

doi:10.12301/spxb202100229

文章编号:2095-6002(2022)04-0096-11

引用格式:甄大卫,徐玉霞,张晨萍,等.调控氧化猪脂的香气成分分析[J].食品科学技术学报,2022,40(4):96-106.



ZHEN Dawei, XU Yuxia, ZHANG Chenping, et al. Analysis of aroma compounds in lard oxidized in control[J]. Journal of Food Science and Technology, 2022,40(4):96-106.

调控氧化猪脂的香气成分分析

甄大卫¹, 徐玉霞¹, 张晨萍^{1,2}, 张玲¹, 谢建春^{1,*}, 孙宝国¹

(1.北京工商大学轻工科学技术学院,北京 100048;2.忻州师范学院,山西忻州 034000)

摘要:采用通空气加热方法将猪脂调控氧化,随氧化时间的延长(1、3、4 h)获得3个感官气味有代表性的样品(过氧化值分别为45.5、158.0、271.5 mmol/kg)。由于香气分子一般有强亲脂性,难以用溶剂萃取法从脂肪中分离,利用溶剂辅助蒸发装置的高真空蒸馏及液氮冷凝优势,在50℃下将调控氧化猪脂中的挥发性组分直接蒸发分离出。该法具有操作简单、处理条件温和、不使用有机溶剂的优点。蒸发分离的组分用GC-MS和稀释法/气相色谱-嗅闻(AEDA/GC-O)分析香气物质构成。结果表明,GC-MS分析共鉴定出91个化合物,醛类含量最高,其次是酸类。其中氧化程度处于适中的样品(过氧化值158.0 mmol/kg)有油脂香特征,GC-MS鉴定出的化合物数量最多且含量高;而氧化程度低(45.5 mmol/kg)的样品有青草香,氧化程度高的(271.5 mmol/kg)样品有刺激性气味,这两个样品鉴定出的化合物数量及含量均较少。3个样品中含量较高的前5个化合物均是己醛、(E)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇和己酸。AEDA/GC-O分析共鉴定出39个香气化合物,以醛类为主,仍为氧化程度处于适中的样品中鉴定出的香气化合物数量最多。1-辛烯-3-醇、己醛、(E)-2-辛烯醛、(E)-2-壬烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、戊醛在3个样品中稀释因子均较高,为猪脂调控氧化不同程度均具有的重要香气成分。希望研究结果可为了解脂肪调控氧化机制及完善“脂肪调控氧化-热反应”制备肉味香精工艺提供参考。

关键词:猪脂肪;调控氧化;高真空蒸馏;香气化合物;过氧化值;肉味香精**中图分类号:** TS202.3**文献标志码:** A

脂肪受热氧化可产生人们喜爱的风味^[1],脂肪氧化对不同种动物肉特征风味的形成有贡献^[2-3]。脂肪调控氧化,指在控制通空气量及加热温度的条件下将脂肪氧化到某个程度。调控氧化脂肪与蛋白酶解物、氨基酸、还原糖进行热反应,即“脂肪调控氧化-热反应”两步法,制备的肉味香精具有肉香浓郁、动物肉的特征香味突出的优点^[4-5]。脂肪氧化遵循自由基反应历程,氧化过程极其复杂,氧化时可产生烃类、醛类、酮类、酸类、酯类、呋喃类等挥发性化合物^[1]。脂肪氧化产生的羰基化合物易于参与

美拉德反应,形成带烷基链的杂环化合物,如在“半胱氨酸-还原糖”美拉德反应体系中,(E,E)-2,4-癸二烯醛可分别与氨、硫化氢反应,生成2-戊基吡嗪、2-戊基噻吩^[5-6]。脂肪醛还可与美拉德反应中产生的二氢吡嗪反应,生成带烷基链的吡嗪^[7]。

由于挥发性风味物质(香气物质)的强亲脂性,脂肪中的挥发性风味物质较难分离。研究者们曾采用吹扫-冷阱捕集^[8-11]、超临界CO₂萃取^[12-13]、同时蒸馏萃取^[14]、顶空固相微萃取^[14-15]等方法结合气-质联机(gas chromatography and mass spectrometry)

收稿日期:2021-03-09

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0400106)。

第一作者:甄大卫,男,硕士研究生,研究方向为应用化学。

*通信作者:谢建春,女,教授,博士,主要从事食品风味化学和香料香精领域的研究。

try, GC-MS)分析脂肪氧化产生的香气物质。吹扫-冷阱捕集法收集挥发性组分损失大,超临界CO₂萃取法需专用设备,同时蒸馏萃取法热敏感性成分可能被破坏。顶空固相微萃取法,操作简单,但萃取量小,对痕量组分检测灵敏度不理想^[15]。在食品风味分析中,GC-MS给出的为挥发性化合物信息,要获知哪些成分对总体香气有贡献,还须采用气相色谱-嗅闻法(gas chromatography-olfactometry, GC-O)对样品中的香气活性成分进行分析^[16-17]。GC-O分析时常采用芳香提取物稀释分析(aroma extract dilution analysis, AEDA)法检测,化合物的稀释因子(flavor dilution, FD)越大,表示该化合物对总体香气的贡献越大。

有关脂肪调控氧化工艺研究人们已进行了较多报道,脂肪调控氧化产物往往采用过氧化值、酸值指标进行表征^[4-5],但脂肪调控氧化到不同程度(即氧化指标不同时)所具有的香气物质构成及差异尚不清楚。本研究随氧化时间延长获得3个具有不同氧化程度且感官气味具有代表性的调控氧化猪脂样品,然后利用溶剂辅助蒸发(solvent assistant flavor evaporation, SAFE)装置具有的高真空蒸馏并液氮冷凝优势,直接蒸馏收集挥发性组分,再采用GC-MS和AEDA/GC-O法分析香气物质构成。我国是猪肉生产及消费大国,猪肉风味深受大众喜爱。研究结果对于进一步了解脂肪调控氧化机制及完善“脂肪调控氧化-热反应”两步法制备猪肉味香精的工艺具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

精炼猪脂,安徽牧羊油脂有限公司。

冰醋酸(分析纯)、乙醇(质量分数为95%)、乙醚(分析纯)、三氯甲烷(分析纯)、碘化钾(分析纯)、硫代硫酸钠(分析纯)、可溶性淀粉(化学纯)、酚酞(化学纯)、氢氧化钾(化学纯),国药集团化学试剂公司;邻二氯苯(分析纯),北京化学试剂公司;二氯甲烷(色谱纯)、C₅~C₃₀正构烷烃(色谱纯)、甲醇(色谱纯),迪马科技有限公司;乙醛(质量分数为95%,以下标准品括号内均为质量分数)、丙醛(95%)、丁醛(95%)、丁醇(95%)、1-戊烯-3-醇(95%)、戊醛(98%)、戊醇(95%)、己醛(95%)、(E)-2-己烯醛(95%)、2-庚酮(95%)、庚醛(95%)、

2-庚醇(95%)、(E)-2-庚烯醛(95%)、1-辛烯-3-醇(95%)、2-辛酮(95%)、2-戊基呋喃(95%)、辛醛(98%)、(E,E)-2,4-庚二烯醛(95%)、(E)-3-辛烯-2-酮(95%)、(E)-2-辛烯醛(95%)、辛醇(95%)、2-壬酮(95%)、壬醛(95%)、(E,Z)-2,6-壬二烯醛(95%)、(E)-2-壬烯醛(98%)、壬醇(95%)、(E,E)-2,4-壬二烯醛(95%)、(E)-2-癸烯醛(95%)、(E,E)-2,4-癸二烯醛(95%)、(E)-2-十一烯醛(95%)、(E)-2-十二烯醛(95%)、2-十三酮(95%)、(E)-3-壬烯-2-酮(95%),百灵威科技有限公司。

1.2 仪器与设备

溶剂辅助蒸发装置,莘县玻璃仪器有限公司定制;XDS5型复合分子涡轮泵,英国Edwards公司;DF2101S型集热式恒温加热磁力搅拌器,河南省予华仪器有限公司;D-8403型电动搅拌器,天津市华兴科学仪器厂;7890A-5975C型气相色谱-质谱联用仪(配有电子轰击离子源)、7890A型气相色谱(配有FID检测器),美国Agilent公司;DATU2000型嗅闻仪,美国DATU Inc公司。

1.3 实验方法

1.3.1 猪脂的氧化

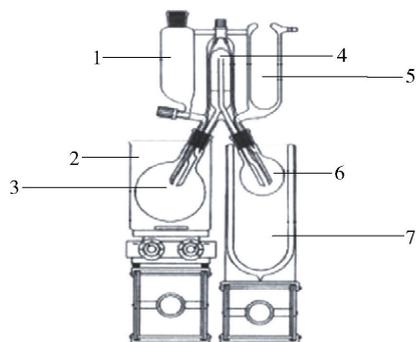
在装有电动搅拌器、温度计和回流冷凝管的2000 mL五口烧瓶中加入500 g精炼猪脂,加热使其熔化,当温度上升到130℃,开始通空气搅拌,并计时,空气流速1.2 L/min,转速为450~500 r/min,在氧化时间为1、3、4 h取样,参照文献[4]测过氧化值和酸值。

1.3.2 挥发性组分分离

溶剂辅助蒸发装置见图1。超级恒温水浴为50℃,液氮冷凝,系统压力为 5×10^{-4} Pa。将1.3.1节所得氧化猪脂全部蒸馏处理,蒸馏完毕,将收集液冷冻离心10 min(4℃,12000 r/min),取上层油状液体加无水硫酸钠干燥,将液体小心倾倒入并用0.45 μm膜过滤。量取液体样品体积,然后待GC-MS及GC-O分析。

1.3.3 气相色谱-质谱分析

1.3.2节所得样品加入内标邻二氯苯,内标在样品中的质量浓度为60 μg/mL(溶于二氯甲烷后添加),GC-MS分析的色谱柱为DB-WAX(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm),升温程序:起始40℃,以2.5℃/min升至180℃,再以10℃/min升至230℃,230℃运行2 min。载气为He,流速1 mL/min。进样品温度为250℃,分流比为30:1,进样量为0.2 μL。



1. 滴液漏斗;2. 超级恒温水槽;3. 蒸馏瓶;4. 蒸馏头;5. 冷阱;6. 收集烧瓶;7. 保温瓶。

图1 SAFE装置示意图

Fig. 1 Schematic of solvent assistant flavor evaporation apparatus

电子轰击离子源,电子能量 70 eV;辅助加热线温度 230 ℃;离子源温度 230 ℃,四级杆温度 150 ℃,全扫描模式,质量扫描范围 m/z 40 ~ 450。

1.3.4 气相色谱-嗅闻分析

色谱柱为 HP-5 毛细管柱 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);升温程序:起始温度 40 ℃,以 5 ℃/min 升到 280 ℃,保持 3 min;进样口温度 250 ℃,载气 N₂,流速 1 mL/min,进样 0.2 μL。

3 名评价员 (2 男、1 女),平均年龄 23 岁,事先

采用香料标准品进行培训。对 1.3.2 节所得样品用溶剂二氯甲烷按照 2 的倍数逐级稀释,并进行 GC-O 分析,直到嗅闻不到气味时停止,每种化合物的最高稀释倍数记为其稀释因子 (flavor dilution, FD)。

1.4 数据处理

气-质联机分析采用检索 NIST 2010 质谱库、保留指数及标品鉴定化合物,化合物含量按照式 (1) 计算,取两个平行样品的均值。嗅闻分析基于 GC-MS 分析结果、保留指数、嗅闻的气味及标准品鉴定化合物,将 3 名评价员均嗅闻到的化合物作为结果,稀释因子为 3 名评价员的均值。

$$W_i = \left(\frac{A_i}{A_s} \times C_s \times V \right) / m \quad (1)$$

式 (1) 中, W_i 为化合物的质量比, ng/g 脂肪; A_i 为化合物的峰面积; A_s 为内标的峰面积; C_s 为内标的质量浓度, μg/mL; V 为所得蒸馏液体积, mL; m 为氧化脂肪的质量, g。

2 结果与分析

2.1 3 个不同氧化程度猪脂样品信息

随反应时间延长,获得的 3 个具有不同氧化程度且感官气味有代表性样品的信息,见表 1。

表 1 3 个不同氧化程度猪脂样品的氧化指标和气味特征

Tab. 1 Oxidization degrees and odor characteristics of three oxidized lard samples with different oxidization degrees

样品	取样时间/h	过氧化值/(mmol·kg ⁻¹)	酸值/(mg KOH·kg ⁻¹)	气味特征
1 号	1	45.5	无	油脂香,稍青草香
2 号	3	158.0	2.45	浓油脂香
3 号	4	271.5	3.10	油脂香,有刺激味

在脂肪调控氧化过程中,随氧化时间的延长及氧化程度的升高,氧化脂肪的主要气味变化为“带青草香-浓油脂香-有刺激气味”。在氧化时间 1、3、4 h 取出表示上述气味特征变化的 3 个代表性样品,标为 1 号、2 号、3 号,样品的氧化程度用过氧化值、酸值表示。由表 1 可知,1 号样品稍带青草香,而随着氧化时间延长,氧化程度的升高,2 号样品则为浓油脂香,3 号样品则有刺激性气味。

2.2 3 个不同氧化程度猪脂样品挥发性成分 GC-MS 分析结果

3 个氧化猪脂样品的挥发性成分 GC-MS 分析结果,见表 2。3 个样品中共鉴定出 91 个化合物,包括醛类 20 个,酮类 9 个,醇类 12 个,酸类 17 个,呋喃类 4 个,酯类 11 个,烷烃类 18 个。3 个样品均是

醛类个数最多且含量最高,分别为 19、19、20 个,质量分数占 46.23%、54.24%、67.11%;其次是酸类,分别占 24.32%、13.10%、12.61%。3 个样品中含量高的前 5 个化合物均是己醛、(E)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇和己酸。史亚静等^[18]采用吹扫捕集-GC-MS 研究猪油风味物质,检测到较高含量的己醛、(E)-2-辛烯醛。徐永霞等^[19]采用 SPME-GC-MS 在氧化猪脂肪中检测较高含量的 (E)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇和己酸。比较 3 个样品,1 号样品中鉴定出 84 个挥发性化合物;2 号样品中鉴定出挥发性化合物个数最多,为 87 个;3 号样品中鉴定出挥发性化合物个数最少,为 76 个。比较单个挥发性化合物的质量比以及所有挥发性化合物的质量比和,也是随氧化程度升高,为先升

表2 3个不同氧化程度猪脂样品的SAFE-GC-MS分析结果
 Tab.2 SAFE-GC-MS analysis results of three oxidized lard samples
 with different oxidization degrees

化合物	实验保留 指数	$w/(ng \cdot g^{-1})$			鉴定方式*
		1号样品	2号样品	3号样品	
醛类(20种)					
丙醛	780	0.10 ± 0.03c	0.85 ± 0.09a	0.44 ± 0.10b	MS, RI, S
2-丙烯醛	832	-	-	0.25 ± 0.09	MS, RI
丁醛	866	0.78 ± 0.07c	3.42 ± 0.13a	1.22 ± 0.35b	MS, RI, S
戊醛	976	5.26 ± 0.25b	15.45 ± 0.92a	5.90 ± 1.44b	MS, RI, S
2-丁烯醛	1034	0.17 ± 0.04c	1.16 ± 0.08a	0.51 ± 0.13b	MS, RI
己醛	1081	15.50 ± 2.40c	47.60 ± 1.84a	35.15 ± 2.76b	MS, RI, S
(E)-2-戊烯醛	1123	0.67 ± 0.08c	5.25 ± 0.64a	1.75 ± 0.08b	MS, RI
庚醛	1180	3.78 ± 0.10c	9.76 ± 1.20a	6.65 ± 0.95b	MS, RI, S
(E)-2-己烯醛	1211	2.24 ± 0.11c	16.30 ± 1.27a	4.07 ± 0.08b	MS, RI, S
辛醛	1285	2.46 ± 0.49c	8.33 ± 0.17a	3.26 ± 0.14b	MS, RI, S
(E)-2-庚烯醛	1320	12.05 ± 0.64c	62.25 ± 2.19a	32.95 ± 1.77b	MS, RI, S
壬醛	1389	2.60 ± 0.18c	8.07 ± 0.49a	6.04 ± 0.37b	MS, RI, S
(E)-2-辛烯醛	1421	11.61 ± 0.42b	36.55 ± 1.77a	6.81 ± 0.41c	MS, RI, S
(E,E)-2,4-庚二烯醛	1482	0.96 ± 0.06c	20.30 ± 2.55a	2.33 ± 0.44b	MS, RI, S
(E)-2-壬烯醛	1526	2.20 ± 0.04b	9.26 ± 1.27a	2.14 ± 0.25b	MS, RI, S
(E,E)-2,4-辛二烯醛	1575	0.20 ± 0.01b	0.65 ± 0.18a	0.15 ± 0.06b	MS, RI
(E)-2-癸烯醛	1633	3.18 ± 0.13b	12.96 ± 0.62a	2.94 ± 0.54b	MS, RI, S
(E,E)-2,4-壬二烯醛	1685	0.16 ± 0.06b	0.73 ± 0.30a	0.13 ± 0.05b	MS, RI, S
(E)-2-十一烯醛	1739	1.34 ± 0.28b	5.62 ± 0.56a	1.40 ± 0.20b	MS, RI, S
(E,E)-2,4-癸二烯醛	1793	0.68 ± 0.05c	4.55 ± 0.40a	1.47 ± 0.08b	MS, RI, S
小计		65.94	269.06	115.56	
酮类(9种)					
3-庚酮	1149	0.08 ± 0.03b	0.44 ± 0.05a	-	MS, RI
2-庚酮	1179	2.30 ± 0.22b	9.11 ± 0.63a	1.25 ± 0.09c	MS, RI, S
2-乙基环戊酮	1276	0.17 ± 0.04a	0.33 ± 0.08a	-	MS, RI
1-辛烯-3-酮	1294	0.56 ± 0.07b	3.81 ± 0.41a	0.52 ± 0.20b	MS, RI
2-辛酮	1279	0.98 ± 0.29b	3.06 ± 0.22a	0.57 ± 0.08b	MS, RI, S
(E)-3-辛烯-2-酮	1398	0.87 ± 0.06c	3.97 ± 0.10a	1.41 ± 0.28b	MS, RI, S
2-壬酮	1383	0.67 ± 0.13b	1.18 ± 0.05a	0.07 ± 0.03c	MS, RI, S
(E)-3-壬烯-2-酮	1500	0.80 ± 0.08b	3.67 ± 0.57a	0.27 ± 0.14c	MS, RI, S
2-十一酮	1592	0.02 ± 0.01b	0.16 ± 0.06a	-	MS, RI
小计		6.45	25.73	4.09	
醇类(12种)					
乙醇	945	-	-	0.52 ± 0.13	MS, RI
丁醇	1146	0.52 ± 0.08b	2.12 ± 0.28a	0.70 ± 0.08b	MS, RI, S
1-戊烯-3-醇	1160	0.51 ± 0.05c	5.21 ± 0.98a	1.97 ± 0.30b	MS, RI, S
3-戊醇	1108	0.15 ± 0.06c	1.52 ± 0.08a	0.50 ± 0.12b	MS, RI
2-己醇	1223	0.05 ± 0.04b	0.46 ± 0.19a	0.03 ± 0.02b	MS

续表2

化合物	实验保留 指数	$w/(ng \cdot g^{-1})$			鉴定方式*
		1号样品	2号样品	3号样品	
3-庚醇	1 296	0.23 ± 0.06	—	—	MS, RI
2-甲基环戊醇	1 340	0.12 ± 0.03b	1.48 ± 0.40a	0.07 ± 0.02c	MS
1-庚烯-3-醇	1 353	0.37 ± 0.04b	0.90 ± 0.08a	0.11 ± 0.03c	MS, RI
庚醇	1 460	3.04 ± 0.21b	9.65 ± 0.80a	1.45 ± 0.09c	MS, RI
1-辛烯-3-醇	1 456	5.95 ± 0.23c	25.66 ± 1.90a	9.63 ± 1.23b	MS, RI, S
辛醇	1 559	1.64 ± 0.88b	7.70 ± 0.61a	1.18 ± 0.16b	MS, RI, S
(E)-2-辛烯-1-醇	1 611	0.17 ± 0.04b	1.12 ± 0.15a	0.13 ± 0.06b	MS, RI
小计		12.75	55.82	16.29	
酸类(17种)					
乙酸	1 441	1.87 ± 0.08b	10.80 ± 0.57a	1.35 ± 0.17c	MS, RI
甲酸	1 485	3.25 ± 0.64b	5.27 ± 0.37a	3.90 ± 0.21b	MS, RI
丙酸	1 529	0.82 ± 0.06b	1.56 ± 0.31a	0.74 ± 0.10b	MS, RI
丁酸	1 618	0.83 ± 0.07b	2.29 ± 0.39a	0.40 ± 0.13c	MS, RI
2-丙烯酸	1 622	0.10 ± 0.03b	0.66 ± 0.08a	0.13 ± 0.05b	MS, RI
戊酸	1 728	3.19 ± 0.47b	7.55 ± 0.52a	1.36 ± 0.10c	MS, RI
己酸	1 838	14.90 ± 1.70b	25.85 ± 0.92a	8.92 ± 0.57c	MS, RI
2-戊烯酸	1 860	0.46 ± 0.16a	0.14 ± 0.06b	0.12 ± 0.03b	MS
庚酸	1 942	1.58 ± 0.21b	2.19 ± 0.45a	0.89 ± 0.25c	MS, RI
(E)-2-己烯酸	1 954	0.81 ± 0.11b	1.29 ± 0.23a	0.39 ± 0.15c	MS, RI
辛酸	2 050	1.39 ± 0.21a	1.79 ± 0.16a	0.68 ± 0.26b	MS, RI
(E)-2-庚烯酸	2 066	2.25 ± 0.14b	3.52 ± 0.25a	1.51 ± 0.43c	MS, RI
壬酸	2 156	0.93 ± 0.06a	0.73 ± 0.20ab	0.63 ± 0.15b	MS, RI
(E)-2-辛烯酸	2 170	1.46 ± 0.19a	0.49 ± 0.11b	0.24 ± 0.06c	MS, RI
(E)-2-壬烯酸	2 278	0.35 ± 0.11b	0.74 ± 0.14a	0.08 ± 0.02c	MS, RI
(E)-2-癸烯酸	2 388	0.33 ± 0.06a	—	0.26 ± 0.06a	MS, RI
(E)-2-十一烯酸	2 494	0.17 ± 0.04a	0.13 ± 0.05a	0.11 ± 0.02a	MS, RI
小计		34.69	65.00	21.71	
呋喃类(4种)					
2-乙基呋喃	947	—	0.53 ± 0.11	—	MS, RI
2-丙基呋喃	1 026	—	0.31 ± 0.11	—	MS, RI
2-丁基呋喃	1 130	0.04 ± 0.01b	0.44 ± 0.09a	—	MS, RI
2-戊基呋喃	1 227	0.84 ± 0.03b	5.38 ± 0.61a	0.10 ± 0.04c	MS, RI, S
小计		0.88	6.66	0.10	
酯类(11种)					
甲酸丁酯	1 016	0.14 ± 0.09b	1.29 ± 0.22a	—	MS, RI
甲酸戊酯	1 118	2.16 ± 0.28b	9.18 ± 0.85a	0.82 ± 0.16c	MS, RI
乙酸戊酯	1 170	0.04 ± 0.01b	0.50 ± 0.14a	0.02 ± 0.01b	MS, RI
甲酸庚酯	1 220	1.48 ± 0.39a	1.81 ± 0.22a	0.11 ± 0.04b	MS, RI
戊酸戊酯	1 415	0.22 ± 0.03b	1.72 ± 0.09a	—	MS, RI
己酸戊酯	1 508	0.68 ± 0.03b	2.25 ± 0.20a	0.17 ± 0.09c	MS, RI
γ-己内酯	1 677	1.08 ± 0.08b	2.84 ± 0.28a	—	MS, RI

续表 2

化合物	实验保留 指数	$w/(ng \cdot g^{-1})$			鉴定方式*
		1号样品	2号样品	3号样品	
γ -庚内酯	1 778	0.28 ± 0.06b	0.45 ± 0.17a	0.15 ± 0.06b	MS, RI
己酸辛酯	1 805	0.19 ± 0.04a	0.13 ± 0.08a	—	MS, RI
γ -辛内酯	1 891	0.27 ± 0.04a	0.04 ± 0.01b	0.04 ± 0.01b	MS, RI
γ -壬内酯	2 002	0.08 ± 0.04b	0.56 ± 0.08a	0.04 ± 0.01b	MS, RI
小计		6.62	20.77	1.35	
烃类(18种)					
戊烷	—	1.41 ± 0.08c	4.20 ± 0.11a	2.88 ± 0.47b	MS, RI
1-己烯	615	0.35 ± 0.04b	0.63 ± 0.14a	0.11 ± 0.04c	MS, RI
己烷	618	0.12 ± 0.04c	1.41 ± 0.13a	0.62 ± 0.13b	MS, RI
甲基环戊烷	664	0.03 ± 0.02b	0.20 ± 0.04a	0.15 ± 0.04a	MS
庚烷	692	1.47 ± 0.28b	7.96 ± 0.23a	1.12 ± 0.08b	MS, RI
1-庚烯	726	0.31 ± 0.05b	1.37 ± 0.22a	0.17 ± 0.06c	MS, RI
辛烷	795	3.93 ± 0.95b	14.49 ± 0.73a	1.87 ± 0.40c	MS, RI
(Z)-2-辛烯	829	0.43 ± 0.09b	0.85 ± 0.16a	0.17 ± 0.03c	MS, RI
4-甲基辛烷	850	0.15 ± 0.06b	0.41 ± 0.06a	0.19 ± 0.06b	MS, RI
壬烷	889	0.54 ± 0.08c	3.50 ± 0.25a	0.95 ± 0.09b	MS, RI
1-壬烯	938	2.24 ± 0.20b	4.13 ± 0.16a	0.21 ± 0.05c	MS, RI
癸烷	996	0.85 ± 0.09b	2.74 ± 0.13a	2.78 ± 0.21a	MS, RI
1-癸烯	1 037	2.84 ± 0.52b	4.43 ± 1.21a	0.58 ± 0.04c	MS, RI
十一烷	1 100	0.36 ± 0.14c	3.74 ± 0.49a	1.30 ± 0.18b	MS, RI
十二烷	1 203	0.29 ± 0.08b	1.20 ± 0.11a	—	MS, RI
十三烷	1 306	—	1.42 ± 0.06	—	MS, RI
十六烷	1 599	—	0.24 ± 0.06	—	MS, RI
十七烷	1 698	—	0.13 ± 0.04	—	MS, RI
小计		15.32	53.05	13.10	
总计		142.65	496.09	172.20	

* MS 表示采用检索 NIST2010 质谱库鉴定, RI 表示用保留指数鉴定, S 表示用标准品鉴定。“—”表示未检出;同行不同字母表示具有显著性差异($P \leq 0.05$)。

高后降低,总体上 2 号样品中挥发性化合物的质量比最高。3 号样品的氧化程度高于 2 号样品,其鉴定出的挥发性化合物总量反而减少,这可能与氧化时间长及氧化程度高时,体系内有些挥发性化合物发生复杂的二次反应(如醛类化合物之间发生羟醛缩合反应)甚至聚合反应变成不挥发性化合物有关^[20]。脂肪在空气中受热氧化为复杂的自由基反应,通常条件下,脂肪中的不饱和脂肪酸易于氧化^[20]。前期研究表明:动物脂肪的调控氧化为温和氧化,主要为其所含油酸、亚油酸氧化成氢过氧化物^[21],氢过氧化物降解则产生挥发性化合物。检测到的辛醛、壬醛、2-癸烯醛,可由油酸氧化降解产生;检测到的戊醛、己醛、(E)-2-辛烯醛、(E)-2-壬烯醛、

(E,E)-2,4-癸二烯醛、(E,Z)-2,4-癸二烯醛、1-辛烯-3-醇、戊醇,可由亚油酸氧化降解产生;检测到的丙醛、丁醛、(E)-2-丁烯醛、(E)-2-戊烯醛、(E)-2-己烯醛,可由亚麻酸氧化降解产生^[20]。脂肪氧化产生的醛进一步氧化可产生酸,酸与醇反应可产生酯^[22]。

早期动物油常作为食品煎炸油使用,因而相关文献较多地报道了猪脂高温加热下(如 190 °C)产生的挥发性成分^[9-11]。经比较,本研究检测的化合物在这些文献中几乎均有报道。但本实验鉴定出的醛类化合物数量远多于 Song 等^[3]、Ramirez 等^[23]采用顶空固相微萃取/气-质联机分析脂肪氧化产物或煎脂肪的结果。这除了与样品不同有关外,很可能还与本研究先采用 SAFE 装置高真空蒸馏得到挥

发性样品,然后进行分析,从而提高了GC-MS检测灵敏度有关。

2.3 3个不同氧化程度猪脂样品香气成分GC-O分析结果

3个氧化猪脂样品香气成分的AEDA/GC-O分析结果,见表3。Young等^[24]曾采用吹扫捕集/GC-O分析100℃加热牛脂肪的香气成分,鉴定出16个化合物。但总体而言,文献报道的关于加热脂肪风味的分析,多数仅采用气-质联机分析了挥发性成分,而并未采用GC-O分析“香气活性”成分。本实验GC-O分析中,检测到的气味类型包括青香、油

脂香、蘑菇香、甜香、奶香、水果香等,其中以“青香”“脂肪香(油脂香)”出现的频率高。GC-O分析共鉴定出39个化合物,包括22个醛、7个酮、6个醇、2个酯,以及2-戊基呋喃和(*E*)-6-十二烯,即鉴定出的多数化合物为脂肪醛,表明脂肪醛为脂肪调控氧化产生的主要风味物质。值得注意的是,GC-MS检测到的烃类、酸类化合物(见表2),GC-O均未检测到,这与烃类、酸类化合物往往具有较高气味阈值有关。GC-MS检测到的酯类化合物,仅有2种GC-O检测有气味活性,这除了与气味阈值有关外,还与多数酯的含量较低有关。

表3 3个不同氧化程度猪脂样品的SAFE-GC-O分析结果

Tab.3 SAFE-GC-O analysis results of three oxidized lard samples with different oxidation degrees

化合物编号	嗅闻保留指数	嗅闻的气味	化合物	log ₂ FD			定性方式*
				1号样品	2号样品	3号样品	
醛类(22种)							
1	415	酒香、青香、刺激味	乙醛	2	3	2	RI, O, S
2	480	青草香、刺激味	丙醛	0	4	2	MS, RI, O, S
3	600	青香、水果香、刺激味	丁醛	8	10	2	MS, RI, O, S
4	700	果香、面包香、刺激味	戊醛	12	12	4	MS, RI, O, S
5	853	青香、脂肪香	(<i>E</i>)-2-己烯醛	8	5	2	MS, RI, O, S
6	801	青草香、蔬菜香	己醛	12	15	6	MS, RI, O, S
7	902	甜杏味、坚果香	庚醛	8	11	4	MS, RI, O, S
8	955	青香、油脂香	(<i>E</i>)-2-庚烯醛	10	9	6	MS, RI, O, S
9	1 000	油脂香、蜂蜜香	辛醛	4	9	-	MS, RI, O, S
10	1 004	青香、脂肪香	(<i>E,E</i>)-2,4-庚二烯醛	-	5	-	MS, RI, O, S
11	1 059	青香、脂肪香	(<i>E</i>)-2-辛烯醛	12	14	6	MS, RI, O, S
12	1 154	青香、蔬菜香	(<i>E,Z</i>)-2,6-壬二烯醛	-	5	-	MS, RI, O, S
13	1 161	青香、脂肪香	(<i>E</i>)-2-壬烯醛	12	14	4	MS, RI, O, S
14	1 105	青香、海藻味、黄瓜味	(<i>E,E</i>)-2,4-辛二烯醛	-	4	-	MS, R, O
15	1 100	油脂、柑橘香	壬醛	-	7	-	MS, RI, O, S
16	1 196	油脂香、刺激气味	(<i>E,Z</i>)-2,4-壬二烯醛	4	6	-	RI, O
17	1 217	脂肪香	(<i>E,E</i>)-2,4-壬二烯醛	10	10	4	MS, RI, O, S
18	1 245	脂肪、蘑菇香、肉香	(<i>E</i>)-2-癸烯醛	2	6	-	MS, RI, O, S
19	1 280	腥味	(<i>E,Z</i>)-2,4-癸二烯醛	0	3	-	RI, O
20	1 320	青香、油炸香	(<i>E,E</i>)-2,4-癸二烯醛	12	14	4	MS, RI, O, S
21	1 360	脂肪香、柑橘香	(<i>E</i>)-2-十一烯醛	4	6	0	MS, RI, O, S
22	1 455	脂肪香、油炸香	(<i>E</i>)-2-十二烯醛	14	14	2	RI, O, S
醇类(6种)							
23	687	青香、水果香	1-戊烯-3-醇	-	6	-	MS, RI, O, S
24	775	青草、酒香、果香	戊醇	8	10	-	MS, RI, O, S
25	926	青香、柑桔香	2-庚醇	-	6	-	RI, O, S
26	978	蘑菇香、油腻气息	1-辛烯-3-醇	14	15	6	MS, RI, O, S
27	1 075	脂肪香、甜香	辛醇	-	7	-	MS, RI, O, S
28	1 175	柑橘香、油脂气息	壬醇	4	6	-	MS, RI, O, S
酮类(7种)							
29	836	青草、杏仁香	3-己烯-2-酮	4	-	-	MS, RI, O

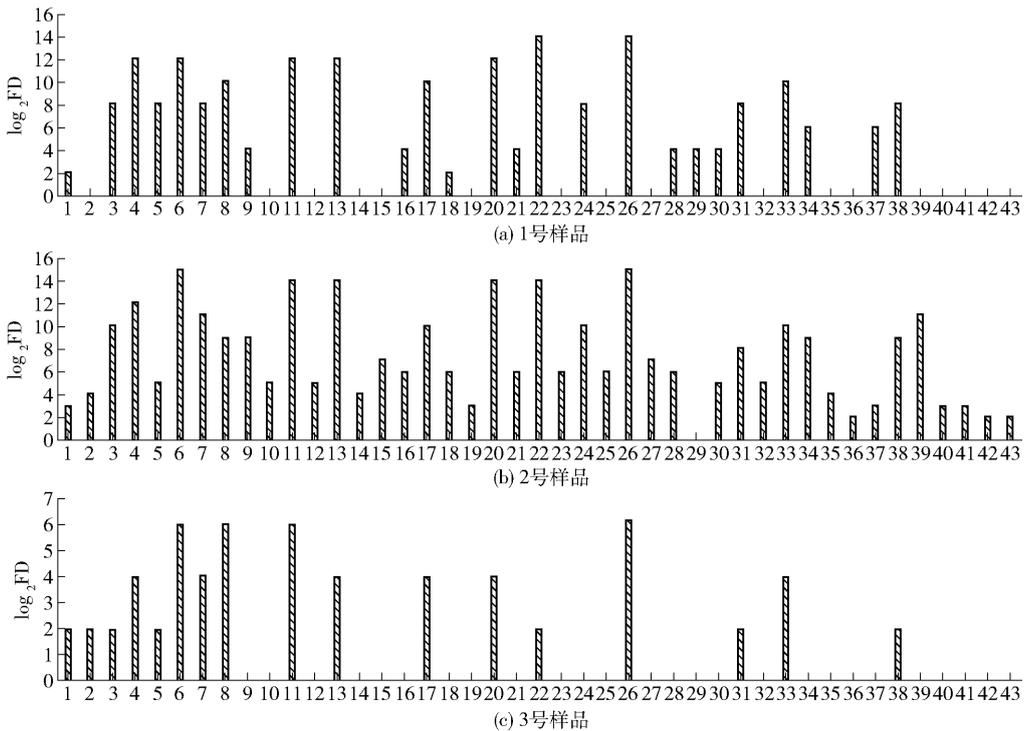
续表 3

化合物编号	嗅闻保留指数	嗅闻的气味	化合物	log ₂ FD			定性方式*
				1号样品	2号样品	3号样品	
30	877	青香、奶油香、药香	2-庚酮	4	5	-	MS, RI, O, S
31	993	奶香、甜香	2-辛酮	8	8	2	MS, RI, O, S
32	1 046	蘑菇香、泥土香	(E)-3-辛烯-2-酮	-	5	-	MS, RI, O, S
33	1 095	甜香、奶油香	2-壬酮	10	10	4	MS, RI, O, S
34	1 145	蘑菇香、酮香	(E)-3-壬烯-2-酮	6	9	-	MS, RI, O, S
35	1 485	果香、奶油香	2-十三酮	-	4	-	MS, RI, O, S
酯类(2种)							
36	967	水果香	甲酸庚酯	-	2	-	MS, RI, O
37	1 295	菠萝香、青香	己酸戊酯	6	3	-	MS, RI, O
其他(6种)							
38	815	生土豆味	未知	8	9	2	/
39	999	豆香、果香	2-戊基呋喃	-	11	-	MS, RI, O, S
40	1 118	青甜味	未知	-	3	-	/
41	1 237	塑料味	(E)-6-十二烯	-	3	-	RI, O
42	1 545	脂香、油炸香	未知	0	2	-	/
43	1 553	青甜味	未知	-	2	-	/

* MS 表示根据 GC-MS 分析结果鉴定, RI 表示根据嗅闻的保留指数鉴定, O 表示根据嗅闻的气味鉴定, S 表示嗅闻标准品鉴定。

将表 3 结果绘制成图 2, 对 3 个样品的 GC-O 结果进行比较。由图 2 可知, 与 GC-MS 分析结果一致, 2 号样品 GC-O 检测出的香气活性化合物数量最

多。3 号样品中检测到的香气活性化合物不仅数量少, 且稀释因子均较低, 这可能是造成 3 号样品的油脂香气较 2 号样品弱的原因, 而与 2 号样品相比, 3 号



化合物编号对应表 3 中化合物名称。

图 2 3 个不同氧化程度猪脂样品中 GC-O 检测到的香气化合物及稀释因子分布比较

Fig. 2 Comparison of detected aroma compounds by GC-O and flavor dilution values in three oxidized lard samples with different oxidation degrees

样品中短链醛(如戊醛)的数量占比例大。短链醛一般有尖锐气味,这可能是造成3号样品有刺激性气味的原因。与2号样品不同,1号样品有青草香气,可能因1号样品含有的油脂香气化合物的数量稍少于2号(例如,1号样品未检测到辛醇、壬醛)或稀释因子低于2号样品中[如1号样品中的(*E,E*)-2,4-癸二烯醛稀释因子低于2号样品]造成。

由图2和表3可知,2号样品中稀释因子高($\log_2 \text{FD} \geq 11$)的为1-辛烯-3-醇(编号26)、己醛(编号6)、(*E*)-2-辛烯醛(编号11)、(*E*)-2-壬烯醛(编号13)、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛(编号20)、(*E*)-2-十二烯醛(编号22)、戊醛(编号4)、庚醛(编号7)、2-戊基呋喃(编号39);1号样品中稀释因子高($\log_2 \text{FD} \geq 10$)的为(*E*)-2-十二烯醛(编号22)、1-辛烯-3-醇(编号26)、己醛(编号6)、戊醛(编号4)、(*E*)-2-辛烯醛(编号11)、(*E*)-2-壬烯醛(编号13)、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛(编号20)、(*E,E*)-2,4-壬二烯醛(编号17)、(*E*)-2-庚烯醛(编号8)、2-壬酮(编号33);3号样品中稀释因子高($\log_2 \text{FD} \geq 4$)的为己醛(编号6)、(*E*)-2-庚烯醛(编号8)、(*E*)-2-辛烯醛(编号11)、1-辛烯-3-醇(编号26)、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛(编号20)、(*E,E*)-2,4-壬二烯醛(编号17)、(*E*)-2-壬烯醛(编号13)、戊醛(编号4)、庚醛(编号7)、2-壬酮(编号33)。稀释嗅闻法中,化合物的稀释因子越大,表明其对总体香气贡献越大。因而上述这些稀释因子大的化合物对各自样品的总体香气有重要贡献。其中上述的3个代表性样品共有的重要化合物为:1-辛烯-3-醇(编号26)、己醛(编号6)、(*E*)-2-辛烯醛(编号11)、(*E*)-2-壬烯醛(编号13)、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛(编号20)、戊醛(编号4),故认为它们是不同的氧化程度调控氧化猪脂样品中均存在的重要香气成分。而这几个化合物在对猪肉的风味分析中常检测到。例如,Wang等^[25]利用SAFE-AEDA/GC-O分析不同加工方式的4种猪肉汤检测到了己醛。Timon等^[26]采用吹扫捕集及频率法GC-O分析炸猪里脊肉,鉴定出戊醛、己醛、1-辛烯-3-醇,且这3种化合物的检测频率都很高。Zhao等^[27]分析炖煮黑猪肉汤,检测出戊醛、己醛、(*E*)-2-壬烯醛、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛、1-辛烯-3-醇,其中(*E*)-2-壬烯醛、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛有较高的稀释因子;肖群飞等^[22]在猪五花肉炖煮肉汤中鉴定出33个香气化合物,己醛、(*E*)-2-辛烯醛、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛、1-辛烯-3-醇也具有较高稀释因子。徐永霞等^[28]报道清

炖肉汤中己醛、(*E,E*)-2,4-壬二烯醛、1-辛烯-3-醇是关键香味化合物。Xie等^[29]在小香猪烤肉中鉴定出戊醛、己醛、(*E*)-2-壬烯醛、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛,其中戊醛、己醛、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛的检测频率高,对小香猪烤肉的香气有重要贡献。

3 结论

随反应时间取样获得3个不同氧化程度且感官气味有代表性的氧化猪脂样品,采用GC-MS分析共鉴定出91个挥发性化合物,以醛类数量最大及含量最高。随着氧化程度升高,样品气味特征从有青草味、到典型油脂味、再到有刺激性气味变化,样品的挥发性化合物数量和含量呈现先增大后减少的趋势,其中的氧化程度适中的样品鉴定出的化合物数量最多且含量最高。采用GC-O分析共鉴定出39个香气化合物,仍以醛类化合物数量最多,且仍是氧化程度适中样品中鉴定出的香气化合物数量最多。氧化程度过高的样品(过氧化值271.5 mmol/kg、酸值3.10 mg KOH/kg)鉴定出的香气化合物数量反而少,可能与氧化时间长时,氧化反应复杂化有关。综合3个样品的GC-O分析结果,得出猪脂调控氧化不同程度均具有的重要香气成分为1-辛烯-3-醇、己醛、(*E*)-2-辛烯醛、(*E*)-2-壬烯醛、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛、戊醛。

参考文献:

- [1] 王志勇,孙宝国,梁梦兰,等. 脂质氧化产生香味物质[J]. 中国油脂, 2004, 29(9): 41-44.
WEN Z Y, SUN B G, LIANG M L, et al. Flavour compounds from lipid oxidation[J]. China Oils and Fats, 2004, 29(9): 41-44.
- [2] FRANK D, BALL A, HUGHES J, et al. Sensory and flavor chemistry characteristics of Australian beef: influence of intramuscular fat, feed, and breed[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(21): 4299-4311.
- [3] SONG S Q, TANG Q, FAN L, et al. Identification of pork flavour precursors from enzyme-treated lard using Maillard model system assessed by GC-MS and partial least squares regression[J]. Meat Science, 2017, 124: 15-24.
- [4] 张玲,甄大卫,范梦蝶,等. 氧化及未氧化鸡脂对热反应肉味香精风味形成的影响[J]. 中国食品学报,

- 2017, 17(8): 229–238.
- ZHANG L, ZHEN D W, FAN M D, et al. Effect of oxidized and non-oxidized chicken fat on the formation of meat flavor in a thermal reaction flavoring preparation system[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(8): 229–238.
- [5] YANG Z, XIE J C, ZHANG L, et al. Aromatic effect of fat and oxidized fat on a meat-like model reaction system of cysteine and glucose[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2015, 30(4): 320–329.
- [6] WANG T Z, ZHEN D W, TAN J, et al. Characterization of initial reaction intermediates in heated model systems of glucose, glutathione, and aliphatic aldehydes[J]. *Food Chemistry*, 2020, 305: 125482.
- [7] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. *Food Chemistry*, 1998, 62(4): 415–424.
- [8] UMANO K, SHIBAMOTO T. Analysis of headspace volatiles from overheated beef fat[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1987, 35(1): 14–18.
- [9] YASUHARA A, SHIBAMOTO T. Analysis of aldehydes and ketones in the headspace of heated pork fat[J]. *Journal of Food Science*, 1989, 54(6): 1471–1472.
- [10] YASUHARA A, SHIBAMOTO T. Headspace volatiles from heated pork fat[J]. *Food Chemistry*, 1990, 37(1): 13–20.
- [11] HWANG L S, CHEN C. Volatile compounds of lards from different treatments[M]//HO C T, HARTMAN T G. *Lipids in food flavors*. Washington D C: ACS Symposium Series, 1994: 244–255.
- [12] UM K W, BAILEY M E, CLARKE A D, et al. Concentration and identification of volatile compounds from heated beef fat using supercritical carbon dioxide extraction-gas liquid chromatography/mass spectrometry[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40(9): 1641–1646.
- [13] TAYLOR D L, LARICK D K. Volatile content and sensory attributes of supercritical carbon dioxide extracts of cooked chicken fat[J]. *Journal of Food Science*, 1995, 60(6): 1197–1200.
- [14] WATKINS P J, ROSE G, WARNER R D, et al. A comparison of solid-phase microextraction (SPME) with simultaneous distillation-extraction (SDE) for the analysis of volatile compounds in heated beef and sheep fats[J]. *Meat Science*, 2012, 91(2): 99–107.
- [15] WATANABE A, UEDA Y, HIGUCHI M, et al. Analysis of volatile compounds in beef fat by dynamic-headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Journal of Food Science*, 2008, 73(5): 420–425.
- [16] DU W B, ZHAO M Y, ZHEN D W, et al. Key aroma compounds in Chinese fried food of Youtiao[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2020, 35(1): 88–98.
- [17] ZHAO J, WANG M, XIE J C, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig[J]. *Food Chemistry*, 2017, 226(1): 51–60.
- [18] 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.
- SHI Y J, GE L F. Effects of production conditions on physicochemical and flavor quality of lard[J]. *Meat Research*, 2020, 34(4): 40–45.
- [19] 徐永霞, 张若洁, 徐竞一, 等. 猪脂肪控制氧化及挥发性氧化产物研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(21): 76–80.
- XU Y X, ZHANG R J, XU J Y, et al. Optimization of conditions for controlled oxidation of lard and analysis of volatile oxidation products[J]. *Food Science*, 2010, 31(21): 76–80.
- [20] CHO E, MIN D B. Mechanisms and factors for edible oil oxidation[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2006, 5(4): 169–186.
- [21] 曾慧英, 靳林溪, 虞芳妮, 等. 液-质联机分析氧化鸡脂中极性非(难)挥发性组分[J]. *精细化工*, 2013, 30(10): 1122–1128.
- ZENG H Y, JIN L X, YU F N, et al. LC-MS analysis of the polar non-volatile components in the oxidized chicken fat prepared by control oxidization technology[J]. *Fine Chemicals*, 2013, 30(10): 1122–1128.
- [22] 肖群飞, 范梦蝶, 赵健, 等. 猪五花肉炖煮肉汤香气物质的分析鉴定[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(22): 273–279.
- XIAO Q F, FAN M D, ZHAO J, et al. Characterization of the aroma compound in stewed meat broth of pork bell[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(22): 273–279.
- [23] RAMIREZ M R, ESTEVEZ M, MORCUENDE D, et al. Effect of the type of frying culinary fat on volatile compounds isolated in fried pork loin chops by using SPME-GC-MS[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(25): 7637–7643.
- [24] YOUNG O A, BAUMEISTER B M B. The effect of diet on the flavour of cooked beef and the odour compounds in beef fat[J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1999, 42(3): 297–304.

- [25] WANG Y, SONG H L, ZHANG Y, et al. Determination of aroma compounds in pork broth produced by different processing methods [J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2016, 31(4): 319–328.
- [26] TIMON M L, CARRAPISO A I, JURADO Á, et al. A study of the aroma of fried bacon and fried pork loin [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2004, 84(8): 825–831.
- [27] ZHAO J, WANG M, XIE J C, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig [J]. *Food Chemis-try*, 2017, 226(1): 51–60.
- [28] 徐永霞, 陈清婵, 吴鹏, 等. 气相色谱-嗅闻技术鉴定清炖猪肉汤中的挥发性香气物质 [J]. *食品科学*, 2011, 32(18): 274–277.
- XU Y X, CHEN Q C, WU P, et al. Characterization of aroma components in stewed pork broth by GC-O [J]. *Food Science*, 2011, 32(18): 274–277.
- [29] XIE J C, SUN B G, ZHENG F P, et al. Volatile flavor constituents in roasted pork of mini-pig [J]. *Food Chemis-try*, 2008, 109(3): 506–514.

Analysis of Aroma Compounds in Lard Oxidized in Control

ZHEN Dawei¹, XU Yuxia¹, ZHANG Chenping^{1,2}, ZHANG Ling¹,
XIE Jianchun^{1,*}, SUN Baoguo¹

(1. *School of Light Industry, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China*;
2. *Xinzhou Teachers University, Xinzhou 034000, China*)

Abstract: The oxidation of lard was obtained by heating and passing air in control, and three odor representative samples (peroxide values were 45.5, 158.0, 271.5 mmol/kg fat respectively) were taken at the oxidation time of 1 h, 3 h and 4 h. Due to the generally strong lipophilicity, aroma compounds in fat are not suitable for solvent extraction. In this study, aroma compounds from the oxidized lard were directly extracted at 50 °C by high vacuum distillation and liquid nitrogen condensation using solvent assistant flavor evaporation (SAFE) apparatus, which has advantages with simpleness and mildness and without use of organic solvents. The aroma compound composition of extracts were analyzed by GC-MS and AEDA/GC-O. The results indicated that GC-MS identified 91 compounds among which aldehydes ranked the highest amount followed by acids. In comparison, the sample in a moderate oxidation degree (peroxide value was 158.0 mmol/kg) with characteristic fatty odors had the most number and amount of compounds identified by GC-MS, whereas that in a lower oxidation degree (45.5 mmol/kg) with green odors or higher oxidation degree (271.5 mmol/kg) with pungent odors had fewer number and amount of compounds identified. And in all the three samples, hexanal, (*E*)-2-heptanal, (*E*)-2-octenal, 1-octen-3-ol and hexanoic acid belonged to the top 5 compounds with higher content. AEDA/GC-O detected 39 aroma compounds, most of which were aldehydes. Sample in a moderate oxidation degree also had the highest number of odorants. In common, 1-octen-3-ol, hexanal, (*E*)-2-octenal, (*E*)-2-nonenal, (*E,E*)-2,4-decadienal, and pentanal exhibited higher dilution factors in all the three samples, and they were considered to contribute highly to overall aroma of the oxidized lard with different oxidation degrees. The results might help understand the mechanism of fat oxidation in control and provide guidance for optimal preparation of thermal reaction meat flavors using “fat oxidation in control-thermal reaction” process.

Keywords: lard; oxidization in control; high vacuum distillation; aroma compounds; peroxide value; meat flavor

(责任编辑:李 宁)