

高温对灰鹅液油食用安全性及风味物质的影响

杨海华^{1,2}, 胡佳慧^{1,2}, 郑华^{1,2}, 林捷^{1,2}, 林智宏³, 吴绍宗^{1,2}

(1. 华南农业大学食品学院, 广州 510642; 2. 畜禽产品精准加工与安全地方联合工程研究中心, 广州 510642; 3. 广东正牧甘鬃鹅餐饮有限公司, 广东 肇庆 526200)

摘要: 为了提高可食用动物油脂的经济价值, 以灰鹅液油为原料, 在 110、130、150、170、190 °C 对其连续加热 10 h, 测定不同温度下灰鹅液油的过氧化值、酸值、丙二醛含量及挥发性物质含量, 分析高温对灰鹅液油食用安全性及风味物质的影响。结果表明: 与室温放置 10 h 的灰鹅液油(对照)相比, 高温处理后灰鹅液油过氧化值、酸值、丙二醛含量增加, 且在温度升高至 130 °C 时过氧化值和丙二醛含量均超过国标限值; 通过电子鼻分析发现, 110 °C 加热对灰鹅液油的风味影响不大; 灰鹅液油中共检出 74 种挥发性物质, 主要为醛类、醇类物质, 随温度升高, 挥发性物质种类增加, 总含量先升高后降低, 并在 150 °C 时最高。综合油脂氧化和风味变化, 建议灰鹅液油加热温度应低于 130 °C。

关键词: 灰鹅; 油脂; 高温; 食用安全性; 风味物质

中图分类号: TQ641; TS201.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2023)07-0023-06

Effect of high-temperature treatment on the edible safety and flavor components of grey goose liquid oil

YANG Haihua^{1,2}, HU Jiahui^{1,2}, ZHENG Hua^{1,2}, LIN Jie^{1,2},
LIN Zhihong³, WU Shaozong^{1,2}

(1. Food College, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Livestock and Poultry Products Precision Processing and Safety Local Joint Engineering Research Center, Guangzhou 510642, China; 3. Guangdong Zhengmu Ganzong Goose Food Co., Ltd., Zhaoqing 526200, Guangdong, China)

Abstract: In order to improve the economic value of edible animal oils, the grey goose liquid oil was used as the raw material, and it was continuously heated at 110, 130, 150, 170 °C and 190 °C for 10 h, the peroxide value, acid value, malondialdehyde content and volatile substances content of grey goose liquid oil were determined to analyze the effects of high temperature on the food safety and flavor components of grey goose liquid oil. The results showed that compared with grey goose liquid oil left at room temperature for 10 h (the control), the peroxide value, acid value, and malondialdehyde content of grey goose liquid oil after high-temperature treatment increased, and the peroxide value and malondialdehyde content exceeded the limit value of the national standard at 130 °C. The electronic nose analysis showed that the flavor of grey goose liquid oil heated at 110 °C had no significant differences compared with the control. A total of 74 volatile components were detected in grey goose liquid oil, which mainly were aldehydes and alcohols. As the temperature increased, the types of volatile components increased and the total content

first increased and then decreased, and it was the highest at 150 °C. Comprehensively considering the oxidation of oil and the change of oil flavor, it is recommended that the heating temperature of grey goose liquid oil should be lower than 130 °C.

Key words: grey goose; oil; high-temperature; edible safety; flavor components

收稿日期: 2022-02-13; 修回日期: 2023-02-23

基金项目: 2021年广东省现代农业产业技术体系创新团队建设(2021KJ128)

作者简介: 杨海华(1997), 男, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工与控制(E-mail) 814766551@qq.com。

通信作者: 郑华, 副教授, 硕士(E-mail) 951524011@qq.com。

动物油脂是在烹调加热过程中可形成特殊香气,增加食物的香味并改善其外观,从而使其受到消费者的喜爱。动物油脂常应用于高温烹调,但高温会造成油脂营养、风味及安全性下降。如:鸡油在180℃加热16 h,其酸值、过氧化值、羰基值均增加,产生油脂氧化酸败的气味,造成油脂品质下降^[1];猪油在炼制温度超过180℃,炼制时间为15 min时,其酸值、过氧化值显著增加,品质下降,存在较大食用安全隐患^[2]。另外,油脂在加热过程中,脂肪酸裂解产生小分子物质醛、醇等,这些小分子物质与油脂加热过程中形成的独特风味有关^[3-6]。

鹅腹脂是鹅屠宰加工产生的副产物,含有丰富的不饱和脂肪酸^[7]。目前,鹅腹脂作为低价值的油脂应用于食品行业,有关灰鹅油脂的深加工和风味研究报道较少。本试验以广东灰鹅腹脂分提出的灰鹅液油为原料,基于GB 10146—2015《食品安全国家标准 食用动物油脂》研究高温对其食用安全性和风味物质的影响,以期对鹅腹脂的高附加值开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

灰鹅液油(不饱和脂肪酸含量73.01%),华南农业大学食品学院实验室提供(灰鹅腹脂粗提后,在结晶温度24℃、降温速率9℃/h、养晶时间13 h条件下结晶,于常温、4 000 r/min条件下离心20 min进行分提获得)。三氯乙酸、冰乙酸、碘化钾、石油醚、酚酞、氢氧化钾、乙二胺四乙酸二钠、硫代巴比妥酸、异辛烷、硫代硫酸钠,分析纯;异丙醇、甲醇,色谱纯,德国Merck KGaA公司。

RE-52AA 旋转蒸发器;SHZ-D 循环水式真空泵;BS-IIS 分析天平;HH-WO 油浴锅;754 型紫外-可见分光光度计;TDL-5-A 低速台式大容量离心机;7890A 气相色谱仪、6890N 气相色谱仪、890A/5975C 气相色谱-质谱联用仪,美国Agilent公司;TS-92 摇床。

1.2 试验方法

1.2.1 灰鹅液油的高温加热试验

取100 g灰鹅液油5份,分别在110、130、150、170、190℃条件下连续油浴加热10 h,取样,待测。以室温放置10 h的灰鹅液油为空白对照。

1.2.2 理化指标的测定

过氧化值参考GB 5009.227—2016中的第一法测定,酸值参考GB 5009.229—2016中的第一法测定,丙二醛含量参考GB 5009.181—2016中的分光光度法测定。

1.2.3 脂肪酸组成及相对含量的测定

参考GB 5009.168—2016中的峰面积归一化法测定灰鹅液油的脂肪酸组成及含量。

1.2.4 电子鼻测定

参考刘金凯等^[8]的方法进行电子鼻测定。准确量取5.00 mL样品,放入15 mL的样品瓶中,加入磁力搅拌子后密封,置于60℃磁力搅拌水浴锅中加热20 min,采用PEN3型便携式电子鼻(W1C、W5S、W3C、W6S、W5C、W1S、W1W、W2S、W2W、W3S 10种传感器)对样品进行检测,测试时间120 s,传感器清洗时间180 s,进样流量300 mL/min,取响应曲线较为平稳的100~105 s的数据进行主成分分析。

1.2.5 挥发性物质组成及相对含量的测定

采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法测定挥发性物质的组成及相对含量。

顶空固相微萃取参考耿宇凤^[9]的方法。准确称取待测样品5.00 g,置于20 mL顶空瓶中,加入磁力搅拌子,使用硅胶垫(聚四氟乙烯衬里)密封,于60℃磁力搅拌水浴锅中平衡10 min,使用活化后的50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头顶空吸附40 min,吸附完成后,置于气相色谱-质谱联用仪进样口,程序升温解吸5 min,进行气相色谱-质谱分析。

气相色谱分析条件:Agilent HP-5MS 色谱柱(30 m×0.25 mm,0.25 μm);进样口温度260℃;升温程序为起始柱温45℃,保持2 min,以5℃/min升温至120℃,以12℃/min升温至250℃,保持2 min,以10℃/min升温至260℃;载气为氦气,流速1.0 mL/min;不分流进样。

质谱分析条件:电子轰击电离源,电子能量70 eV,接口温度280℃,离子源温度230℃,四极杆温度150℃,质量扫描范围(m/z)40~500。

数据处理:测定结果与计算机谱库(NIST08)检索,与标准谱图比对,筛选匹配度大于80%的化合物,确认挥发性物质的化学组成,通过峰面积归一化法定量。

1.2.6 数据处理与分析

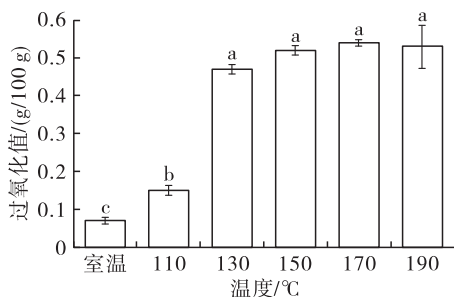
使用SPSS 23.0软件对数据进行方差及显著性分析,差异在0.05水平上被认为有显著性差异($p < 0.05$);使用Origin 8.5软件绘图。

2 结果与讨论

2.1 高温对灰鹅液油过氧化值的影响(见图1)

由图1可见,室温放置10 h后,灰鹅液油过氧化值为0.07 g/100 g,110℃加热10 h后,灰鹅液油过氧化值升至0.15 g/100 g,130℃加热10 h后时,灰鹅液油过氧化值显著增加至0.47 g/100 g

($p < 0.05$),之后随温度的升高,过氧化值继续增加,在190℃时略有下降,但样品间差异均不显著($p > 0.05$)。当处理温度在110℃时,过氧化值符合GB 10146—2015规定(≤ 0.20 g/100 g)。随着温度的升高,灰鹅液油中的不饱和脂肪酸与氧反应,生成氢过氧化物,致使过氧化值大幅度增大^[10-11],但过高的温度也会使过氧化物进一步分解,造成过氧化值降低^[12]。



注:不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同

图1 高温对灰鹅液油过氧化值的影响

2.2 高温对灰鹅液油酸值的影响(见图2)

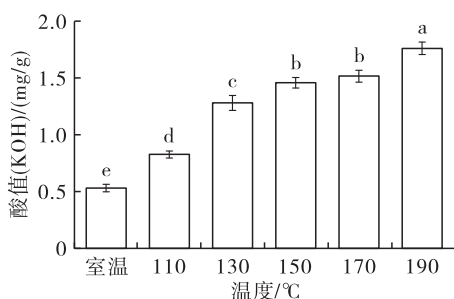


图2 高温对灰鹅液油酸值的影响

随着油脂加热温度的升高,含有丰富不饱和脂肪酸的甘油三酯水解生成游离脂肪酸^[13]。由图2可见,随温度的升高,灰鹅液油酸值总体显著增加($p < 0.05$),各高温处理组灰鹅液油的酸值(KOH)均符合GB 10146—2015规定(≤ 2.5 mg/g)。110℃与130℃处理组间油脂的酸值增加幅度大于130℃与150℃、150℃与170℃、170℃与190℃处理组间的增加幅度,可能归因于大量游离脂肪酸于130℃生成,当温度大于130℃时,随温度的升高只有少量游离脂肪酸生成,因此150℃与170℃的酸值无显著差异。经190℃高温处理油脂酸值显著增加,可能归因于灰鹅液油中饱和脂肪酸非氧化热分解生成脂肪酸类物质^[14],这与郑良清等^[15]研究高温条件下植物油酸值变化所得到的结果一致。

2.3 高温对灰鹅液油丙二醛含量的影响(见图3)

丙二醛是常用于反映脂质过氧化程度的指标。由图3可见,随温度的升高,灰鹅液油丙二醛含量显著升高($p < 0.05$),110、130、150、170、190℃下丙二

醛含量分别为0.84、2.59、3.24、3.84、4.79 mg/kg,说明高温可以促进丙二醛的形成。当温度低于130℃时,高温处理组灰鹅液油的丙二醛含量符合GB 10146—2015规定(≤ 2.5 mg/kg)。综合过氧化值、酸值指标,130℃为灰鹅液油进入快速氧化分解反应的转折温度。

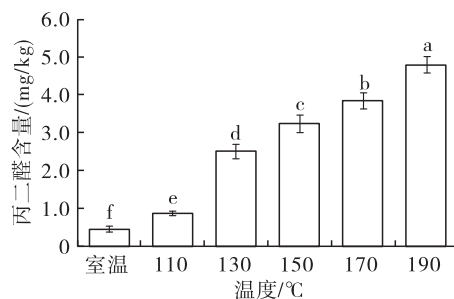


图3 高温对灰鹅液油丙二醛含量的影响

2.4 高温对灰鹅液油脂肪酸组成及相对含量的影响(见表1)

表1 高温对灰鹅液油脂肪酸组成及相对含量的影响

温度/°C	相对含量/%					
	肉豆蔻酸	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸
室温	0.33	19.79	6.87	57.14	14.73	1.14
110	0.35	21.94	8.81	54.68	13.16	0.93
130	0.37	24.43	12.34	51.67	10.26	0.54
150	0.39	25.79	15.74	50.69	6.54	0.28
170	0.40	26.65	19.31	49.65	3.22	0.09
190	0.40	27.10	20.81	48.45	2.49	0.00

由表1可见,灰鹅液油主要脂肪酸为肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸。随着温度的升高,油酸、亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸的相对含量呈梯度下降,与对照相比,在190℃时油酸下降15.21%,亚油酸下降83.10%,亚麻酸下降100%。不饱和脂肪酸在高温条件下的减少,一方面是由于发生热分解反应等^[16],另一方面是由于发生了氧化反应损失,这也导致饱和脂肪酸的相对含量增加。

2.5 电子鼻主成分分析(PCA)

电子鼻主成分分析结果如图4所示,电子鼻载荷分析结果如图5所示。

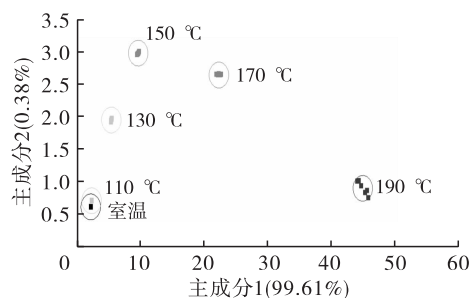


图4 不同温度下灰鹅液油电子鼻PCA图

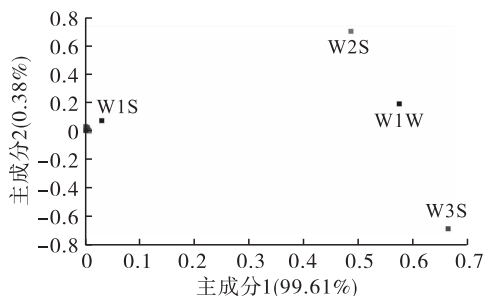


图5 不同温度下灰鹅液油电子鼻载荷图

由图4可见,不同组别灰鹅液油的挥发性成分在第1主成分的贡献率为99.61%,在第2主成分的贡献率为0.38%,第1主成分和第2主成分的累积贡献率达99.99%,表明主成分1、2能很好地代

表灰鹅液油样品风味成分的大部分特征。通过比较6组数据可发现:110℃样品与室温有重合部分,说明110℃加热对灰鹅液油的风味影响不大;110、130、150、170℃和190℃样品在第1主成分上呈现增加趋势,说明各种风味物质在此温度段形成风味差异。

由图5可见,传感器W1S(甲基类)、W2S(醇、醛、酮类)、W1W(硫化物、萜烯类)、W3S(长链烷烃类)对主成分贡献率较大,其中W2S(醇、醛、酮类)距离横、纵坐标均较远,说明W2S对主成分贡献最大。

2.6 高温对灰鹅液油挥发性物质组成及相对含量的影响(见表2)

表2 高温对灰鹅液油挥发性物质组成及相对含量的影响

化合物	相对含量/%						化合物	相对含量/%					
	室温	110℃	130℃	150℃	170℃	190℃		室温	110℃	130℃	150℃	170℃	190℃
醇类							2-甲基-丁烯醛						
正辛醇	-	-	1.21	1.52	5.15	3.73	-	-	0.38	-	-	-	
1-戊醇	-	-	3.06	2.54	2.52	2.46	环己烷甲醛	-	-	0.04	-	-	
正壬醇	-	-	-	0.25	0.69	-	总量	25.26	43.67	71.51	76.03	63.72	47.77
叔丁醇	-	0.14	-	-	-	-	酸类						
丙三醇	31.16	48.04	6.90	6.85	10.26	1.52	乙酸	-	0.37	-	-	-	-
1-辛烯-3-醇	-	-	10.05	5.69	4.31	2.12	壬酸	-	-	0.14	-	0.36	0.72
总量	31.16	48.18	21.22	16.85	22.93	9.83	辛酸	-	-	-	-	0.18	-
醛类							草酸	-	-	-	0.03	-	-
戊醛	-	1.08	7.68	4.29	3.72	2.48	十一烷酸	-	-	-	0.36	-	-
己醛	8.29	21.24	15.02	10.96	9.64	7.71	3-癸烯酸	-	-	-	-	-	0.06
庚醛	2.16	4.67	4.16	3.46	4.32	3.68	丁烯酸	-	-	-	-	0.43	-
壬醛	11.80	7.33	10.98	15.33	-	-	十八碳二烯酸	-	-	-	-	-	0.05
癸醛	1.03	-	-	-	-	1.47	总量	-	0.37	0.14	0.39	0.97	0.83
十六醛	-	-	-	-	0.03	-	酯类						
丁烯醛	-	-	3.42	2.61	2.12	1.87	亚硫酸辛酯	-	-	0.53	-	-	-
2-辛烯醛	-	1.23	-	5.08	7.47	5.65	亚硫酸己基壬酯	-	-	-	0.09	-	-
2-癸烯醛	0.20	-	-	2.79	-	-	2-氯乙酸壬酯	-	-	-	-	-	0.79
戊烯醛	-	-	0.27	0.28	-	-	丙位辛内酯	-	-	-	0.04	0.42	0.48
2-庚烯醛	1.57	7.66	26.63	22.05	19.48	16.85	丙位庚内酯	-	-	-	-	-	0.49
2-壬烯醛	-	-	0.86	1.30	3.53	3.75	总量	-	-	0.53	0.13	0.42	1.76
2,4-癸二烯醛	0.21	-	1.09	3.19	9.24	-	烷烃类						
2,4-庚二烯醛	-	-	-	2.75	4.10	3.38	正辛烷	2.13	2.89	1.41	2.16	3.00	3.60
2-十一烯醛	-	-	0.72	-	-	-	正十五烷	0.13	-	0.03	0.02	0.06	0.10
2-十二烯醛	-	-	-	1.13	-	0.05	正十八烷	-	-	0.07	0.10	-	-
1,4-十一二烯醛	-	-	-	-	-	0.20	十四烷	0.31	-	0.05	-	0.19	0.16
2,4-十一二烯醛	-	-	-	-	0.07	0.09	十一烷	-	-	0.10	0.34	0.52	0.63
3-甲基-硫丙醛	-	0.46	-	-	-	-	十三烷	0.31	-	0.11	-	0.19	0.26
3-甲基-2-丁烯醛	-	-	0.05	-	-	-	十六烷	0.06	-	0.24	-	0.10	0.03
2-甲基-丙烯醛	-	-	0.06	0.35	-	0.12	十七烷	-	-	-	-	0.01	0.01
乙基-丙烯醛	-	-	0.15	0.46	-	0.47	十二烷	0.30	0.25	0.27	0.34	0.40	0.57
							十九烷	-	-	0.04	0.35	-	-

续表 2

化合物	相对含量/%						化合物	相对含量/%					
	室温	110℃	130℃	150℃	170℃	190℃		室温	110℃	130℃	150℃	170℃	190℃
二十烷	0.20	-	-	0.02	-	-	环戊酮	-	-	-	0.18	0.39	0.47
三十一烷	-	-	-	-	0.04	-	乙基环戊烯酮	-	-	-	0.58	1.05	0.70
甲基二十二烷	0.15	-	-	-	-	-	环丁基乙烯酮	-	-	-	-	0.04	-
环庚烷	-	-	0.15	-	0.27	1.79	4,4,5-三甲 基环己烯酮	-	-	-	-	0.05	0.06
环戊烷	-	-	-	0.03	0.26	0.09	3-乙基环 戊酮	-	-	0.15	-	-	0.47
环十五烷	-	-	-	-	0.02	-	3-壬烯-2-酮	-	-	-	0.44	-	0.75
二甲基癸烷	-	-	0.34	1.19	-	-	3-甲基戊酮	-	-	-	-	-	0.58
3-甲基环丙烷	-	-	0.15	-	-	-	3,5-二烯酮	-	-	-	-	-	0.07
总量	3.59	3.14	2.96	4.55	5.06	7.24	2-十五烷酮	-	-	-	-	0.02	-
呋喃类							2-十二烷酮	-	-	-	-	-	0.06
2-戊基呋喃	-	-	0.16	0.14	0.11	0.18	2-庚酮	-	-	-	0.22	0.28	0.34
总量	-	-	0.16	0.14	0.11	0.18	总量	-	-	0.15	1.42	1.88	3.50
酮类													
异庚酮	-	-	-	-	0.05	-							

注：-表示未检出

由表2可知,不同温度处理条件下灰鹅液油中的挥发性化合物有74种,主要为醇类、醛类、酸类、酯类、酮类、烷烃类及呋喃类物质。随着温度的升高,挥发性物质种类增加,110~190℃处理的样品中分别有12、35、38、40、44种挥发性物质,总含量先升高后降低,其中150℃时的挥发物含量最高。

110℃处理的样品中醇类物质含量比室温样品增加了17.02个百分点,其中丙三醇含量增加了16.88个百分点,醛类物质含量增加了18.41个百分点,其中己醛含量增加了12.95个百分点,这可能由于110℃条件下灰鹅液油发生甘三酯分解,生成丙三醇和脂肪酸,部分丙三醇进一步反应生成醛类物质,不饱和脂肪酸氧化成饱和脂肪酸过程中生成的氢过氧化物在加热条件下更多地分解生成己醛^[17]。另外,酸类物质含量比室温下增加了0.37个百分点。结合电子鼻的数据分析可知,110℃处理的样品与对照样品风味差异不显著,说明丙三醇、己醛及酸类物质含量的变化对风味的贡献不大。

130℃处理的样品中醇类物质含量较110℃样品减少26.96个百分点,其中丙三醇含量仅为6.90%,新生成1.21%的正辛醇、3.06%的1-戊醇和10.05%的1-辛烯-3-醇。1-戊醇主要来源于亚油酸的分解,具有酒香^[18];1-辛烯-3-醇主要来源于不饱和脂肪酸的氧化分解,具有独特的蘑菇香味^[19]。醛类物质含量较110℃样品增加27.84个百分点,酯类物质含量增加0.53个百分点,酮类物质含量增加0.15个百分点,酸类物质含量减少0.23个百分点,说明在130℃条件下醇类物质可进一步氧化

生成醛类、酮类等物质。其中新生成1.09%的2,4-癸二烯醛,2,4-癸二烯醛主要是亚油酸氧化产物,是烤肉挥发性风味的关键成分^[20];具有脂肪香味的壬醛含量增加3.65个百分点。

150℃处理的样品中醇类物质含量进一步减少,1-戊醇、丙三醇、1-辛烯-3-醇含量较130℃样品分别减少0.52、0.05、4.36个百分点;醛类、酸类、酮类物质含量分别增加4.52、0.25、1.27个百分点,酯类物质含量减少0.40个百分点。其中壬醛含量较130℃样品增加4.35个百分点,2,4-癸二烯醛含量增加2.10个百分点,新生成2.79%的2-癸烯醛,2-癸烯醛具有独特的香气^[21]。

与150℃样品相比,170℃处理的样品中醇类物质相对含量增加至22.93%,具有强烈的油脂气味和柑橘气息的正辛醇含量增加3.63个百分点,丙三醇含量增加3.41个百分点,而1-辛烯-3-醇含量减少1.38个百分点;醛类物质含量减少12.31个百分点;酸类物质含量增加0.58个百分点;酯类物质含量增加0.29个百分点;呋喃类物质含量减少0.03个百分点;酮类物质含量增加0.46个百分点。

190℃处理的样品醇类物质含量较170℃减少13.10个百分点,醛类物质含量减少15.95个百分点,酸类物质含量减少0.14个百分点,酯类物质含量增加1.34个百分点,呋喃类物质含量增加0.07个百分点,酮类物质含量增加1.62个百分点。

多数醛类如辛醛、壬醛的阈值较低,对风味具有重要影响。检出的7类挥发性物质中,醛类物质含量最高,且130℃和150℃处理的灰鹅液油醛类物

质含量最高。烷烃类物质虽然在高温条件下其含量总体呈增加趋势,但由于其阈值较高,因而对风味的影响较小。呋喃类物质属于杂环类化合物,阈值较低,具有独特香味,对于风味的形成有重要作用^[22], 130、150、170、190℃下均检出2-戊基呋喃,2-戊基呋喃具有果香味,对风味发挥重要作用^[23]。呋喃物质的形成可能是由维生素的热分解产生^[24]。

3 结论

高温处理会促使灰鹅液油发生氧化、分解、聚合等反应。与室温对照样品相比,随着加热温度的升高,灰鹅液油中过氧化值、酸值、丙二醛含量增加,且在130℃时过氧化值和丙二醛含量均超过国标限值;灰鹅液油不饱和脂肪酸在加热过程中进一步分解。通过电子鼻分析发现,110℃样品风味与对照样品差异不大;110~190℃下加热10h灰鹅液油共分离鉴定出74种挥发性物质,主要包括醛类、醇类、烷烃类、酸类、酮类、酯类、呋喃类物质。综合油脂健康安全性及风味品质,建议灰鹅液油在不高于130℃条件下使用。

鹅油脂在高温加热过程中,会产生极性化合物和聚合物,对灰鹅液油带来食用安全问题。后期将进一步研究灰鹅液油在高温条件下这些指标的变化,同时进行加工和贮藏的安全风险评价,以期更好地开展鹅油脂的应用与相关产品开发。

参考文献:

- [1] 王梦如,李昌模. 鸡脂肪热氧化与风味的关系[J]. 中国油脂, 2006, 31(10): 64-66.
- [2] 史亚静,葛柳凤. 不同制作工艺对猪油理化与风味品质的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(4): 40-45.
- [3] 肖作兵,吴旻玲,牛云蔚. 温控氧化鸡脂对脂肪酸组成及鸡肉香基风味的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(9): 144-150.
- [4] HAN D, ZHANG C H, FAUCONNIER M L, et al. Characterization and differentiation of boiled pork from Tibetan, Sanmenxia and Duroc × (Landrac × Yorkshire) pigs by volatiles profiling and chemometrics analysis [J/OL]. Food Res Int, 2019, 130:108910[2022-02-13]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108910>.
- [5] 耿予欢,苏向荣,李国基. 鹅油热氧化与美拉德反应制备鹅肉香精[J]. 中国食品学报, 2019, 19(2): 164-172.
- [6] GASIOR R, WOJTYCZA K, MAJCHER M A, et al. Key aroma compounds in roasted white koluda goose [J]. J Agric Food Chem, 2021, 69(21): 5986-5996.
- [7] 张佰帅,王宝维,葛文华,等. 不同剂量鹅油对小鼠血脂代谢及抗氧化能力的影响[J]. 中国油脂, 2012, 37(3): 31-35.
- [8] 刘金凯,高远,王振宇,等. 氧化羊骨油对羊肉味调味基料挥发性风味物质的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(4): 749-758.
- [9] 耿宇凤. 半连续加热过程中大豆油挥发性化合物形成机制[D]. 辽宁大连:大连工业大学, 2018.
- [10] 周华龙,张新申,蒋小萍,等. 不饱和油脂氧化机理的研究与技术开发(I)氧化机理研究中的几个重要问题[J]. 中国皮革, 2003(11): 27-31.
- [11] GERDE J A, HAMMOND E G, WHITE P J. Influence of polydimethylsiloxane on the oxygen concentration of oils at various temperatures[J]. J Am Oil Chem Soc, 2011, 88(7): 925-929.
- [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] VERARDO V, FERIOLI F, RICIPUTI Y, et al. Evaluation of lipid oxidation in spaghetti pasta enriched with long chain n-3 polyunsaturated fatty acids under different storage conditions [J]. Food Chem, 2009, 114(2): 472-477.
- [14] DOBSON G, CHRISTIE W W, SEBEDIO J L. Saturated bicyclic fatty acids formed in heated sunflower oils [J]. Chem Phys Lipids, 1997, 87(2): 137-147.
- [15] 郑良清,罗诗棋,张荣,等. 长时间高温加热对食用植物油酸价的影响[J]. 广东化工, 2016, 43(15): 31-32.
- [16] 李玉山. 三类油脂的自动氧化机理及产物[J]. 河南科学, 2012, 30(12): 1722-1726.
- [17] 柯海瑞,康怀彬,程伟伟,等. 高温处理对牛肉脂肪酸及脂肪氧化的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 63-69.
- [18] 钱敏,赵文红,周冠峰,等. 全二维气相色谱-飞行时间质谱解析红烧乳鸽的挥发性组分[J]. 现代食品科技, 2020, 36(5): 243-251.
- [19] 罗玉龙,赵丽华,王柏辉,等. 苏尼特羊不同部位肌肉挥发性风味成分和脂肪酸分析[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 165-169.
- [20] BUENO M, CAMPO M M, CACHO J, et al. A model explaining and predicting lamb flavour from the aroma-active chemical compounds released upon grilling light lamb loins [J]. Meat Sci, 2014, 98(4): 622-628.
- [21] LI X, ZHU J, QI J, et al. Superchilled storage (-2.5 +/- 1℃) extends the retention of taste-active and volatile compounds of yellow-feather chicken soup [J]. Anim Sci J, 2018, 89(6): 906-918.
- [22] BAEK H H, KIM C J, AHN B H, et al. Aroma extract dilution analysis of a beeflike process flavor from extruded enzyme-hydrolyzed soybean protein [J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(2): 790-793.
- [23] TIMÓN M L, CARRAPISO A I, JURADO Á, et al. A study of the aroma of fried bacon and fried pork loin [J]. J Sci Food Agric, 2004, 84(8): 825-831.
- [24] 李春美,何慧. 食品化学[M]. 北京:化学工业出版社, 2021.