

# 低温长时间熏制过程中香肠挥发性物质及脂肪氧化变化

李翔<sup>1</sup>, 聂青玉<sup>1</sup>, 赵福奎<sup>1</sup>,  
张宇昊<sup>2</sup>, 刘丹<sup>1</sup>, 许彦<sup>1</sup>

1. 重庆三峡职业学院 农林科技学院, 重庆 万州 404155; 2. 西南大学 食品科学学院, 重庆 400715

**摘要:** 分析低温长时间烟熏过程中香肠的品质变化, 为香肠加工工艺改进和品质提高提供科学依据. 采用气相-离子迁移谱(GC-IMS)技术对不同烟熏时间香肠中挥发性风味化合物进行分析, 并同时考察其 pH 值、丙二醛质量分数、过氧化值(POV)的变化. 结果表明: GC-IMS 能够快速检测出样本的挥发性物质成分, 鉴别出挥发性化合物 36 种, 以醛、酯和萜烯类物质为主; 香肠挥发性物质从熏制开始就有较大变化, 在第 6 d 开始有较丰富的挥发性物质基础; POV 随烟熏时间持续上升, pH 值和丙二醛质量分数均在第 9 d 出现最低值、然后又开始回升. 根据香肠中挥发性物质变化和脂肪氧化规律, 建议将烟熏时间控制在 6~9 d.

**关键词:** 香肠; 气相-离子迁移谱(GC-IMS); 挥发性物质; 主成分分析(PCA); 脂肪氧化

**中图分类号:** S872

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2021)08-0057-08

香肠和腊肉是川渝地区传统的两大腌腊肉制品, 其中香肠制品具有典型的川味特征, 重麻辣, 且经过烟熏工艺, 具有烟熏风味<sup>[1]</sup>. 低温长时间烟熏香肠的加工主要集中在渝东北地区的高海拔山地地区, 如城口、巫溪等地, 由于冬季气温低、时间长, 宜制作腌腊制品, 且山区多有松柏等资源, 以其枝丫结合杂木熏制腊肉和香肠, 烟量大且不起明火, 熏制出的腊肉和香肠香气风味独特, 因而名声在外. 但是, 传统的烟熏工艺没有固定的熏制时间, 由人为的主观经验判别, 熏制时间长达 10 d 甚至月余, 不仅加工周期漫长, 且没必要的熏制还有可能增加卫生安全隐患, 提高脂肪氧化. 因此, 研究烟熏过程中香肠挥发性物质和脂肪氧化的情况, 有助于判别其风味成分的变化和积累程度、且有利于工艺改进和提升食品安全品质.

腌腊制品的风味物质分析及其形成机理已经有较多研究<sup>[2]</sup>, 但大多采用电子鼻或气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术<sup>[3-4]</sup>. 气相色谱-离子迁移谱联用(GC-IMS)是近年来出现的一种新的气相分离和检测技术, 融合了气相色谱突出的分离特点和离子迁移谱反应快速、灵敏度高的优势, 能够对一些挥发性有机化合物进行痕量探测<sup>[5]</sup>. 另外, 由于离子迁移谱检测灵敏度高, 检测条件常温常压, 所以样品通常不需要通过蒸馏、浓缩等富集处理, 达到了样品物质的无损检测, 最真实地检测出样品挥发性成分的组成. 且 GC-IMS

收稿日期: 2021-01-14

基金项目: 重庆市教委科学技术研究项目(KJZD-K201903501); 重庆市高校创新研究群体项目(CXQTP19037); “十三五”国家重点研发计划重点专项(2016YFD0400200).

作者简介: 李翔, 副教授, 主要从事畜产品加工及综合产物利用研究.

数据结果以可视化指纹图谱形式展现,数据处理简单,更方便进行样品间的差异对比,可以作为 GC-MS 技术数据的支撑或补充.近年来,人们越来越多地将这种方法应用于食品风味物质的检测分析<sup>[6-8]</sup>和食品质量的快速鉴别<sup>[9-10]</sup>中.采用 GC-IMS 技术检测腌腊制品的挥发性成分近年来也开始有相关报道<sup>[11-13]</sup>,但目前,尚未见到采用 GC-IMS 技术分析熏制时间对香肠挥发性成分影响的报道.

本研究利用气相色谱-离子迁移谱联用(GC-IMS)技术对低温熏制过程中香肠挥发性风味物质进行检测和分析,同时检测烟熏过程中香肠的 pH 值、丙二醛质量分数、过氧化值的变化,旨在为合理制定低温烟熏香肠的加工工艺提供科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

#### 1.1.1 材料采样及处理

供试材料为鲜肉和香肠,采样于重庆市巫溪县天元乡万春腊肉加工厂.香肠制作工艺为原料肉经修整、腌制、绞碎拌料、灌肠后,在 70 ℃热风干燥 5 h,后入烟熏车间熏制,熏制温度为 15~20 ℃.

鲜肉(记为 CK),经腌制、调配搅拌、灌肠、干制后的样品(记为 0 d),入烟熏车间烟熏并分别在第 3 d, 6 d,9 d 和 12 d 取样.采集的样品真空包装后冷冻保藏,检测前将样品于 25 ℃恒温箱中解冻,然后切成 2×2×2 mm 的颗粒、混合均匀.

#### 1.1.2 试剂

甲醇:色谱纯;三氯乙酸、乙二胺四乙酸二钠、硫代巴比妥酸、三氯甲烷、碘化钾、硫代硫酸钠、石油醚、无水硫酸钠、可溶性淀粉均为分析纯.

#### 1.1.3 主要设备

设备为 FlavourSpec ©风味分析仪:德国 G. A. S; 1260 型高效液相色谱仪:安捷伦科技有限公司; FA2204B 型电子天平:上海海康电子仪器厂; RE-52B 型旋转蒸发仪:上海亚荣生化仪器厂; 科析 4 型恒温水浴锅:金坛市科析仪器有限公司; DHG-9140A 型电热恒温干燥箱:上海博讯实业公司医疗设备厂; 雷磁 pH5-3E 型 pH 计:上海仪电科学仪器股份有限公司;其他为实验室常规仪器设备.

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 GC-IMS 分析

样品处理:取 2g 样品,置于 20 mL 顶空瓶中,60 ℃孵育 15 min 后进样,进样量为 500 μL. 气相-离子迁移谱分析系统条件设置见表 1.

表 1 气相-离子迁移谱分析条件

| 气相-离子迁移谱单元 |                                | 自动顶空进样单元 |                         |
|------------|--------------------------------|----------|-------------------------|
| 分析时间       | 30 min                         | 进样体积     | 500 μL                  |
| 色谱柱类型      | FS-SE-54-CB-1 15 m ID; 0.53 mm | 孵育时间     | 15 min                  |
| 柱温         | 60 ℃                           | 孵育温度     | 60 ℃                    |
| 载气/漂移气     | N <sub>2</sub>                 | 进样针温度    | 65 ℃                    |
| IMS 温度     | 45 ℃                           | 孵化转速     | 500 r·min <sup>-1</sup> |

#### 1.2.2 理化指标测定

pH 值:按照 GB/T9695.5-2008《肉与肉制品 pH 测定》<sup>[14]</sup>的方法测定;丙二醛:按照 GB5009.181-2016《食品中丙二醛的测定》<sup>[15]</sup>中高效液相色谱法测定;过氧化值:按照 GB5009.227-2016《食品中过氧化值的测定》<sup>[16]</sup>中滴定法滴定.

### 1.3 数据分析

GC-IMS 数据采用 FlavourSpec<sup>®</sup> 风味分析仪的 Reporter 插件形成三维谱图, 然后降维形成二维谱图, 并进行挥发性物质差异性分析; 利用 Gallery Plot 插件进行挥发性物质指纹图谱分析; 利用内置的 Dynamic PCA 进行主成分分析; 利用 Library Search 进行定性分析.

理化指标数据每个指标测定 3 次, 结果表示为  $\bar{X} \pm \text{SD}$  的形式.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同熏制时间的香肠 GC-IMS 图谱分析

图 1 为 Reporter 插件制作的二维俯视图, 背景为蓝色, 横坐标 10 处红色竖线为 RIP 峰(反应离子峰, 经归一化处理), RIP 峰两侧的每一个点代表一种挥发性有机物. 根据峰(色点)的有无或者颜色深浅能够直观表现不同样品之间的组分及浓度差异, 白色表示浓度较低, 红色表示浓度较高. 由图 1 可以看出, 不同烟熏时间腊肉和香肠挥发性有机物能够被 GC-IMS 很好地分离, 且可以直观地观察到不同样品中的挥发性物质种类及浓度差异. 相对于鲜肉, 经处理后的香肠样品中大部分风味物质浓度增加, 个别物质浓度有所降低甚至消失.

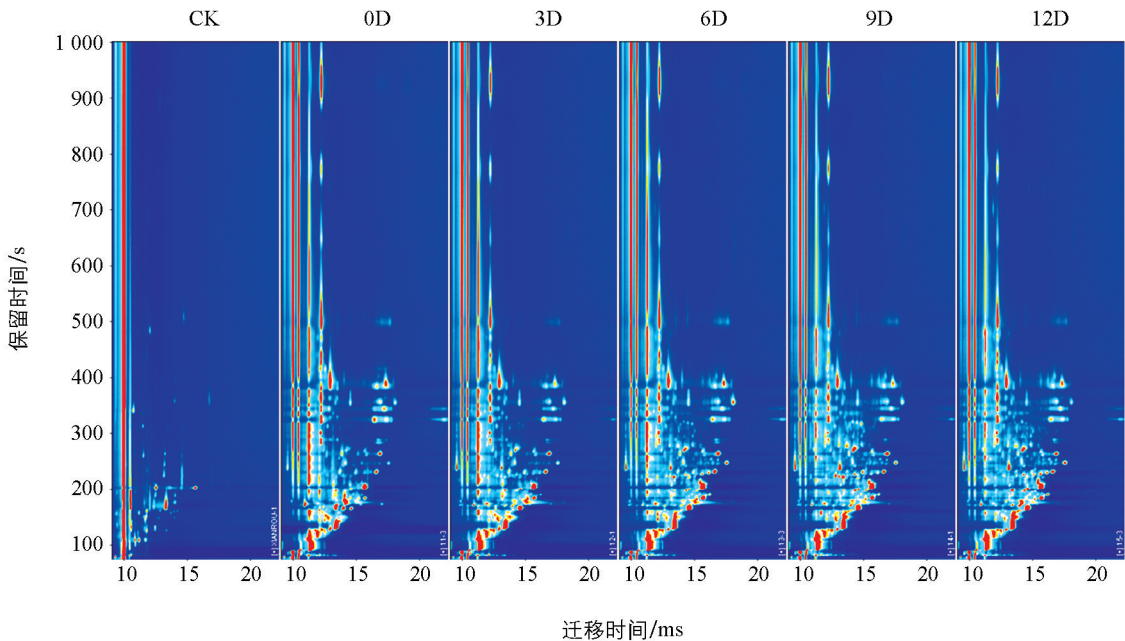


图 1 不同烟熏时间的香肠气相-离子迁移谱图

### 2.2 样品中挥发性有机物的定性鉴别

通过 GC-IMS 技术, 香肠中被检测出挥发性成分 58 种, 其定性分析由 NIST 谱库的 RI 和 IMS 数据库鉴别出来列于表 2 中. 共鉴别出挥发性风味成分 36 种, 其中 32 种单体, 4 种二聚体. 单体物质中包含醇类 3 种、醛类 6 种、酮类 2 种、酸类 2 种、酯类 11 种、酚类 1 种、萜烯类 6 种、杂环类 1 种. 对照鲜肉样品中检出的 2, 3-丁二酮成分(57 号特征峰)在香肠样品中未检出, 说明制作香肠的过程中该物质转化成了其他成分.

### 2.3 样品挥发性物质的 Gallery Plot 指纹谱图

由图 2 可以看出, 不同熏制时间香肠风味物质呈现出较为显著的变化, 且采用 Gallery Plot 指纹图谱呈现变化非常直观. 图 2 中 1-22 号是香肠中被 GC-IMS 检测出但未被鉴别出的物质. 从已鉴别出的 36 种挥发性物质来看, 羰基化合物、酯类物质和萜烯类物质是香肠挥发性物质的主体成分.

表 2 香肠中挥发性组分定性结果

| 类别  | 特征峰编号 | 化合物名称         | 化学物质登录号(CAS 号) | 保留指数   | 保留时间/s   | 迁移时间/ms  |
|-----|-------|---------------|----------------|--------|----------|----------|
| 醇类  | 16    | 糠醇            | 98-00-0        | 849.1  | 232.95 9 | 1.371 76 |
|     | 47    | 3-甲基-1-戊醇     | 589-35-5       | 844.9  | 230.845  | 1.617 97 |
|     | 58    | 异丙醇           | 67-63-0        | 455.4  | 110.565  | 1.088 33 |
| 醛类  | 4     | 苯乙醛           | 122-78-1       | 1048.6 | 415.348  | 1.254 91 |
|     | 14    | 5-甲基呋喃醛       | 620-02-0       | 967.9  | 318.078  | 1.485 68 |
|     | 19    | 正己醛(二聚体)      | 66-25-1        | 793.6  | 204.698  | 1.565 86 |
|     | 34    | 异戊醛           | 590-86-3       | 673.1  | 160.224  | 1.164 56 |
|     | 42    | 糠醛            | 98-01-1        | 829.4  | 222.911  | 1.341 4  |
|     | 51    | 2-甲基丁醛        | 96-17-3        | 701.6  | 168.684  | 1.396 34 |
|     | 55    | 正己醛(单体)       | 66-25-1        | 796.2  | 206.001  | 1.255    |
| 酮类  | 27    | 3-羟基-2-丁酮     | 513-86-0       | 701    | 168.445  | 1.345 54 |
|     | 31    | 二氢-2(3h)-呋喃酮  | 96-48-0        | 922.9  | 280.516  | 1.309 99 |
| 酸类  | 10    | 3-甲基戊酸        | C105431        | 962.4  | 313.482  | 1.274 8  |
|     | 24    | 丙酸            | C79094         | 699.9  | 168.043  | 1.268 73 |
| 酯类  | 1     | 乙酸香叶酯         | 105-87-3       | 1415.4 | 931.714  | 1.228 73 |
|     | 2     | 乙酸冰片酯         | 76-49-3        | 1304.9 | 776.139  | 1.226 51 |
|     | 11    | 正己酸乙酯(二聚体)    | 123-66-0       | 1007.9 | 357.964  | 1.810 37 |
|     | 15    | 丁酸丙酯(二聚体)     | 105-66-8       | 904.7  | 265.377  | 1.691 21 |
|     | 17    | 2-甲基丁酸乙酯      | 7452-79-1      | 847.3  | 232.072  | 1.664 45 |
|     | 21    | 乙酸异戊酯(二聚体)    | 123-92-2       | 874.2  | 245.787  | 1.759 13 |
|     | 23    | 异丁酸乙酯         | 97-62-1        | 748.3  | 186.312  | 1.568 19 |
|     | 25    | 丙酸乙酯          | 105-37-3       | 698.5  | 167.514  | 1.460 45 |
|     | 30    | 乙酸异丁酯         | 110-19-0       | 763.5  | 192.067  | 1.623 21 |
|     | 32    | 乙酸异戊酯(单体)     | 123-92-2       | 861.3  | 239.219  | 1.315 1  |
|     | 38    | 正己酸乙酯(单体)     | 123-66-0       | 1007.2 | 357.047  | 1.340 45 |
|     | 40    | 丁酸丙酯(单体)      | 105-66-8       | 902.9  | 263.902  | 1.266 53 |
|     | 44    | 乳酸乙酯          | 97-64-3        | 813.1  | 214.622  | 1.549 45 |
|     | 46    | 乙酸乙酯          | C141786        | 570.8  | 136.899  | 1.346 82 |
| 酚类  | 54    | 苯酚            | 108-95-2       | 997.1  | 342.769  | 1.077 85 |
| 萜烯类 | 5     | 柠檬烯           | C138863        | 1029.1 | 387.844  | 1.737 92 |
|     | 6     | $\alpha$ -水芹烯 | C99832         | 1007.4 | 357.285  | 1.692 46 |
|     | 8     | $\beta$ -吡咯烯  | C514965        | 998.2  | 344.382  | 1.681 09 |
|     | 9     | $\beta$ -蒎烯   | C127913        | 977.5  | 326.046  | 1.651 26 |
|     | 36    | $\alpha$ -蒎烯  | C80568         | 930.9  | 287.257  | 1.682 33 |
|     | 49    | 芳樟醇           | 78-70-6        | 1108.3 | 499.381  | 1.767 93 |
| 杂环类 | 59    | 2-乙酰基呋喃       | C1192627       | 915.6  | 274.481  | 1.449 32 |



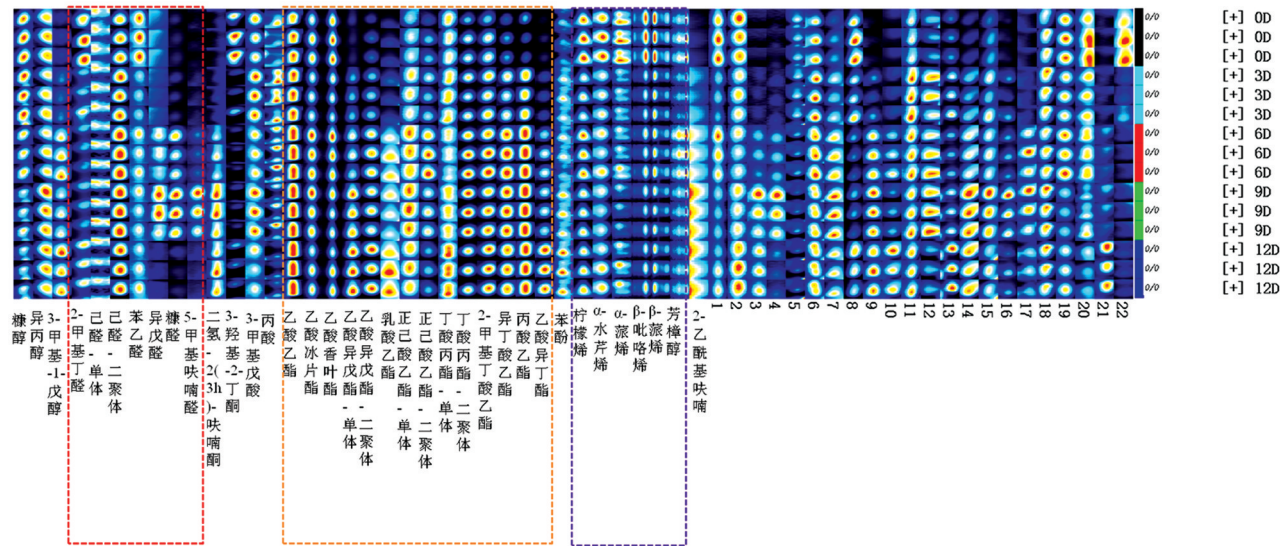


图 2 不同熏制时间的香肠样品 Gallery Plot 指纹谱

醇类物质主要由脂肪降解产生<sup>[17]</sup>,在本试验样品中所含种类较少,且阈值较高,在制品风味中贡献较小。碳基化合物主要由亚油酸和花生四稀酸氧化而来<sup>[18]</sup>,其中呋喃类提供糖香和浓郁的烤香味,是熏烤类肉制品优良的香气来源<sup>[19]</sup>,这类物质在第 6 d 开始出现,并在第 9 d 达到最大值,第 12 d 时又降低。

酯类物质一般是腌腊肉制品中主要的风味贡献成分,碳链小于 10 的酸形成的酯类一般赋予肉制品愉悦的果香或甜香<sup>[20]</sup>,它们通常由羧基和羟基的酯化反应生成。在本试验的香肠样品中,大部分酯类在第 6 d 开始显著产生,随烟熏时间延长浓度增大。而乙酸香叶酯、乙酸冰片酯含量随烟熏时间延长持续下降,这两种可能是香肠中添加的调味料和香辛料提供的,随烟熏时间延长挥发消耗而浓度降低。

萜烯类物质也是香肠的特征型香气物质,主要来源于加入的香辛料,如  $\alpha$ -蒎烯,  $\beta$ -蒎烯都可以由花椒提供,这些萜烯类物质赋予香肠特殊的风味,如芳樟醇就具有百合花、铃兰和柑橘类香气<sup>[21]</sup>。萜烯类化合物在烟熏后浓度显著降低,在 3 d 后变化基本不显著,这可能是由于初始烟熏后,萜烯类物质大量挥发,在后期的低温熏制过程中,萜烯类挥发性成分从香辛料中缓释挥发出来,其产生速度与挥发速度相当所致。

2-乙酰基呋喃在香肠熏制后产生,并随着熏制时间延长浓度逐渐提高。呋喃类化合物被认为是来自于熏烟成分,由纤维素热解产生<sup>[18]</sup>,在多数熏烤类肉制品中被检出<sup>[13,21-22]</sup>,为肉制品提供正面的香气。

酚类为烟熏味的主要贡献成分,主要由发烟的植物性材料中木质素分解产生,包括苯酚、愈创木酚及其衍生物成分,一般有多种酚类物质同时存在<sup>[23-25]</sup>。图 2 中只检测出苯酚成分,含量呈现出增长趋势,这与常海军等<sup>[21]</sup>采用 GC-MS 对重庆城口香肠的检测结果一致,且有可能在 1-22 号成分中也存在其他酚类物质。

## 2.4 不同烟熏时间的香肠挥发性物质的 GC-IMS 主成分分析

主成分分析(PCA)是一种主要的多元统计技术,通过将复杂繁多的数据进行降维,获得几个主成分,根据主成分因子在不同样本中的贡献率来评价其表达数据的可靠性。这种分析能更加直观地表述不同样本间的挥发性成分物质差异。采用 Dynamic PCA 插件程序绘制 3D-PCA 图,获得 3 个主成分,累积贡献率达到了 91.8%。

由于是 3 个主成分,各样本的点在坐标中展示的是空间位置,由图 3 可以看出,香肠的各组样本平行样间重复性很好,且能够被很好地分离,说明不同熏制时间的样本挥发性风味成分间存在较为显著的差异。在香肠样品中,各组间挥发性成分都相距较远,说明随着熏制时间延长,香肠挥发性物质始终在发生显著性变化,变化的总趋势是远离初始状态。

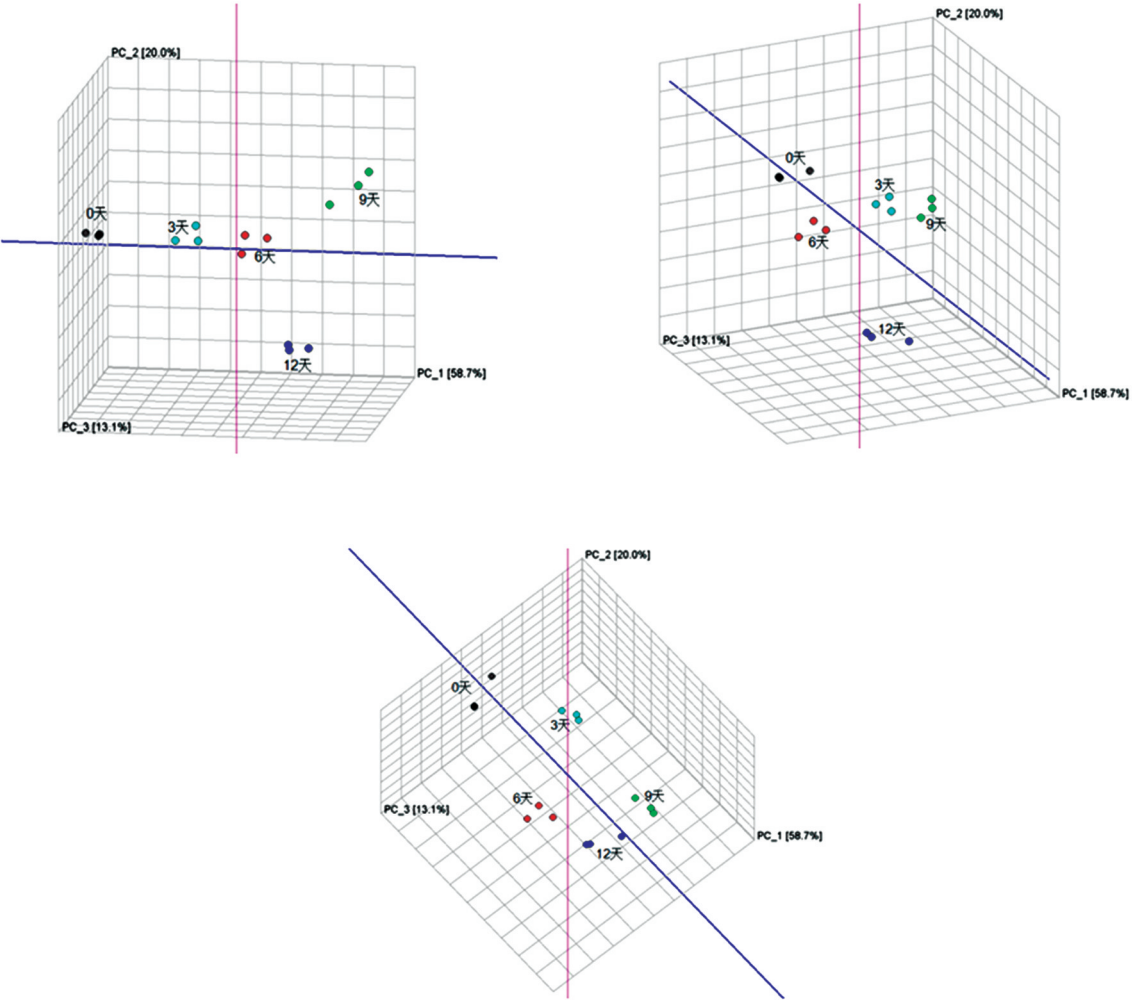


图 3 不同熏制时间的香肠主成分分析结果

2.5 理化指标的变化

香肠中 pH 值的变化如图 4 所示，前期波动性变化但不显著，至第 9 d 显著下降，这可能是由于酚类物质吸附和有机酸积累导致，而后又开始上升，这可能是由于有机酸又进一步和醇类物质产生了酯化反应的结果，也有可能是蛋白质分解产物所致<sup>[26]</sup>。

丙二醛为肉中脂肪氧化的一类产物，常用来表征肉的氧化程度<sup>[27]</sup>，其质量分数与风味成反比，GB10146-2015《食用动物油脂卫生标准》<sup>[28]</sup>中要求其质量分数 $\leq 2.5$  mg/kg。由图 5 可知，随着对鲜肉的预处理和熏制，丙二醛质量分数呈快速上升趋势，在第 9 d 浓度突然下降，然后又呈上升趋势，这可能是由于蛋白质与丙二醛结合成复合物所致<sup>[25]</sup>，也可能与酚类物质的积累导致脂肪氧化速度有所降低有关。

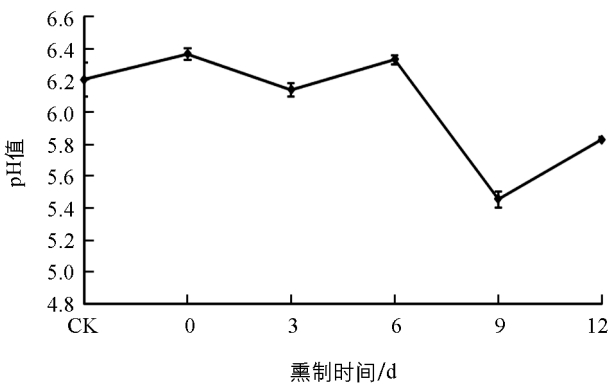


图 4 不同熏制时间的香肠中 pH 值的变化

过氧化值(POV)是表征脂肪氧化中间产物积累量的一个值，经常用来表示脂肪的氧化程度，在动物油脂中其质量分数应 $\leq 2$  mg/g。由图 6 可知，香肠在前处理和熏制初期，POV 值相对于鲜肉显著上升，在第 6 d 以后，增长趋势趋于缓慢，这可能是由于在熏制进行一定时间后，酚类物质的积累和 pH 值的降低，抑制了脂肪氧化的进程，但 POV 值总体还是呈上升趋势。

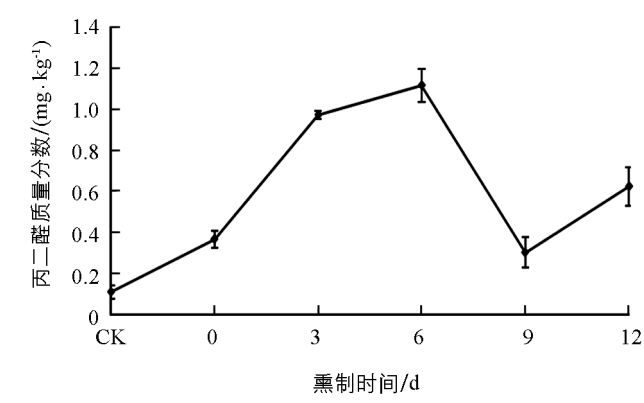


图 5 不同熏制时间的香肠中丙二醛质量分数的变化

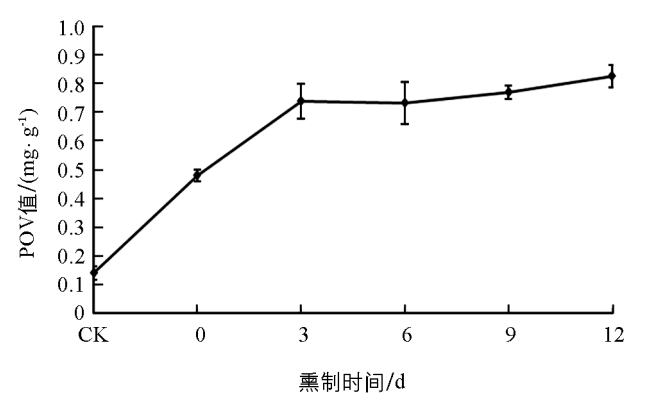


图 6 不同熏制时间的香肠中 POV 值的变化

### 3 结 语

香肠相对于对照样品原料鲜肉挥发性成分变化较大,增加了大量的挥发性成分种类,减少了一种挥发性成分。香肠的主要挥发成分为醛、酯以及萜烯类物质,从第 6 d 开始,香肠的挥发性成分种类和浓度有显著提高,尤其是酯类物质。而由香辛料带来的乙酸香叶酯和乙酸冰片酯呈降低趋势,萜烯类物质在第 3 d 显著下降,而后未出现显著变化。主成分分析说明,不同烟熏时间的样本能够被很好地分离,香肠的挥发性风味随烟熏时间呈显著性变化,总体呈远离初始状态的趋势。

渝东北地区低温烟熏传统工艺制作的香肠在烟熏第 6 d 时开始具备丰富的挥发性物质基础,故从挥发性物质的角度出发,烟熏时间不宜低于 6 d。过氧化值随烟熏时间持续上升,pH 值和丙二醛质量分数均在第 9 d 出现最低值。因此,将烟熏时间选在 6~9 d 较为适宜。

### 参考文献:

[1] 王 炜. 川味香肠的现状与发展 [J]. 肉类工业, 2005(8): 31-34.

[2] 李 林. 改进型城口腊肉品质变化规律与方便产品的开发 [D]. 重庆: 西南大学, 2016.

[3] 刘树萍, 方伟佳. 气味指纹图谱技术在肉制品品质检测中的应用 [J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 147-149, 153.

[4] 刘芝君. 川味腊肉制作中脂肪氧化酶的作用及微胶囊抗氧化研究 [D]. 绵阳: 西南科技大学, 2020.

[5] 郝春莉. 气相离子迁移谱在食品风味分析中的应用 [J]. 化学工程与装备, 2015(10): 204-205, 144.

[6] 肖冬来, 张 迪, 黄小菁, 等. 香菇挥发性风味成分的气相色谱-离子迁移谱分析 [J]. 福建农业学报, 2018, 33(3): 309-312.

[7] 朱 玲, 蔡尽忠, 刘 奔. 气相-离子迁移谱法对三种不同香型白酒的风味分析 [J]. 广东化工, 2020, 47(5): 53-55.

[8] 赵 莹, 任 芳, 李振华, 等. 利用气相离子迁移谱对小麦与小麦粉挥发性物质研究 [J]. 粮油食品科技, 2020, 28(4): 145-151.

[9] 杜文博. 气相离子迁移谱法在羊奶粉和驴肉鉴别分析中的应用 [D]. 保定: 河北农业大学, 2019.

[10] 陈 通, 陈鑫郁, 谷 航, 等. 气相离子迁移谱对山茶油掺假的检测 [J]. 食品科学, 2019, 40(8): 275-279.

[11] 姚文生, 蔡莹暄, 刘登勇, 等. 不同材料熏制鸡腿肉挥发性物质 GC-IMS 指纹图谱分析 [J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(6): 37-45.

[12] 田 星, 张 越, 汤兴宇, 等. 基于电子舌和气相色谱-离子迁移谱分析脂肪添加量对中式香肠风味的影响 [J]. 肉类研究, 2020, 34(5): 33-40.

[13] 袁琴琴. 气相色谱-离子迁移谱分析漂烫和银杏叶提取物对腊肉挥发性物质成分的影响 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(11): 165-172.

[14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 肉与肉制品 pH 测定 GB/T 9695. 5-2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定 GB 5009. 181-2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定 GB 5009. 227-2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[17] 常海军, 周文斌, 王 强. 肉品风味及影响因素研究进展 [J]. 肉类工业, 2010(8): 46-49.

- [18] SHAHIDI F, SAMARANAYAKA A G P, PEGG R B. Cooking of Meat: Maillard Reaction and Browning [M] //Encyclopedia of Meat Sciences. Amsterdam: Elsevier, 2014.
- [19] 赵冰, 任琳, 陈文华, 等. 烟熏工艺对熏肉挥发性风味物质的影响 [J]. 食品科学, 2013, 34(6): 180-187.
- [20] BAINES D A, MLOTKIEWICZ J A. The Chemistry of Meat Flavor. In: Recent Advances in the Chemistry of Meat [M]. London: The Royal Society of Chemistry, 1984.
- [21] 常海军, 周文斌, 朱建飞. 重庆城口香肠挥发性风味成分的分离与鉴定 [J]. 食品科学, 2016, 37(6): 146-152.
- [22] 蒲丹丹, 孙杰, 陈海涛, 等. SDE-GC-MS 结合 GC-O 对比熟湖南腊肉和熟广东腊肉的挥发性风味成分 [J]. 食品科学, 2015, 36(24): 131-136.
- [23] 王洪伟, 索化夷, 张玉, 等. 感官评价和 GC-MS 结合偏最小二乘回归法分析酚类化合物对腊肉烟熏风味的贡献 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(21): 244-249.
- [24] 尚永彪, 吴金凤, 夏杨毅, 等. 农家腊肉冷熏加工过程中挥发性风味物质的变化 [J]. 食品科学, 2009, 30(17): 79-83.
- [25] 李林, 吴倩, 林静, 等. 老腊肉腌制烟熏加工过程中主体特征风味及变化规律 [J]. 食品科学, 2015, 36(16): 175-179.
- [26] 沈清武. 发酵干香肠成熟过程中的菌相变化及发酵剂对产品质量的影响 [D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [27] 巩洋, 孙霞, 杨勇, 等. 低酸度川味香肠加工过程中脂肪降解和氧化 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(12): 152-156, 161.
- [28] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食用动物油脂 GB 10146-2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [29] 刘洋. 微生物发酵剂对四川腊肉特性影响研究 [D]. 成都: 西华大学, 2014.

## Changes of Volatile Substances and Lipid Oxidation in Traditional Chinese Bacon During Long-Time Smoking at Low Temperature

LI Xiang<sup>1</sup>, NIE Qing-yu<sup>1</sup>, ZHAO Fu-kui<sup>1</sup>,  
ZHANG Yu-hao<sup>2</sup>, LIU Dan<sup>1</sup>, XU Yan<sup>1</sup>

1. Faculty of Agricultural and Forestry Science and Technology, Chongqing Three Gorges Vocational College, Wanzhou Chongqing 404155, China;

2. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

**Abstract:** In order to provide a scientific basis for the improvement of sausage quality and its processing technology, the changes of quality indexes of sausage during low-temperature and long-time smoking were investigated. The volatile flavor compounds in sausage smoked for different durations of time were analyzed with gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS), and the changes in its pH, malondialdehyde content and peroxide value (POV) were investigated. The results showed that GC-IMS could quickly detect the volatile components of the samples, and 36 volatile compounds were identified, most of which were aldehydes, esters and terpenes. The volatile substances of sausage changed greatly from the very beginning of smoking, and had a rich base on the 6th day. The POV increased continuously with the smoking time, both pH and malondialdehyde had the lowest value on the 9th day, and then began to rise again. According to the change pattern of volatile substances and lipid oxidation in sausage, it is recommended that the smoking duration should be 6—9 d.

**Key words:** sausage; gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS); volatile substance; principal component analysis (PCA); lipid oxidation