鸡脂的酶解对鸡肉风味前体物形成的影响

宋诗清[1]，袁 霖[2]，张晓鸣[2,*]，刘 芳[2]
(1.上海应用技术学院香料香精技术与工程学院，上海 201418；2.江南大学食品学院，江苏 无锡 214122)

摘 要：研究鸡脂肪酶解及酶解-温和加热控制氧化两种方法对鸡脂氧化规律的影响。采用化学指标分析、感官分析和固相微萃取/气相色谱-质谱(SPME/GC-MS)分析技术分别对酶解鸡脂和酶解-温和加热控制氧化鸡脂进行分析比较。化学指标分析结果表明：酶解后的鸡脂再经过氧化，其过氧化值显著增加；感官分析结果表明：与单独采用酶解、高温氧化处理的鸡脂比较，酶解-温和加热控制氧化鸡脂参与热反应后提供的鸡脂香味特征风味突出，肉香味圆润持久，异味降低明显；SPME/GC-MS分析结果表明：采用此方法制备的氧化脂肪(过氧化值(POV)52.36meq/kg、酸值(AV) 34.06mg KOH/g)形成的鸡肉风味前体物含量适中，是赋予热加工鸡肉风味的最合适风味前体物。

关键词：鸡脂；酶解；特征风味前体；美拉德反应

Effect of Enzymatic Hydrolysis of Chicken Fat on the Formation of Characteristic Flavor Precursors

SONG Shi-qing[1]，YUAN Lin[2]，ZHANG Xiao-ming[2,*]，LIU Fang[2]
(1. School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China；
2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract：The effects of enzymatic hydrolysis and enzymatic hydrolysis coupled with mild controlled oxidization on lipid oxidation in chicken were studied. Chemical index analysis, descriptive sensory analysis and SPME/GC-MS analysis were used to comparatively evaluate lipid oxidation in chicken through enzymatic hydrolysis and enzymatic hydrolysis coupled with controlled oxidization. Peroxide value (POV) of chicken fat was significantly increased through oxidization after enzymatic hydrolysis. Quantitative sensory analysis showed that species-specific characteristics of chicken were more prominent in chicken subjected to enzymatic hydrolysis coupled with controlled oxidized fat. Furthermore, SPME/GC-MS analysis proved that the oxidized chicken fat had POV of 52.36 meq/kg and AV of 34.06 mg KOH/g by enzymatic hydrolysis coupled with mild control oxidation at the medium level of characteristic flavour precursor.

Key words：chicken fat；enzymatic hydrolysis；typical flavour precursor；Maillard reaction
中图分类号：TS202.3 文献标志码：A 文章编号：1002-6630(2013)11-0168-05
doi:10.7506/spkx1002-6630-201311037

随着我国食品工业的迅猛发展以及人们生活水平的日益提高，食品对人们来说已不仅是裹腹的作用，而是要以先进的工艺、繁多的品种和优良的质量来满足其对食品色、香、味的新要求，并应逐步向天然、营养、卫生、方便、可口的方向发展。调味品中的香精香料就是以改善、增加和模仿食品的香气和香味为主要目的的食品添加剂，它为消费者提供了香气袭人的含香物质和美味诱人的呈味物质。肉味香精是近年来快速发展起来的食用香精之一，包括牛肉香精、鸡肉香精、猪肉香精、各类海鲜香精等，此类香精能赋予肉制品以良好的风味，主要用于方便面调味包、肉制品、调味品、休闲食品、膨化食品、速冻调理食品以及动物饲料和宠物食品等。动物脂肪是动物肉类特征风味的主要来源[1-4]，利用酶解、控制氧化、Maillard反应等技术处理的动物脂肪制作肉味香精的研究已有较多的报道，借助先进仪器分析出各种肉香成分后，运用现代科技将酶解、调香、超临界萃取、微胶囊包埋以及烹饪呈味等技术综合运用于香精的生产，通过调香生产出具有各种肉香和肉味的香精也有较多的阐述[5-8]。鸡肉香精作为国际市场上用途最为广泛的咸味香精之一，其特征风味不足一直是香精研究的难题。研究[9-10]表明，将动物脂肪氧化降解后加入反应体系，可以使肉类特征风味更加突出。然而脂肪的氧化程度对特征风味形成的影响程度仍不明确。本课题组[11-12]在前期牛肉香精、羊肉香精等关键技术成果总结

收稿日期：2012-02-17
基金项目：国家自然科学基金青年基金项目(31201415)
作者简介：宋诗清(1982—)，女，讲师，博士，研究方向为食品风味化学。E-mail：sshqingg@yahoo.com.cn
*通信作者：张晓鸣(1965—)，男，教授，博士，研究方向为食品风味化学。E-mail：xmzhang168@hotmail.com

分析的基础上，基于鸡肉特征香味形成机制亟待深入探讨与明晰的需要，着重研究鸡脂的酶解对鸡肉风味前体物形成的影响，首先以过氧化值(POV)和酸值(AV)为指标，考察鸡脂经脂肪酶单独酶解及先酶解后氧化的氧化规律；然后采用定量感官分析比较酶解鸡脂、酶解-温和加热控制氧化鸡脂及高温控制氧化鸡脂对热反应鸡肉香精风味形成的影响；再次结合固相微萃取/气相色谱-质谱(SPME/GC-MS)分析技术对不同预处理鸡脂的主要挥发性风味组分进行剖析，探讨不同预处理方式对鸡脂氧化形成特征风味前体的影响，最终为制备鸡肉特征香味突出、脂香浓郁、风味饱满和柔和的鸡肉香精确定鸡脂氧化工艺条件，同时为通过“脂肪控制氧化-美拉德热反应”法制备肉味香精提供一定的参考，这对进一步提高我国肉味香精质量，增加在国内外市场上的竞争力，促进相关食品工业的发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

精炼鸡脂(未添加任何添加剂，POV 6.16meq/kg，AV 0.78mg KOH/g) 安徽牧洋油脂有限公司；脂肪酶(Lipase MER，7500 LU/g) 日本天野酶制剂株式会社。

磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、硫代硫酸钠、重铬酸钾、可溶性淀粉、水杨酸、氢氧化钾、冰醋酸、95%乙醇、无水乙醚、无水乙醇等(均为分析纯) 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

AB204-S型分析天平、pH计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司；超级循环恒温水浴锅 上海实验仪器有限公司；DW-1增力无极恒速搅拌器 巩义市予华仪器有限公司；WMZK-01型温度指示控制仪 上海飞龙仪表电器有限公司；75μm CAR/PDMS萃取头 美国Supelco公司；Trace MS气相色谱质谱联用仪 美国Finnigan质谱公司。

1.3 鸡脂肪预处理

1.3.1 酶解处理

原料鸡脂→加入磷酸缓冲溶液(pH6)配制成一定质量分数的溶液(底物质量分数分别为50%、60%、70%、80%、90%)→温度调节至40℃→添加脂肪酶(脂肪酶添加量分别为0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05%)进行酶解反应(酶解时间0.5、1.0、1.5、2.0、2.5h)→90℃灭酶5min→降温冷却。冷却并静置分层，取上层鸡脂层用于分析测定POV和AV。每个样品重复制备2次。

1.3.2 鸡脂酶解-温和加热控制氧化

在装有电动搅拌器、水银温度计和回流冷凝管的250mL四口烧瓶中加入酶解完全的鸡脂，加热使其溶化并搅拌。固定反应温度60℃、反应时间3h、压缩空气流速60L/h。待反应结束，将鸡脂取出，冷却并静置分层，取上层鸡脂层用于分析测定POV和AV。每个样品重复制备2次。

1.3.3 鸡脂高温加热控制氧化

在装有电动搅拌器、水银温度计和回流冷凝管的250mL四口烧瓶中加入精炼鸡脂，加热使其溶化并搅拌。固定反应温度110℃、反应时间1h、压缩空气流速25L/h。待反应结束，将鸡脂取出，冷却并静置分层，取上层鸡脂层用于分析测定POV和AV。

1.4 指标测定

POV和AV的测定分别按照文献[13]的方法进行。

1.5 SPME/GC-MS分析

1.5.1 固相微萃取(SPME)

采用酶法酶解、酶解-温和加热控制氧化及高温加热法控制氧化的方法处理待分析的5个鸡脂样品，见表1。

表 1 GC-MC待检测样品的预处理方法

Table 1 Sample pretreatment methods used in this study for GC-MS analysis

样品编号	样品处理
1	酶解(加酶量0.02%、反应时间2h、底物质量分数70%)
2	酶解-温和加热控制氧化(酶解：加酶量0.02%、反应时间2h、底物质量分数70%；温和加热：温度60℃、反应时间3h、空气流速60L/h)
3	酶解-温和加热控制氧化(酶解：加酶量0.03%、反应时间0.5h、底物质量分数70%；温和加热：温度60℃、反应时间3h、空气流速60L/h)
4	酶解-温和加热控制氧化(酶解：加酶量0.03%、反应时间2h、底物质量分数50%；温和加热：温度60℃、反应时间3h、空气流速60L/h)
5	高温加热控制氧化(温度110℃、反应时间1h、空气流速25L/h)

取3.0g待测鸡脂放入特制的15mL顶空瓶，加入2μL的邻二氯苯溶液0.54μg/μL做内标，迅速盖封后置于预先设定温度55℃的水浴中保温5min，将老化的固相微萃取针插入样品瓶中大约1cm处，顶空吸附30min后，于气相进样口250℃条件下解吸2min。

1.5.2 气相色谱-质谱条件

采用DB-WAX毛细管柱(30m×0.25mm，液膜厚度0.25μm)，载气为氦气，流速1.8mL/min；色谱柱起始柱温40℃，保持3min，以8℃/min升到80℃，然后以10℃/min升到230℃，保持10min；进样口温度230℃，无分流进样，检测器温度230℃；电离方式为EV，电子能量70eV，离子源温度200℃，接口温度250℃，扫描质量范围33～450u。

1.5.3 挥发性化合物的定性及定量分析

测定化合物的保留指数(RI)，采用质谱数据库检索与文献检索相结合的方法进行检测结果与标准化合物对比，对所得化合物进行定性分析；采用内标法进行定量分析，根据被测化合物和内标物相应的色谱峰面积之比计算被测组分的含量。

1.5.4 数据处理

数据处理由Xcalibur软件系统完成，未知化合物经计算机检索，同时与NIST谱库(107k compounds)和Wiley谱库(320k compounds，6.0版本)相匹配。

1.6 热反应鸡肉香精的制备及其感官分析

1.6.1 热反应鸡肉香精的制备

将各成分(包括鸡脂11.70g、*L*-半胱氨酸0.58g、核苷酸二钠(I＋G) 0.58g、野味素0.98g、VB_1 0.98g、VC 0.49g、葡萄糖4.88g、*L*-蛋氨酸0.68g、味精5.55g、白砂糖5.55g、去离子水37.82g、酵母精2.93g、鸡肉酶解物27.29g)混合均匀后置于定制Maillard反应瓶内，密封，在预定温度100℃条件下，反应1h后停止，冷却，取样评香，进行感官分析。

1.6.2 热反应鸡肉香精的评价标准

采用定量感官描述分析法对热反应鸡肉香精的品质进行评价，感官评价小组由8位评价人员(23～45岁，5位女性和3位男性)组成，取样测试前让评价人员熟悉待测样品的风味特性与强度，讨论习惯性描述的词汇，确定鸡肉香精的评价特征包括鸡肉特征香气、肉香味、脂肪香气、香气仿真度、圆润感。评价人员对不同预处理鸡脂美拉德产物各项指标评分，评价标准如表2所示。每个样品重复评价3次，取平均值。

表2 美拉德产物评价标准

Table 2 Criteria for sensory evaluation of Maillard reaction products

项目	标准	分值(由弱至强)
鸡肉特征香气	香气直冲、留香持久	－3～3
肉香味	肉味饱满、圆润	－3～3
脂肪香气	脂肪味突出	－3～3
香气仿真度	浓郁的鸡肉汤感	－3～3
圆润感	气味不直冲，不刺激	－3～3

2 结果与分析

2.1 鸡脂酶解-氧化规律的研究

2.1.1 加酶量对鸡脂酶解和酶解-温和加热控制氧化规律的影响

由图1可知，随着脂肪酶添加量的增加，酶解鸡脂的POV变化不显著；而随着脂肪酶添加量由0.01%增加至0.03%时，酶解-温和加热控制氧化鸡脂的POV呈现显著的增长趋势，之后再增加加酶量，POV变化趋于平缓。这可能是因为单纯的酶解只能使鸡脂分解生产甘油和游离脂肪酸，但由于反应体系缺乏氧气参与，导致游离脂肪酸的进一步水解、氧化生成过氧化物过程受阻；而在酶解之后再进行加热法温和氧化，在体系中通入氧气，使得游离脂肪酸大量断裂、氧化生成过氧化物，导致POV较高。对于AV随着脂肪酶添加量的增加，酶解鸡脂以及酶解-温和加热控制氧化的鸡脂AV值呈线性增长的趋势，如酶解-温和加热控制氧化，当加酶量由0.01%上升到0.05%时，AV由23.67mg KOH/g升高到50.32mg KOH/g，可能是酶与底物比([*E*]/[*S*])偏低，酶被底物所饱和，随着酶添加量的增加，鸡脂不断分解生成游离脂肪酸。比较单独酶解和酶解-温和加热控制氧化鸡脂中AV的变化，发现前者略大于后者。这是由于在温和加热控制氧化中，游离脂肪酸被进一步水解、氧化生成过氧化物、醛类、酮类等非酸类物质，从而导致AV略有下降。酶解鸡脂经加热氧化后引起游离脂肪酸大量断裂，应导致氧化后鸡脂的AV显著低于单纯酶解法，但是结果发现二者之间的AV并不存在显著性差异，这可能是由于氧化过程中的游离脂肪酸在分解时，既能生成醛类、酮类物质，也会产生大量的短链脂肪酸，从而导致AV的增加。这一现象已被课题组前期的实验结果所证实[14]。

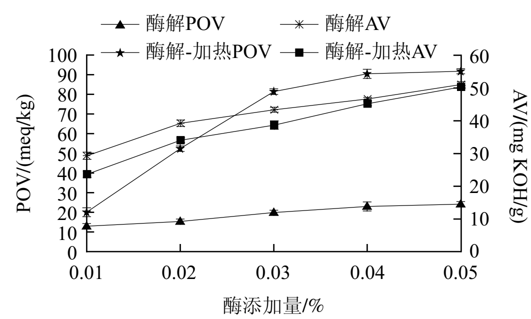

图1 POV、AV值随脂肪酶添加量的变化趋势

Fig.1 Effect of lipase dosage on POV and AV values

2.1.2 酶解时间对鸡脂酶解和酶解-温和加热控制氧化规律的影响

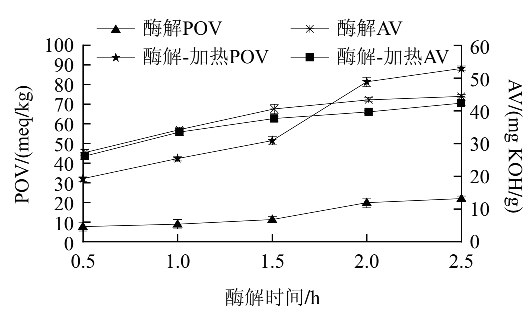

图2 POV、AV随酶解时间的变化趋势

Fig.2 Effect of hydrolysis time on POV and AV values

由图2可知，随着酶解时间的增加，酶解和酶解-温和加热控制氧化鸡脂的POV始终呈增长趋势，且在1.5～2.0h之间，POV增长幅度最为明显。比较酶解和酶解-温和加热控制氧化鸡脂中POV的变化，后者POV远大于前者，其原因与酶添加量对鸡脂酶解和酶解-温和加热控制氧化的POV影响类似。对于AV，随着酶解时间的增加，酶解鸡脂以及酶解-温和加热控制氧化鸡脂的AV均

呈线性增长的趋势。其趋势与加酶量对鸡脂酶解和酶解-温和加热控制氧化的AV影响类似。

2.1.3　底物质量分数对鸡脂酶解和酶解-温和加热控制氧化的影响

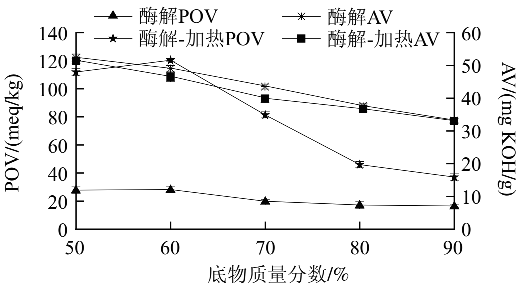

图3　POV、AV随底物质量分数的变化趋势

Fig.3　Effect of substrate concentration on POV and AV values

由图3可知，随着底物质量分数的增加，酶解和酶解-温和加热控制氧化鸡脂的POV呈现先上升后下降的趋势，在底物质量分数为60%时，POV达到最大，继续提高底物质量分数，POV出现明显下降，如酶解-温和加热控制氧化中，底物质量分数为60%时，POV为120.36meq/kg，当底物质量分数为70%时，POV下降为81.39meq/kg。酶解-温和加热氧化中POV的变化明显大于单纯酶解处理样品值，其原因与加酶量和酶解时间对鸡脂酶解和酶解-温和加热控制氧化的POV影响类似。对于AV，随着底物质量分数的增加，酶解和酶解-温和加热控制氧化鸡脂的AV值呈线性下降的趋势，这是因为脂肪酶在油水界面上具有较大的活性，其催化作用需要一定的水分(必需水)以维持酶分子的活性构象，当底物质量分数不断增加时，体系中用于维持脂肪酶构象的水无法与酶充分接触，故而酶的活性受到抑制，脂肪酸的生成受阻[15]。

2.2　不同鸡脂处理方式对热反应鸡肉香精风味形成的影响

表3　热反应鸡肉香精的感官评定结果

Table 3　Results of sensory evaluation of chicken flavoring

样品编号	POV/(meq/kg)	AV/(mg KOH/g)	风味特征描述	综合评分
1	15.33	39.25	鸡脂香和肉香味弱，有少许酱香，回味弱，无异味	−1.6
2	52.36	34.06	鸡脂香和肉香味较好，酱香圆润浓郁，回味持久，无异味	9.6
3	32.09	26.19	鸡脂香和肉香味较弱，酱香圆润，回味稍弱，无异味	1.8
4	111.96	51.24	鸡脂香和肉香味浓郁，酱香浓郁刺鼻，回味持久，有少许酸败味	4.6
5	104.83	1.31	鸡脂香和肉香味浓郁，酱香浓郁刺鼻，回味持久，有酸败味	3.2

由表3可知，样品2具有较好的鸡肉特征香气和肉香气，它所代表的是酶解-温和加热控制氧化处理鸡脂的Maillard反应产物。

2.3　不同氧化处理鸡脂的GC-MS分析

采用SPEM法快速富集氧化鸡脂的挥发性风味物质，通过GC-MS进行检测分析，在不同氧化鸡脂中分离鉴定出的化合物包括：20种醛类、6种酮类、9种醇类、9种羧酸类、2种烷烃和2种杂环化合物，结果见表4。

表4　不同氧化处理鸡脂产生的挥发性成分

Table 4　Volatile compounds identified in oxidized chicken fat

化合物	RI[a]	ID[b]	化合物	RI[a]	ID[b]
醛类			1-辛醇	1557	A
戊醛	1021	A	1-壬醇	1662	A
3-羟基丁醛	915	A	1,4-戊二醇	1669	C
(*E*)-2-丁烯醛	987	B	3-癸烯-1-醇	1748	C
己醛	1094	A	**酮类**		
1-甲氧基-2-丙醛	1102	C	1-辛烯-3-酮	1501	B
庚醛	1193	A	(*E*)-3-辛烯-2-酮	1620	C
2-己烯醛	1227	A	3-壬烯-2-酮	1520	B
辛醛	1295	A	1,13-十四碳二烯-3-酮	1565	C
(*E*)-2-庚烯醛	1333	A	4-苯甲酸基-二氢吡喃-3-酮	1671	C
壬醛	1399	A	2,3-辛二酮	1683	C
2-辛烯醛	1409	A	**羧酸类**		
(*E*,*E*)-2,4-庚二烯醛	1475	A	丁酸	1577	A
癸醛	1495	A	戊酸	1744	A
苯甲醛	1541	A	己酸	1853	A
(*E*)-2-壬烯醛	1547	A	庚酸	1961	A
(*E*)-2-癸烯醛	1655	A	辛酸	2067	A
(*E*,*E*)-2,4-壬二烯醛	1285	A	2-庚烯酸	2086	A
2-十一烷烯醛	1766	B	壬酸	2173	A
(*E*,*Z*)-2.4-癸二烯醛	1778	B	(*E*)-2-辛烯酸	2195	A
(*E*,*E*)-2,4-癸二烯醛	1826	A	棕榈酸(甲酯)	2224	C
醇类			**烷烃类**		
1-戊醇	1254	B	柠檬烯		C
1-己醇	1355	B	甲基萘	1896	C
1-辛烯-3-醇	1451	A	**杂环类**		
1-庚醇	1455	A	2-戊基呋喃	1220	A
4-乙基环己醇	1744	C	2-戊基吡啶	1581	B

注：a. RI代表保留指数，以C6～C26的正构烷烃混合物为标准；b. ID代表鉴定方法，其中A与标准品的质谱和RI值对照、B与参考文献的质谱和RI值对照、C与质谱数据库比较[16-18]。

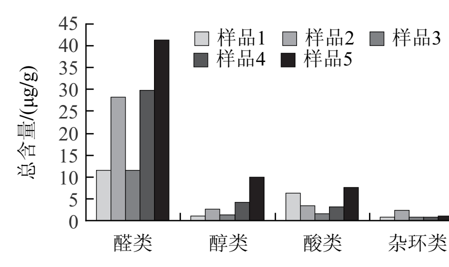

图4　氧化鸡脂的重要挥发性成分总含量

Fig.4　Total content of important volatile compounds in oxidized chicken fat

基于比较对照的便捷性考虑，按照产物类别绘制成图4，结果发现：1)醛类物质的含量明显高于其他4类化合物，这说明醛类是脂质降解的主要产物，对于热反应形成特征风味具有关键作用[19]。值得注意的是，样品4和样品5中含有更高含量的醛类，而其Maillard反应产物感官评定结果有异味，可能是因为2种样品中2-庚烯醛、2-辛烯醛、2-壬烯醛、2-癸烯醛、2-十一烯醛等不饱和醛类

含量明显高于其他3种样品含量的缘故，而样品2中醛类含量适中，既保证了良好的鸡脂香和肉香味，又避免了氧化异味的产生。由此也说明低含量的醛可以产生特征香味，当某些醛类含量过高时会产生氧化异味。2)样品1和样品5中酸类物质的含量最高，其中样品1中含有大量的棕榈酸(甲酯)，而样品5中含有大量的短链脂肪酸，原因是样品1的鸡脂经过酶解得到大量长链脂肪酸，但是由于体系中缺乏氧气参与，大量长链脂肪酸无法进一步反应；而样品5经过高温110℃通空气氧化，原料鸡脂中少量的长链脂肪酸被大量分解成短链脂肪酸。另外，样品5的酸类物质总含量最高，但其化学指标AV则明显低于其他2种氧化方法的鸡脂，原因是鸡脂中甘油三酯的含量达到90%以上，酶法水解氧化可以生成大量游离长链脂肪酸，再经过温和加热控制氧化后，长链脂肪酸进一步反应生成挥发性风味物质以及少量短链脂肪酸；而加热控制氧化的温度条件下无法将甘油三酯大量裂解生成游离脂肪酸，只能与鸡脂中本身存在的少量脂肪酸反应，但由于脂肪酸与氧气大量反应，所以生成了大量挥发性风味物质以及短链脂肪酸。另外需要强调的是，引起脂肪酸败的脂肪酸主要是C10以内的短链脂肪酸，所以尽管经过酶解的鸡脂AV较高，但相比加热法控制氧化，酶解-温和加热控制氧化更不易酸败。

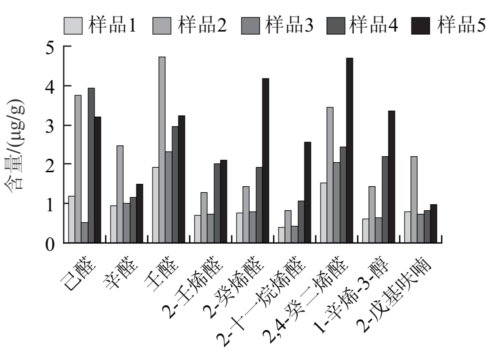

图 5 氧化鸡脂的重要特征性风味物质

Fig.5 Typical volatile substances of oxidized chicken fat

由图5针对几种对鸡肉特征风味形成有重要贡献的典型物质进行分析发现：1)壬醛、2-癸烯醛、2,4-癸二烯醛和2-十一烷烯醛作为形成鸡肉风味的关键物质，提供鸡肉的特征香味，在5种样品中含量具有显著差异。其中鸡脂香和肉香味较弱的样品1和样品3中，上述几种化合物检测到的含量相对也最低；而其余3组样品中上述几种化合物含量相对较高，热反应鸡肉香精的鸡脂香和肉香味浓郁，回味持久；2)正己醛、正辛醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃等化合物本身不具有肉香味，但是对于整体肉香味的形成有重要的贡献。在感官评定最好的样品2中，上述几种化合物都检测出了较高的含量，其中辛醛、杂环类化合物2-戊基呋喃的含量明显高于其他组分。

3 结 论

与单独脂肪酶酶解相比，经酶法-温和加热控制氧化后所得鸡脂样品的酸值变化不明显，但是其过氧化值提高显著。研究发现经过酶解-温和加热控制氧化的鸡脂(氧化程度为POV 52.36meq/kg、AV 34.06mg KOH/g)参与热反应后，所提供的鸡脂香特征风味突出，肉香味圆润持久，异味降低。其中POV 52.36meq/kg、AV 34.06mg KOH/g的氧化鸡脂所形成的鸡肉风味前体物含量适中，是赋予热加工鸡肉风味的最合适风味前体物。本实验成果对提升热反应肉味香精的风味品质具有重要的理论指导作用及实践意义。

参考文献：

[1] MAARSE H. Volatile compounds in foods and beverages[M]// New York: Marcel Decker Inc., 1991: 107-177.

[2] NOLEAU I, TOULMONDE B. Volatile components of roast chicken fat[J]. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 1987, 20(1): 37-41.

[3] NOLEAU I, TOULEMONDE B. Quantitative study of roasted chickenflavour[J]. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 1986, 19(1): 1-22.

[4] WHITFIELD F B. Volatiles form interaction of Maillard reactions and lipids[J]. Critical Review Food Science Nutrition, 1992, 31(1): 1-58.

[5] 陈坤, 宋焕禄. 肉味香精的研究概况及其应用[J]. 北京工商大学学报, 2004, 22(2): 1-5.

[6] 欧阳杰, 武彦文. 脂肪香精: 一种新型天然肉类香精的制备和研究[J]. 香精香料化妆品, 2001(5): 12-14.

[7] 钟秋, 谢建春, 孙宝国, 等. "酶催化氧化鸡脂-热反应"制备鸡肉香味[J]. 中国食品学报, 2010(2): 124-129.

[8] 何文新, 郭善广, 蒋爱民, 等. 通过猪脂肪氧化和猪瘦肉酶解制备中式腊肉风味前提物的研究[J]. 食品与机械, 2008, 24(6): 41-45.

[9] FARMER L J, MOTTRAM D S, WHITFIELD F B. Volatile compounds produced in Maillard reactions involving glycine, ribose and phospholipids[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1989, 49: 347-368.

[10] MOTTRAM D S, EDWARDS R A. The role of triglycerides and phospholipids in the aroma of cooked beef[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1983, 34: 517-522

[11] 宋诗清, 张晓鸣, 刘芳, 等. 牛肉酶解物对牛肉特征香味形成的影响研究[J]. 食品工业科技, 2010(2): 124-129.

[12] 詹萍, 张晓鸣, 田洪磊, 等. 二次旋转正交组合设计优化羊骨蛋白酶解工艺[J]. 食品工业科技, 2011(19): 182-186; 190.

[13] PAQUOT C, HAUTFENNE A. Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives[M]. Boston Palo Alto Melbourne: IUPAC. Blackwell Scientific Publications, 1987: 73-74; 210-211.

[14] SONG S Q, ZHANG X M, HAYAT K, et al. Formation of the beef flavour precursors and their correlation with chemical parameters during the controlled thermal oxidation of tallow[J]. Food Chemistry, 2011, 124: 203-209.

[15] NILSANG S, LERTAIRI S, SUPHANTHARIKA M, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis of fish soluble concentrate by commercial proteases[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 70(4): 571-578.

[16] HORIUCHI M, UMANO K, SHIBAMOTO T. Analysis of volatile compounds formed from fish oil heated with cysteine and trimethylamine oxide[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46: 5232-5237.

[17] UMANO K, SHIBAMOTO T. Analysis of headspace volatiles from overheated beef fat[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1987, 35: 14-18.

[18] KIM T H, THUY N T, SHIN J H, et al. Aroma-active compounds of miniature beefsteak plant (*Mosla dianthera* Maxim)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48: 2877-2881.

[19] GASSER U, GROSCH W. Primary odorants of chicken broth[J]. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung, 1989, 190: 3-8.