李侠, 张春晖, 等. 鸡骨素及其酶解液的美拉德反应产物挥发性风味成分比较分析[J]. 分析测试学报, 2013, 32(6): 661-667.
- [14] LIU X J, JIN Q Z, LIU Y F, et al. Changes in volatile compounds of peanut oil during the roasting process for production of aromatic roasted peanut oil [J]. J Food Sci, 2011, 76(3): C404-C412.
- [15] 李丽, 高彦祥, 袁芳. 坚果焙烤香气化合物的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2011(3): 164-169.
- [16] 闫虹. 狭鳕鱼排美拉德反应制备肉香型风味物及其抗氧化活性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- (上接第 20 页)
- and microwave-assisted extraction [J]. Biosci Biotech Biochem, 2014, 78(1): 79-85.
- [4] 于清跃, 朱新宝. 薄荷种植与薄荷精油提取研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(13): 7911-7913.
- [5] 马亚琴, 叶兴乾, 吴厚玖, 等. 超声波辅助提取植物活性成分的研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 459-463.
- [6] 许晖, 孙兰萍, 李善菊, 等. 超声波辅助提取亚麻籽油的工艺条件优化[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(7): 64-68.
- [7] 严小平, 李成平, 金建昌. 超声波提取西瓜籽油的最佳工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(3): 53-56.
- [8] 唐萍, 鲜欣言, 胡怀容, 等. 超声波辅助提取黄秋葵籽油及其脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2014, 39(8): 14-17.
- [9] 刘世彪, 谭秀梅, 彭小列, 等. 绞股蓝种子油的提取、成分分析和急性毒性实验[J]. 广西植物, 2014, 34(1): 130-134.
- [10] 伍新龄, 王凤玲, 关文强. 植物油脂脂肪酸甲酯化方法比较与含量测定[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(4): 84-87.
- [11] 吴帆, 韩琴, 于勇杰. 香榧与油茶籽中脂肪酸成分的 GC-MS 分析[J]. 中国野生植物资源, 2014, 33(1): 36-39.
- [12] 瞿晓晶, 彭芳芳, 尹楹富, 等. 构树种子油的超声强化提取及其抗氧化性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(10): 1685-1689.
- [13] 刘世彪, 吕江明, 刘祝祥, 等. 一串红种子油的提取、成分分析及其急性毒性研究[J]. 广西植物, 2011, 26(9): 56-59.
- [14] 胡彦, 沈清清, 张铁, 等. 花生油与紫苏种子油脂脂肪酸组分的比较研究[J]. 文山学院学报, 2014, 27(3): 17-20.
- [15] 刘家欣, 朱苗力, 黄诚, 等. 气相色谱/质谱法分析菜籽油中脂肪酸[J]. 吉首大学学报(自然科学版), 1997, 18(3): 52-54.
- [16] 汤富彬, 沈丹玉, 刘毅华, 等. 油茶籽油和橄榄油中主要化学成分分析[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(7): 108-113.
- [17] 易军鹏, 朱文学, 马海乐, 等. 牡丹籽油超声波辅助提取工艺的响应面法优化[J]. 农业机械学报, 2009, 40(6): 103-110.
- [18] 任海伟, 李雪, 唐学慧. 亚麻籽粒及其油脂的特性分析与营养评价[J]. 食品工业科技, 2011, 32(6): 143-145.
- [19] 刘晓娇, 李彬, 何鸿举, 等. 粗榧种子油脂抗氧化性及其脂肪酸组成分析[J]. 西北农业学报, 2016, 25(3): 429-434.