

# 鸭脂氧化及其挥发性香气成分气相色谱-质谱分析

王淑慧<sup>1</sup>, 潘道东<sup>1,2,\*</sup>, 曹锦轩<sup>1</sup>, 曾小群<sup>1</sup>, 李桦<sup>2</sup>

(1. 宁波大学海洋学院食品科学系, 浙江 宁波 315211; 2. 南京师范大学食品科学与营养系, 江苏 南京 210097)

**摘要:** 以过氧化值、*p*-茴香胺值、酸值表示鸭脂的氧化状态, 通过单因素试验和感官鉴定研究氧化温度和时间对鸭脂氧化的影响, 确定以制备鸭肉香精前体物为目标的鸭脂氧化条件为氧化温度120℃、时间4 h。在此条件下, 鸭脂的过氧化值为22.30 meq/kg, *p*-茴香胺值为7.04, 酸值为0.93 mg KOH/g, 具有强烈的脂肪香气以及轻微的油炸气息。通过固相微萃取-气相色谱-质谱分析氧化前后鸭脂的挥发性香气成分, 氧化后鸭脂共检测出32种化合物, 与氧化前相比, 种类及含量均有所增加, 其中醛类物质11种, 含量为42.29%, 其中己醛含量高达29.40%。另外还检测出烃类、呋喃、醇类、羧酸类等多种呈香化合物, 为后期以氧化鸭脂为原料进行Maillard反应制备鸭肉香精的技术开发提供参考。

**关键词:** 鸭脂; 氧化; 挥发性香气成分; 固相微萃取-气相色谱-质谱

## Optimization of Conditions for Controlled Oxidation of Duck Fat and Gas Chromatography-Mass Spectrometry Analysis of Volatile Aroma Components

WANG Shu-hui<sup>1</sup>, PAN Dao-dong<sup>1,2,\*</sup>, CAO Jin-xuan<sup>1</sup>, ZENG Xiao-qun<sup>1</sup>, LI Hua<sup>2</sup>

(1. Department of Food Science, School of Marine Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Department of Food Science and Nutrition, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract:** By means of single-factor experiments and sensory evaluation, main factors affecting the peroxide value (POV), *p*-anisidine value (*p*-AV) and acid value (AV) of oxidized duck fat, including oxidation temperature and duration, were investigated. The optimal controlled oxidation conditions of duck fat were determined as 120℃ and 4 h. Under these conditions, the POV of oxidized duck fat was 22.30 meq/kg, *p*-AV 7.04 and AV 0.93 mg KOH/g. It had a strong fatty aroma and a slight smell of frying fat. In total 32 volatile aroma components were detected in oxidized duck fat by solid phase micro-extraction and gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS), including 11 aldehydes (together accounting for 42.29% of the total amount of volatile compounds) with hexanal accounting for up to 29.40%. Compared with fresh duck fat, oxidized duck fat contained increased kinds and amounts of volatile compounds. In addition, many other aroma components were also detected, including hydrocarbons, furans, alcohols and carboxylic acids. These results will provide references for the preparation of duck meat flavoring by Maillard reaction from oxidized duck fat.

**Key words:** duck fat; oxidation; volatile aroma component; solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS)

中图分类号: TS209

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)02-0205-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201402039

近年来, 肉味香精已经发展到第3代, 主要是通过定向控制脂肪氧化和Maillard反应来生产肉味香精<sup>[1]</sup>。有研究表明, 不同肉的特征香味主要来自于其脂肪氧化产物<sup>[2]</sup>。脂肪主要通过脂质降解、脂质和Maillard反应2个途径产生肉香味<sup>[3]</sup>。脂质发生氧化反应后可产生脂香味, 同时可降解生成多种挥发性成分, 包括羧酸类、醛类、酮类、烃类、酯类以及呋喃类等, 这些化合物进而与氨基

酸、多肽、水解植物蛋白(hydrolyzed vegetable protein, HVP)、水解动物蛋白(hydrolyzed animal protein, HAP)等化合物进行Maillard反应, 生成不同种类的特征肉香味。

有研究表明, 脂肪氧化后会产生大量的C<sub>6</sub>~C<sub>10</sub>的醛类、酮类、羧酸类化合物<sup>[4]</sup>, 可用作生产肉类香精的原料, 其特征香味显著<sup>[5]</sup>。目前, 国内关于动物脂肪氧化-Maillard

收稿日期: 2012-12-21

基金项目: 国家水禽产业技术体系基金项目(CARS-43-17); 浙江省重大科技攻关项目(2012C22058);

国家农业科技成果转化资金项目(2013GB2C200191); 宁波市农村科技创新创业基金项目(2013C910017)

作者简介: 王淑慧(1985—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学。E-mail: wshzmh@163.com

\*通信作者: 潘道东(1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工。E-mail: daodongpan@163.com

反应制备肉味香精的系统研究主要有猪脂<sup>[6-9]</sup>、牛脂<sup>[10]</sup>、羊脂<sup>[11]</sup>、鸡脂<sup>[12-14]</sup>，对鸭脂的氧化研究比较少，王永丽等<sup>[15]</sup>通过高温风干成熟和低温风干成熟工艺研究了樱桃谷鸭加工过程中脂质分解氧化规律及其与工艺温度、盐分和时间的相关性；张养东等<sup>[16]</sup>研究了日粮中不同VA水平对生长蛋鸭脂质过氧化作用及抗氧化机能的影响，结果表明日粮中添加5 500 IU/kg和8 250 IU/kg VA能显著提高机体的抗氧化能力、降低机体脂质过氧化水平。而目前对于鸭脂氧化-Maillard反应制备肉味香精的系统研究报道几乎没有。影响油脂氧化的因素有很多种，包括温度、脱色、脱臭、时间、空气浓度、压榨条件等。测量油脂氧化的指标通常是过氧化值（peroxide value, POV）、*p*-茴香胺值（*p*-anisidine, *p*-AV）、酸值（acid value, AV）。POV是衡量油脂氧化程度的指标，是不饱和脂肪酸中的双键与空气中的氧结合生成产物的量化指标。POV表征油脂氧化形成的最初产物的含量，即氢过氧化物（ROOH）含量，其本身不能产生香气，经过分解和热解可得到肉香味物质或肉香味前体物<sup>[8]</sup>；*p*-AV表示油脂中不饱和醛类的多少，即醛、酮、醌等二级产物的多少，这些产物可破坏人体对脂溶性维生素的吸收、具有致癌、促使血压升高等毒副作用，不利健康；AV表示油脂氧化所形成脂肪酸的含量，用于表示油脂酸败程度。油脂氧化酸败后通常会产生具有臭味的低级脂肪酸，AV越大，酸败程度越深，臭味越严重<sup>[9]</sup>。控制鸭脂氧化是为了获得肉风味和肉香前体物。因此，其产物应具有适当高的POV、*p*-AV和较低的AV。

本实验通过单因素试验对鸭脂进行定向氧化条件的控制，并对其挥发性产物进行分析，为后期以氧化鸭脂为原料进行Maillard反应制备鸭肉香精的技术开发提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

鸭脂取自鸭皮，购于宁波大学附近农贸市场。

*p*-茴香胺、异辛烷、氯仿、冰醋酸、碘化钾（均为分析纯） 国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

LDZX-50KBS立式压力蒸汽灭菌器 上海申安医疗器械厂；UV-4802紫外-可见分光光度计 上海尤尼柯仪器有限公司；AL204电子天平 瑞士Mettler Toledo公司；DHG-9108A型数显电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司；6890/5973N气相色谱-质谱联用仪 美国Agilent公司；75  $\mu$ m DVB/CAR/PDMS萃取头、固相微萃取手动进样手柄 上海安谱科学仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 鸭脂的熬制<sup>[6]</sup>

将新鲜鸭脂用铁锅熬制，过滤去除渣滓，冷却至

50  $^{\circ}$ C，密封避光保存。此时的鸭脂无不良气味。根据参考文献<sup>[17]</sup>测其POV、文献<sup>[18]</sup>测其*p*-AV、文献<sup>[19]</sup>测其AV。

#### 1.3.2 鸭脂氧化样品的制备

将熬制好的鸭脂样品等分成3份，分别倒入培养皿内，于恒温电热鼓风干燥箱内分别在110、120、130  $^{\circ}$ C条件下加速氧化4 h，每小时取样。分析其POV、*p*-AV、AV。

#### 1.3.3 鸭脂气味鉴定方法<sup>[20]</sup>

取鸭脂约20 g于烧杯中，水浴加热至50  $^{\circ}$ C，用玻璃棒搅拌，嗅辨其气味。

#### 1.3.4 香气成分的提取

萃取头的老化：将DVB/CAR/PDMS 75  $\mu$ m萃取头在气相色谱进样口下于300  $^{\circ}$ C老化30 min，以确保脱去其可能吸附的挥发性成分。

顶空固相微萃取：取6 mL样品溶液置于15 mL密封顶空进样瓶中，加入磁力搅转子，70  $^{\circ}$ C恒温水浴中平衡10 min；将已老化的萃取头插入进样瓶中，用手柄将石英纤维头推出，暴露于顶空的气体中，萃取20 min。吸附完毕后，先将石英纤维头收入钢针，然后将萃取头抽出，并立即插入色谱仪进样口，解吸5 min。

#### 1.3.5 色谱条件

色谱柱：DB-WAX（60 m $\times$ 0.25 mm，0.25  $\mu$ m）；进样口温度250  $^{\circ}$ C；不分流；升温程序：起始温度40  $^{\circ}$ C，以3  $^{\circ}$ C/min升至120  $^{\circ}$ C，保持2 min，再以5  $^{\circ}$ C/min升至230  $^{\circ}$ C，保持10 min；载气（He）流速1.0 mL/min。

#### 1.3.6 质谱条件

电子电离源；电子能量70 eV；离子源温度230  $^{\circ}$ C；接口温度250  $^{\circ}$ C；质量扫描范围 $m/z$  35~350。

### 1.4 数据处理

采用G1701 MSD Productivity Chem Station增强型数据分析工作站、NIST 05a Libraries标准谱库自动检索各个样品质谱数据，用面积归一化法进行定量分析，求出各种挥发性香气成分的相对含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同氧化条件对鸭脂氧化效果的影响

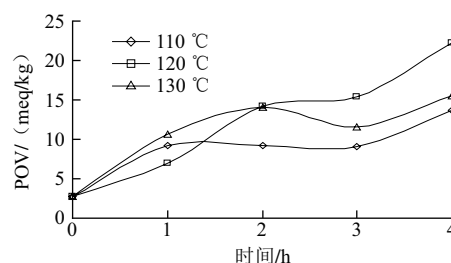


图1 不同氧化温度条件下POV随氧化时间的变化

Fig.1 Changes in POV at different oxidation temperatures

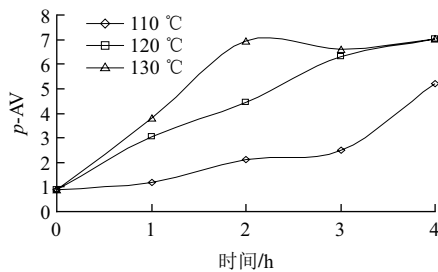


图2 不同氧化温度条件下 $p$ -AV随氧化时间的变化  
Fig.2 Changes in  $p$ -AV at different oxidation temperatures

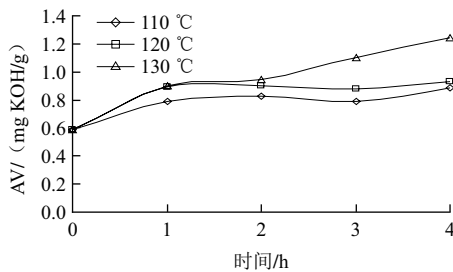


图3 不同氧化温度条件下AV随氧化时间的变化  
Fig.3 Changes in AV at different oxidation temperatures

由图1~3可以看出,随着氧化温度的升高和氧化时间的延长,POV、 $p$ -AV、AV都有所增加。未经氧化的鸭脂POV为2.81 meq/kg、 $p$ -AV为0.88、AV为0.59 mg KOH/g。在130 °C条件下,POV和 $p$ -AV都呈现增-降-增的趋势,这是由于最初氧化阶段,鸭脂氧化产生的氢过氧化物含量逐渐增加,随着氧化程度的加深,ROOH分解速率加快,超过其生成速率,出现下降的趋势。

表1 不同氧化温度和时间条件下鸭脂的气味鉴定  
Table 1 Sensory evaluation of duck fat at different conditions of oxidation temperature and time

| 氧化温度/°C | 氧化时间/h |          |      |          |          |
|---------|--------|----------|------|----------|----------|
|         | 0      | 1        | 2    | 3        | 4        |
| 110     | 清淡脂香   | 稍浓脂香     | 稍浓脂香 | 浓郁脂香     | 浓郁脂香     |
| 120     | 清新脂香   | 清淡脂香     | 稍浓脂香 | 稍浓脂香     | 煎炸脂香     |
| 130     | 稍浓脂香   | 煎炸脂香(稍浓) | 焦油脂味 | 焦油脂味(刺激) | 焦油脂味(刺激) |

结合表1及综合分析,选择氧化温度120 °C,时间4 h,测得其POV为22.30 meq/kg,  $p$ -AV为7.04, AV为0.93 mg KOH/g。

## 2.2 气相色谱-质谱结果

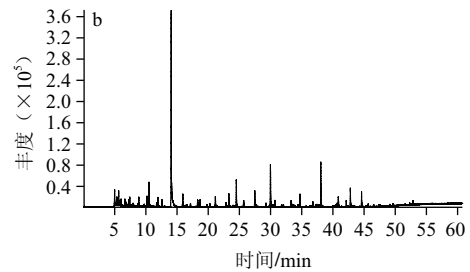
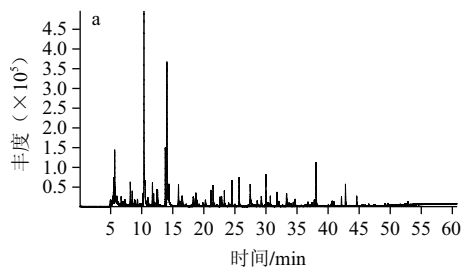


图4 新熬制鸭脂香气成分(a)和经120 °C氧化4 h后鸭脂香气成分(b)的气相色谱-质谱图  
Fig.4 GC-MS chromatography of aroma composition of fat in fresh (a) and oxidized duck at 120 °C for 4 hours (b)

采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术对氧化前后鸭脂挥发性香气成分进行分析,分析谱图见图4,检测结果见表2。

表2 鸭脂氧化前后挥发性香气成分  
Table 2 Volatile aroma components in fresh and oxidized duck fat

| 分类        | 化合物名称   | 相对含量/% |       | 呈味               |
|-----------|---|--------|-------|------------------|
|           |   | 氧化前    | 氧化后   |                  |
| 醛类 (13 种) |   |        |       |                  |
| 1         | 丙醛 propanal                                     | —      | 0.67  | —                |
| 2         | 丁醛 butanal                                      | —      | 0.91  | 醛味               |
| 3         | 壬醛 butanal                                      | 2.62   | —     | 脂香、玫瑰香           |
| 4         | 丙烯醛 2-propenal                                  | —      | 1.02  | 臭味               |
| 5         | 异戊醛 butanal, 3-methyl-                          | 3.41   | 1.12  | 苹果香              |
| 6         | 戊醛 pentanal                                     | —      | 3.10  | 特殊香味             |
| 7         | 己醛 hexanal                                      | 12.5   | 29.40 | 生的油脂和青草气及苹果香味    |
| 8         | 庚醛 heptanal                                     | 1.29   | 1.24  | 清新的油脂味, 果子香味     |
| 9         | (E)-2-己烯醛 2-hexenal, (E)-                       | 0.32   | 0.37  | 绿叶和水果清香          |
| 10        | (E)-2-庚烯醛 2-heptenal, (E)-                      | 1.95   | 3.57  | 油脂香、青香、果香        |
| 11        | (E,E)-2,4-庚二烯醛 2,4-heptadienal, (E,E)-          | 0.40   | 0.30  | 青草、脂肪、水果香        |
| 12        | (E,E)-2,4-癸二烯醛 2,4-decadienal, (E,E)-           | 0.42   | 0.59  | 强烈的鸡香味和脂肪味, 土豆清香 |
| 13        | (E)-2-辛烯醛 2-octenal, (E)-                       | 0.80   | —     | 脂肪、肉类, 果子香气      |
| 醇类 (6 种)  |   |        |       |                  |
| 14        | 1-己醇 1-hexanol                                  | 2.18   | 1.03  | 水果香              |
| 15        | 1-戊醇 1-pentanol                                 | 1.12   | 1.35  | 温和的特殊气味          |
| 16        | 1-辛醇 1-octanol                                  | 0.27   | —     | 壤香、蘑菇香、霉香        |
| 17        | 1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol                          | —      | 0.40  | 水果香              |
| 18        | 2-环己烯-1-醇 2-cyclohexen-1-ol                     | —      | 0.26  | 绿色嫩叶清香味          |
| 19        | 2-乙基己醇 1-hexanol, 2-ethyl-                      | 0.96   | —     | —                |
| 烃类 (12 种) |   |        |       |                  |
| 20        | 正戊烷 pentane                                     | 0.44   | 0.50  | 微弱的薄荷香味          |
| 21        | 2-甲基戊烷 pentane, 2-methyl-                       | —      | 0.53  | —                |
| 22        | 正己烷 hexane                                      | 1.70   | 1.20  | 微弱的特殊气味          |
| 23        | 环己烷 cyclohexane                                 | —      | 1.15  | 刺激性气味            |
| 24        | 环戊烷 cyclopentane                                | 1.46   | —     | 苯样气味             |
| 25        | 2,2,3,3-四甲基丁烷 butane, 2,2,3,3-tetramethyl-      | —      | 1.94  | —                |
| 26        | 2,4-二甲基庚烷 heptane, 2,4-dimethyl-                | —      | 0.78  | —                |
| 27        | 2,2,4,6,6-五甲基庚烷 heptane, 2,2,4,6,6-pentamethyl- | 0.80   | —     | —                |
| 28        | 正辛烷 octane                                      | —      | 0.67  | —                |
| 29        | 异辛烷 pentane, 2,2,4-trimethyl-                   | 0.44   | —     | —                |
| 30        | 2-甲基-2,4-己二烯 2,4-hexadiene, 2-methyl-           | —      | 0.38  | —                |
| 31        | 十六烷 hexadecane                                  | 0.04   | —     | —                |
| 呋喃类 (2 种) |   |        |       |                  |

续表2

| 分类       | 化合物名称                                     | 相对含量/% |      | 呈味          |
|----------|---|--------|------|-------------|
|          |   | 氧化前    | 氧化后  |             |
| 32       | 2-戊基呋喃 furan, 2-pentyl-                   | 0.54   | 0.40 | 果香、青香、泥土香   |
| 33       | 2,3-二氢呋喃 furan, 2,3-dihydro               | —      | 0.42 | —           |
| 羧酸类 (4种) |   |        |      |             |
| 34       | 乙酸 acetic acid                            | 2.59   | 7.05 | 刺激性气味       |
| 35       | 异丁酸 propanoic acid, 2-methyl-             | 0.47   | 1.56 | —           |
| 36       | 异戊酸 butanoic acid, 3-methyl-              | 3.19   | 6.18 | —           |
| 37       | 己酸 hexanoic acid                          | 1.38   | 2.34 | 油脂气         |
| 其他 (4种)  |   |        |      |             |
| 38       | 3-己酮 3-hexanone                           | —      | 0.15 | 醚香、葡萄和葡萄酒香气 |
| 39       | 3-甲基丁酸己酯 3-methylbutyric acid hexyl ester | —      | 0.22 | 强烈的水果清香气    |
| 40       | 乙酸乙酯 ethyl acetate                        | 1.68   | —    | 水果香         |
| 41       | 磷酸三丁酯 tributyl phosphate                  | 0.58   | 1.52 | —           |

注：—。未检出或不呈味。

由表2可以看出，氧化前的鸭脂共检测出26种挥发性香气成分，其含量占总挥发性物质含量的43.55%；氧化后的鸭脂共检测出32种挥发性香气成分，其含量占总挥发性物质含量的72.32%，种类及含量均有所增加，其中主要挥发性成分是醛类，共11种，相对含量为42.29%，己醛含量最高，为29.40%。不饱和脂肪酸氧化主要形成直链醛，C<sub>3</sub>~C<sub>4</sub>的醛类具有强烈的刺激性风味，C<sub>6</sub>~C<sub>10</sub>的醛类具有清香、油香、脂香味<sup>[21]</sup>，如2,4-癸二烯醛、己醛是亚油酸氧化分解产物<sup>[22]</sup>，具有油脂味、鸡脂味、水果香味，对肉味香精的呈味有很大的贡献。其他的醛类物质如异戊醛、庚醛、(E)-2-己烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛等也具有多种呈味特征，如果子香、油脂香、水果香味等；此外还检测出4种醇类（3.04%）、8种烃类（7.15%）、2种呋喃类（0.82%）、4种羧酸类（17.13%）以及酮类、酯类物质。2-戊基呋喃是亚油酸自动氧化的产物，可能是含脂食品中的重要香味物质<sup>[23]</sup>。醇类、烃类的香气阈值相对比较高，对风味的贡献并不十分重要<sup>[24]</sup>，但有些化合物是形成杂环化合物的重要的中间体，可提高整体风味<sup>[25]</sup>。

3 结 论

本实验通过对鸭脂进行控制氧化，得出在氧化温度120℃、氧化时间4h的条件下，其POV为22.30 meq/kg，p-AV为7.04，AV为0.93 mg KOH/g，风味比较好，具有强烈的脂肪香气以及轻微的油炸气息。

通过顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术对氧化前后鸭脂产生的挥发性香气成分进行分析，其含量及种类均有所增加，共检测出32种呈味化合物，其含量占总

挥发性物质含量的72.32%。其中醛类物质11种，其含量占呈味物质总量的42.29%，己醛含量最高，为29.40%。另外还检测到烃类、呋喃类、醇类、羧酸类等多种呈味化合物。这些都可为以氧化鸭脂为原料进行Maillard反应制备鸭肉香精的技术开发提供参考。

参考文献：

[1] 孙宝国. 中国第三代肉味香精生产技术[J]. 中国食品学报, 2010, 10(5): 1-4.

[2] FARMER L J, PATTERSON R I S. Compounds contributing to meat flavor[J]. Food Chemistry, 1991, 40(2): 201-205.

[3] MOTTRAMD S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.

[4] LIN J, BLANK I. Odorants generated by thermally induced degradation of phospholipids[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(15): 4364-4369.

[5] NEWBERNE P, SMITH R L, DOULL J, et al. GRAS flavoring substances 19[J]. Food Technology, 2000, 54(6): 66-84.

[6] 刘丽微, 白卫东, 赵文红, 等. 猪脂控制氧化及其香气成分GC-MS分析[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(8): 161-165.

[7] 赵文红, 白卫东, 汪巍, 等. 猪肉香精生产中脂肪氧化的应用研究[J]. 中国食品学报, 2009, 9(2): 132-137.

[8] 孙宝国, 文志勇, 梁梦兰, 等. 猪油控制氧化的工艺研究[J]. 中国油脂, 2005, 30(2): 48-51.

[9] 徐永霞, 张若杰, 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.

[10] 彭秋菊, 孙宝国, 梁梦兰, 等. 牛脂氧化制备肉味香精的研究进展[J]. 食品科学, 2005, 26(2): 245-250.

[11] 林庆斌, 孙宝国, 谢建春. 以热反应制备羊肉香精为目的的羊脂控制氧化工艺研究[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 142-146.

[12] 白卫东, 钱敏, 蔡培钿, 等. 脂肪氧化在鸡肉味香精中的应用研究[J]. 中国调味品, 2008, 12(12): 53-56.

[13] 谢建春, 孙宝国, 汤渤. 鸡脂控制氧化-热反应制备鸡肉香精[J]. 精细化工, 2006, 23(2): 141-144.

[14] 靳林溪, 潘翠芳, 王石, 等. “氧化鸡脂-半胱氨酸”反应体系的肉香味物质及其形成机制[J]. 食品科学, 2011, 32(19): 1-6.

[15] 王永丽, 章建浩, 靳国锋, 等. 风干成熟工艺对风鸭脂质分解氧化影响的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(14): 81-86.

[16] 张养东, 王安, 武江利. VA对生长蛋鸭脂质过氧化作用及抗氧化机能的影响[J]. 东北农业大学学报, 2008(11): 66-70.

[17] 赵新淮, 张娜, 王琳. 油脂过氧化值的碘量测定法比较研究[J]. 中国油脂, 2003, 28(4): 60-61.

[18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 24304—2009 动植物油脂: 茴香胺值的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5530—2005 动植物油脂: 酸值和酸度测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

[20] 中华人民共和国国家出入境检验检疫局. SN/T 0801.9—1999 进出口动植物油脂透明度、气味、滋味检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.

[21] 沈晓玲, 李诚. 脂类物质与肉的风味[J]. 肉类研究, 2008, 22(3): 25-28.

[22] DRUMM T D. Changes in the content of lipid autoxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage[J]. Food Chemistry, 1991, 39: 336-343.

[23] SAXBY M J. Food taints and off-flavours[M]. Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1992: 150-201.

[24] VESTERGAARD C S, SCHIVAZAPPA C, VIRGILI R. Lipolysis in dry-cured ham maturation[J]. Meat Science, 2000, 55(1): 1-5.

[25] 孟令军. 荣昌乳猪理化特性及主体风味物质的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.