

食用菌粉对猪肉肠冷藏过程中品质及挥发性风味物质的影响

冷坪蔚, 梅议文, 芦慧勤, 秦斐, 张玉, 王立娜, 王琳琳

Effects of Edible Fungi on Pork Intestine Quality and Volatile Flavor Compounds during Cold Storage

LENG Pingwei, MEI Yiwen, LU Huiqin, QIN Fei, ZHANG Yu, WANG Lina, and WANG Linlin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022080094>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

豆浆中挥发性成分顶空固相微萃取条件的优化

Optimization of headspace solid phase microextraction conditions for GC-MS analysis of volatile components in soymilk

食品工业科技. 2018, 39(1): 262-266 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.01.047>

响应面法优化HSSPME-GC-MS法检测猪肉中挥发性风味物质

Optimization of the HS-SPME-GC-MS Technique for Determination of Volatile Flavor Compounds in Pork by Response Surface Methodology

食品工业科技. 2021, 42(6): 252-259 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020050295>

顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析啤特果挥发性风味物质

Analysis of volatile compounds in Piteguo by headspace-solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry

食品工业科技. 2017(20): 266-270 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.20.047>

HS-SPME-GC-MS测定三种类型百香果果实挥发性风味成分

Study on Volatile Flavor Compounds from Three Types of Passion Fruit Using Headspace Solid Phase Micro-extraction Gas Chromatography Mass Spectrometry

食品工业科技. 2021, 42(11): 255-262 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100010>

加州鲈挥发性物质分析方法的建立与分析

Establishment of Analysis Method of Volatile Compounds and Analysis of Flavor Components in *Micropterus salmoides*

食品工业科技. 2020, 41(24): 237-244,297 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020030118>

基于GC-MS探究郫县豆瓣和豆豉对盐煎肉挥发性风味物质的影响

Effects of Pixian Douban and Douchi on the Volatile Flavor Compounds of Fried Pork with Salted Pepper Based on GC-MS

食品工业科技. 2021, 42(13): 274-283 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070199>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

冷坪蔚, 梅议文, 芦慧勤, 等. 食用菌粉对猪肉肠冷藏过程中品质及挥发性风味物质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(13): 356–366. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022080094

LENG Pingwei, MEI Yiwen, LU Huiqin, et al. Effects of Edible Fungi on Pork Intestine Quality and Volatile Flavor Compounds during Cold Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(13): 356–366. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022080094

· 贮运保鲜 ·

食用菌粉对猪肉肠冷藏过程中品质及挥发性风味物质的影响

冷坪蔚¹, 梅议文¹, 芦慧勤¹, 秦 斐¹, 张 玉², 王立娜¹, 王琳琳^{1,*}

(1.西南民族大学食品科学与技术学院, 四川成都 610041;

2.西南大学食品科学学院, 重庆 400700)

摘 要:为探究添加天然食用菌粉对猪肉肠品质及挥发性风味物质的影响。本研究以猪肉肠作为研究对象, 添加 7 种食用菌粉(香菇、杏鲍菇、平菇、姬松茸、猴头菇、鸡油菌)在 4 ℃ 冷藏条件下测定猪肉肠储藏 1、3、5、7、9 d 后品质变化, 并利用气质联用(GC-MS)技术对猪肉肠挥发性风味物质进行测定分析。结果表明: 添加食用菌的肉肠在食用品质方面整体上存在显著差异($P<0.05$), 其中鸡油菌、香菇、姬松茸、猴头菇分别对 pH、保水性、质构、流变影响显著($P<0.05$); 添加食用菌会降低猪肉肠的乳化能力, 且随冷藏时间的延长会逐渐减弱; 随冷藏时间的延长, 添加食用菌都会使猪肉肠的硫代巴比妥酸值(TBARS)呈减小的趋势。醇类、醛类、酮类、酯类占比较大, 也是对冷藏过程中猪肉肠风味影响较大的一部分物质。冷藏第 9 d 时, 空白组检测出的挥发性物质种类少于所有处理组, 猴头菇组检测到的醇类物质最多, 相对含量为 70.69%, 其次为香菇组和杏鲍菇组, 检测到的醇类物质相对含量分别为 66.22%、64.23%; 姬松茸组检测到的酮类物质和醛类物质相对含量最多且空白组最低; 杏鲍菇组检测到的酯类物质相对含量最多。通过各项指标测定, 食用菌有利于丰富猪肉肠的风味以及保质期的延长, 可满足市场需求。

关键词:食用菌, 猪肉肠, 品质特性, 挥发性风味物质, 顶空固相微萃取, 气质联用

中图分类号: TS251.6⁺5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)13-0356-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022080094



本文网刊:

Effects of Edible Fungi on Pork Intestine Quality and Volatile Flavor Compounds during Cold Storage

LENG Pingwei¹, MEI Yiwen¹, LU Huiqin¹, QIN Fei¹, ZHANG Yu², WANG Lina¹, WANG Linlin^{1,*}

(1.College of Food Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China;

2.College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400700, China)

Abstract: To investigate the effects of adding natural mushroom powder on pork sausage quality and volatile flavor compounds, in this study, 7 kinds of edible mushroom powder (*Shiitake mushroom*, *Pleurotus eryngii*, *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus blazei*, *Hericium erinaceus*, and *Chicken oil fungus*) were added into the pork sausages as the research objects and determined the quality change of pork sausages after storage at 4 ℃ for 1, 3, 5, 7 and 9 days, and the volatile flavor substances of pork sausages were determined and analyzed by GC-MS. The results showed that there were significant differences in the edible quality of sausage added with edible fungi ($P<0.05$). Among them, the effects of *Chicken oil fungus*, *Shiitake mushroom*, *Agaricus blazei* and *Hericium erinaceus* on pH, water retention, texture and rheology were significant ($P<0.05$). The emulsifying ability of pork sausage was decreased by adding edible fungi, and it decreased with the extension of cold storage time. Meanwhile, the thiobarbituric acid value (TBARS) of pork sausage decreased with the

收稿日期: 2022-08-10

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金优秀学生培养工程项目(2022NYXXS017); 国家重点研发计划项目(2021YFD1600205)。

作者简介: 冷坪蔚(1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 畜产品加工, E-mail: alengtuan@163.com。

* 通信作者: 王琳琳(1988-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 畜产品加工, E-mail: jiayouwl123@163.com。

addition of edible fungi with the extension of cold storage time. Alcohols, aldehydes, ketones and esters account for the largest proportion, and they were also the most influential substances on pork sausage flavor during cold storage. On the 9th day of cold storage, the types of volatile substances detected in the blank group were less than those in all treatment groups. The alcohol substances detected in the *Hericium erinaceus* were the most, with a relative content of 70.69%, followed by the *Lentinus edodes* and the *Pleurotus eryngii*, with a relative content of 66.22% and 64.23%. The relative content of ketones and aldehydes detected in *Agaricus blazei* was the highest and the blank group was the lowest. The relative content of esters detected in the *Pleurotus eryngii* group was the highest. Through the determination of various indicators, edible fungi can enrich the flavor of pork sausage and extend the shelf life, which can meet the market demand.

Key words: edible fungi; pork sausage; quality characteristics; volatile flavor compounds; headspace solid phase microextraction; GC-MS

猪肉肠是猪肉原料经腌制、斩拌后与调味料等辅料混合灌肠和熟制等工序加工而成的灌肠类制品,不仅风味独特、营养丰富,而且体积小,便于储藏且携带方便,是深受广大消费者喜爱的猪肉制品之一^[1]。然而,在猪肉肠生产加工过程中还存在一些问题,如产品种类少、出品率低、保水性差、弹性差、韧性低及感官品质不佳等。据查阅资料发现,如今多数研究是以发酵肉肠产品或肉肠加工工艺优化以及肉肠包装^[2]等为主,然而向肉肠中加入天然风味物质对其食用品质及风味影响的研究较少,为丰富肉制品复合产品方面研究,加之天然食用菌的来源广泛,营养价值高,安全性强,故选择食用菌为添加物开展研究。

国内外仿真肉素食市场随之兴起,食用菌以其味美鲜香,具有一定纤维性能等特点逐步在仿真肉素食市场得到应用^[3]。赖丹宁等^[4]发现在传统鱼糜配方中加入含量为 5% 的香菇能使得鱼糜凝胶强度、弹性和咀嚼性、感官品质达到最佳效果。现阶段,虽然有相关添加食用菌调节肉制品风味研究,但食用菌种类的选择相对来说比较单一,缺少不同食用菌种类对肉制品品质特性的结果比较。所以,针对这一现状,有必要通过实验,筛选出一种或者多种对肉制品品质特性有利的食用菌来丰富食用菌应用的相关研究。气质联用(GC-MS)技术具有高准确性、高灵敏度、高选择性、高效率、应用范围广的特点,是目前检测食品中挥发性风味物质较为常用的手段之一。在肉制品的应用中,刘登勇等^[5]研究定义了一个新的概念“ROAV”,并利用该概念分析了各种挥发性风味物质对产品风味的作用。

本文以添加不同食用菌粉的猪肉肠作为研究对象,测定冷藏过程中猪肉肠食用品质、乳化特性、脂肪氧化等的变化,并利用 GS-MS 对冷藏过程中猪肉肠挥发性风味物质进行测定分析,以期明确添加不同食用菌粉对猪肉肠品质及挥发性风味物质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

香菇、姬松茸、平菇、杏鲍菇、鸡油菌、猴头菇、猪后腿瘦肉、猪肥膘、肠衣 均由成都洗面桥农户市场提供;亚硝酸盐、复合磷酸盐 食品级,河南万邦实业有限公司;硫代巴比妥酸 上海弘顺生物科技公

司;三氯乙酸、乙二胺四乙酸二钠、三氯甲烷、冰乙酸 天津市大茂化学试剂厂;所有分离用的有机溶剂均为国产分析纯。

80-2 台式电动离心机 国华电器有限公司; MATTHAUS PH-STAR 便携式测定仪 北京布拉德科技有限公司; CHROMA METER CR-400 色差仪 柯尼卡美能达(中国)投资有限公司; V-1000 可见分光光度计 翱艺仪器(上海)有限公司; GCMS-QP2010 气相色谱-质谱联用仪 SHIMADZU(岛津)公司; Supelco 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头 上海楚定分析仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 食用菌粉的制备 将准备好的 6 种干燥食用菌子实体用粉碎机磨碎,过 100 目筛后分别用密封袋分装。将准备好的食用菌粉放在干燥的室温条件下储藏,以供进一步使用。

1.2.2 样品预处理 参照王新颖等^[6]和李韬等^[7]的研究稍作修改,猪瘦肉、肥肉质量比为 40:17,冰水占肉总质量的 25%。按质量分数添加食用盐 2%,复合磷酸盐 0.19%,玉米淀粉 8%,食用菌粉 0.8%。把腌制好的猪肉斩拌后进行灌肠,将制备好的猪肉肠放入 80 $^{\circ}\text{C}$ 的恒温水浴锅中煮制 40 min 至中心温度达到 70 $^{\circ}\text{C}$ 。最后将煮制好的肉肠冷却至室温,装入密封袋后放入 4 $^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中冷藏保存。

1.2.3 测定指标

1.2.3.1 色度 色差仪校准后将 7 种肉肠切成 15 mm $\times$ 25 mm 的薄片,在冷藏第 1、3、5、7、9 d 随机选择肉样切片的 3 个位置进行测量,室温条件下使用 D65 光源,10 $^{\circ}$ 角观察,其测量结果用亮度值 L^* 、红度值 a^* 和黄度值 b^* 表示。

1.2.3.2 pH 将 7 种肉肠分别用 PH-STAR 便携式测定仪对肉样进行 pH 测量。pH 测定仪使用前分别用 pH=4.96 和 pH=7.00 的缓冲溶液对其进行校准。

1.2.3.3 保水性

1.2.3.3.1 干燥损失 将 7 种肉肠取样并切成 5 mm 厚的薄片放入电热鼓风干燥箱中,设定干燥箱温度为 60 $^{\circ}\text{C}$,干燥 20 min 后取出称其质量。按公式(1)计算:

$$\text{干燥损失(\%)} = \frac{(\text{干燥前的切片质量} - \text{干燥后的切片质量}) \times 100}{\text{干燥前的切片质量}}$$

式(1)

1.2.3.3.2 冻融损失 将7种肉肠取5 mm后的薄片称重后放入冷冻室(-18 ℃)冷冻一夜,第二天取出,待解冻后用滤纸擦干表面水分称其质量。按公式(2)计算:

$$\text{冻融损失(\%)} = \frac{(\text{冷冻前的切片质量} - \text{解冻后的切片质量}) \times 100}{\text{冷冻前的切片质量}}$$

式(2)

1.2.3.3.3 蒸煮损失 将7种肉肠用滤纸擦去表面的水分和油脂,称其质量为 m_1 ;再将肉肠放入80 ℃的恒温水浴锅中加热40 min,冷却至室温后用滤纸擦去表面水分和油脂,称其质量为 m_2 。按公式(3)计算:

$$\text{蒸煮损失(\%)} = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m_1}$$

式(3)

1.2.3.4 质构特性 参照王宁宁等^[8]的方法并作适当修改。质构仪的设定参数如下:测定速度、测中速度和目标速度均设为2.0 mm/sec,目标模式为应变,时间为5 s,触发力0.5 N,用P100型号探头。

1.2.3.5 流变特性 参照 Westphalen 等^[9]的方法并做适当修改。取适量生肉糜样品均匀涂布于测试平台上,用硅油密封,采用40 mm的夹具测试。测定参数设置为:狭缝0.5 mm,频率1 Hz,应变0.25%,样品以2 ℃/min的速度从20 ℃升温至85 ℃,记录肉糜的储存模量(G')和损耗模量(G'')随温度升高的变化情况。

1.2.3.6 感官评价 感官小组成员为本课题组的师生10名,年龄区间为20~35岁,5男5女,均有相应的感官评定经历。参照GB/T 22210-2008肉与肉制品感官评定规范^[10]进行感官评价。感官评价标准如表1所示。

1.2.3.7 乳化性及乳化稳定性 参照于泓鹏等^[11-13]的方法。准确称重20 g肉样,将其溶解于100 mL蒸馏水中,置于烧杯中,加入100 mL大豆植物油,10000 r/min乳化均质60 s。所得乳状液体移入15 mL带刻度的9支离心管,1100×g离心5 min,按公式(4)计算乳化能力。准确称取3 g肉样,置于离心管中,

进行低温和高温加热杀菌。加热条件为:低温85 ℃,1 h;再进行高温121.1 ℃,15 min。加热后倾出液体,称重。以液体损失代表乳化稳定性(ES),按公式(5)计算。

$$\text{乳化能力(\%)} = \frac{H_1}{H_2} \times 100$$

式(4)

$$\text{ES(\%)} = \frac{m_1}{m_2} \times 100$$

式(5)

式中: H_1 表示乳化层高度,cm; H_2 表示离心管高度,cm。 m_1 表示加热失水后的样品质量,g; m_2 表示加热前的样品质量,g。

1.2.3.8 TBARS 参照丁玉庭等^[14]等方法。在冰浴条件下向装有样品的离心管中加入10 mL 17.5%三氯乙酸,在2500 r/min匀浆20 s。向滤液中加入1.0 mL 0.02 mol/L的硫代巴比妥酸溶液并混合均匀,沸水浴加热35 min,冷却至室温后,在2000 r/min的条件下离心5 min,最后向上清液中加入1.0 mL三氯甲烷,混匀静置分层。测量波长为532 nm和600 nm的吸光度。参照丁捷等^[15]的方法按公式(6)计算:

$$\text{TBARS(mg MAD/kg)} = 4.65 \times (A_{532} - A_{600})$$

式(6)

1.2.3.9 挥发性风味物质测定 a. 样品前处理:将7种肉肠在冷藏第1、3、5、7、9 d时,分别取3 g肉样于研钵中研磨碎并装入15 mL的顶空瓶中密封,参照张旭等^[16]设置自动进样器条件对样品进行前处理:加热箱为75 ℃,加热45 min,样品抽取20 min,解析5 min。

b. 色谱条件:参照罗静等^[17]关于GC-MS检测罗非鱼片中VFCs的研究对色谱条件进行设定,略作修改。色谱柱:TR1-MS石英毛细管柱(30 m×0.25 mm,0.25 μm)。升温程序:设定起始温度40 ℃,持续2 min,随后以10 ℃/min的速率升高到90 ℃,达到温度后立即以4 ℃/min的速率再次升高温度到200 ℃,达到指定温度后又以15 ℃/min的速率升温到220 ℃,持续2 min。

c. 质谱条件:参照罗静等^[17]的研究对质谱条件进行设定,略作修改。离子源温度设定为240 ℃,电子轰击(EI)离子源,电子能量为70 eV,采集方式为全扫描(Full Scan),质量扫描范围 m/z 30~500。

d. 定性分析:对检测出的化合物进行分析,将得到的数据在仪器的谱库中进行检查与匹配,选择SI与RSI高于800的物质。

e. 定量分析:对总离子流量色谱图采用峰面积

表1 猪肉肠感官评价

Table 1 Sensory evaluation of pork intestines

等级(分)	色泽	香味	口感	切片性能	组织形态
9~10	呈红色,鲜亮,易接受	香气浓郁	富有弹性,味道好	切片坚实,切面平滑	形态完整,无粘液
7~8	呈暗红色,一般,较易接受	香气一般	弹性较好,味道较好	切片坚实,切面稍平滑	形态较完整,无粘液
4~6	呈灰红色,无光泽,较难接受	少许异味	弹性一般,味道一般	切片稍坚实,切面稍平滑	形态较完整,些许粘液
0~3	呈灰黑色或黑色,无光泽,难以接受	严重异味	弹性较差,味道较差	切片不坚实,切面不平滑	形态不完整,有黏液

归一化定量, 得出各组分的相对含量。

1.3 数据处理

本试验的数据采用 SPSS 26.0 进行相关性分析, 用 Duncan 分析法进行水平间分析 ($P < 0.01$ 时为极显著差异, $P < 0.05$ 时为显著差异), 均用 OriginPro 2018 作图。每个试验重复测定 3 次取平均值。

2 结果与分析

2.1 添加不同食用菌对猪肉肠色度的影响

由图 1(A)可知, 空白组的 L^* 值随冷藏天数的延长逐渐减小; 姬松茸组和猴头菇组的 L^* 值随冷藏天

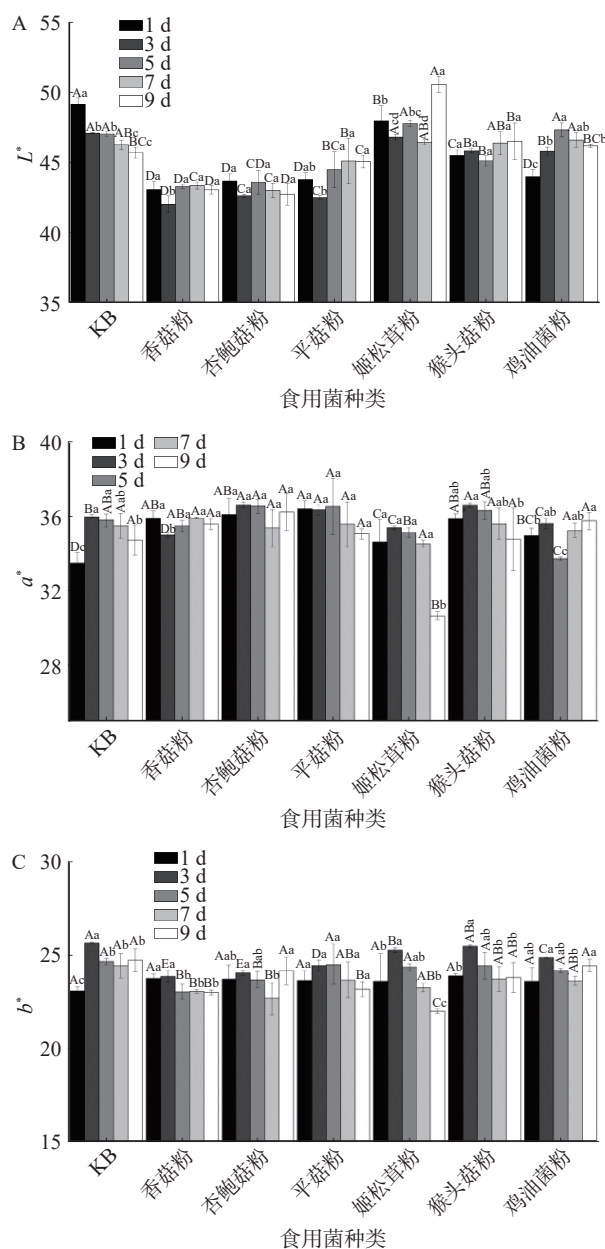


图 1 添加不同食用菌对猪肉肠冷藏期间色度的影响

Fig.1 Effect of different edible fungi on chromaticity of pork sausage during cold storage

注: KB 为不加食用菌的空白组; 不同小写字母表示同一处理组不同冷藏时间差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示不同处理组同一冷藏时间差异显著 ($P < 0.05$); 图 2、图 4、图 5、表 2~表 4 同。

数的延长逐渐增大; 平菇组的 L^* 值先下降后升高, 鸡油菌组的 L^* 值先升高后下降。同时空白组和姬松茸组的 L^* 值显著高于其他组 ($P < 0.05$)。如图 1(B)所示, 空白组、姬松茸组和猴头菇组的 a^* 值先升高后下降; 平菇组的 a^* 值逐渐减小; 鸡油菌组的 a^* 值先下降后上升, 导致 L^* 值和 a^* 值出现上述变化的原因可能与食用菌粉本身的颜色有一定关系, 同时 a^* 值的变化与肉制品的氧化程度有关。由图 1(C)可知, 空白组、平菇组、姬松茸组和猴头菇组的 b^* 值先升高后下降; 杏鲍菇组和鸡油菌组的 b^* 值先升高后下降, 再升高。与 a^* 值相反, 冷藏期间 b^* 值的下降, 表明氧化程度有所降低^[18], 说明香菇组、平菇组和姬松茸组更有利于猪肉肠的冷藏保存, 同时香菇组和姬松茸组在第 9 d 的 b^* 值与该两组第 1 d 的 b^* 值有显著差异 ($P < 0.05$)。

2.2 添加不同食用菌对猪肉肠 pH 的影响

如图 2 所示, 在冷藏第 9 d 时, 各组 pH 相较冷藏第 1 d 分别下降 0、0.04、0.04、-0.07、0.07、0.15、0.08, 除平菇外, 其他各组猪肉肠随冷藏天数的延长其 pH 逐渐下降, 分析其原因可能是冷藏过程中微生物引起的酸败导致猪肉肠的 pH 降低。处理组与空白组进行组间比较时, 各组的 pH 均出现不同程度提高, 且香菇组和鸡油菌组显著高于空白组 ($P < 0.05$), 原因可能是食用菌的添加增加了碱性氨基酸的含量^[19], 这与 Choe 等^[20]在猪肉乳化肠中添加食用菌对产品 pH 影响的结果相一致。

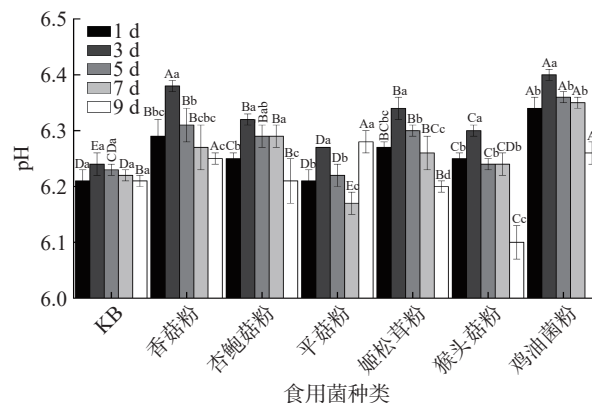


图 2 添加不同食用菌对猪肉肠冷藏期间 pH 的影响

Fig.2 Effect of different edible fungi on pH value of pork intestine during cold storage

2.3 添加不同食用菌对猪肉肠保水性的影响

由表 2 可知, 在冻融损失中, 空白组的冻融损失总体较小, 低于其他 6 组; 处理组的第 9 d 与第 1 d 相比, 分别下降 1.42%、0.89%、0.78%、0.40%、0.46%、0.44%。在干燥损失中, 整体来看, 随着冷藏天数的增加, 猪肉肠的失水率越来越高, 原因可能是在冷藏过程中, 微生物的作用使肉肠中自由水含量降低有关, 冷藏期间肉肠 pH 不断降低, 蛋白质结合水的能力不断下降, 从而导致水分流失^[21]。由表 2 可知, 在测量蒸煮损失的第 1 d 时, 香菇组、杏鲍菇

组、平菇组、猴头菇组显著低于空白组,其蒸煮损失率分别为 1.90%、1.54%、3.27%、3.65% ($P<0.05$),这可能与食用菌中膳食纤维的吸油性和水合作用有关^[21]。

表 2 添加不同食用菌对猪肉肠冷藏过程中保水性的影响
Table 2 Effects of different edible fungi on water holding capacity of pork sausage during cold storage

组别	冷藏天数(d)	冻融损失(%)	干燥损失(%)	蒸煮损失(%)
空白组	1	1.11±0.12 ^{Ea}	5.97±1.71 ^{Ac}	6.61±1.23 ^{BCa}
	3	1.40±0.31 ^{Ba}	18.22±0.37 ^{Aa}	5.90±3.14 ^{Aa}
	5	1.33±0.34 ^{Aa}	11.81±2.60 ^{Ab}	1.19±0.30 ^{Db}
	7	1.23±0.23 ^{Aa}	11.52±2.06 ^{Ab}	5.05±0.41 ^{BCab}
	9	1.03±0.24 ^{Aa}	9.06±1.36 ^{Abc}	2.75±0.13 ^{Bab}
香菇组	1	2.77±0.14 ^{Aa}	6.93±0.92 ^{Ab}	1.90±0.09 ^{Da}
	3	2.02±0.56 ^{Ab}	11.88±0.47 ^{BCa}	5.63±2.58 ^{Aa}
	5	1.81±0.29 ^{Ab}	8.61±0.39 ^{Bb}	2.31±2.02 ^{CDa}
	7	1.64±0.43 ^{Ab}	14.15±2.04 ^{Aa}	2.80±0.66 ^{Da}
	9	1.35±0.18 ^{Ab}	8.00±2.55 ^{Ab}	5.69±0.23 ^{ABa}
杏鲍菇组	1	2.09±0.25 ^{Ba}	6.61±2.66 ^{Ab}	1.54±0.12 ^{Db}
	3	1.85±0.20 ^{ABab}	11.51±0.95 ^{BCa}	1.18±0.54 ^{Bb}
	5	1.71±0.15 ^{Aab}	8.47±0.99 ^{Bab}	8.04±0.65 ^{Aa}
	7	1.59±0.69 ^{Aab}	11.24±0.36 ^{Aa}	1.63±0.48 ^{Db}
	9	1.20±0.12 ^{Ab}	8.81±2.14 ^{Aab}	1.59±0.04 ^{Bb}
平菇组	1	2.00±0.32 ^{BCa}	7.38±0.83 ^{Ac}	3.27±0.77 ^{CDa}
	3	1.74±0.12 ^{ABab}	12.39±0.42 ^{Ba}	2.09±1.28 ^{ABa}
	5	1.63±0.32 ^{Aab}	8.73±1.03 ^{Bbc}	4.00±0.15 ^{BCDa}
	7	1.62±0.41 ^{Aab}	11.28±0.41 ^{Aab}	3.48±0.61 ^{CDa}
	9	1.22±0.17 ^{Ab}	10.20±3.82 ^{Aabc}	3.71±0.63 ^{ABa}
姬松茸组	1	1.52±0.31 ^{DEa}	7.41±1.13 ^{Ab}	12.04±0.02 ^{Aa}
	3	1.48±0.08 ^{ABa}	12.15±1.25 ^{Ba}	2.49±0.62 ^{ABc}
	5	1.47±0.49 ^{Aa}	8.68±0.63 ^{Bb}	5.41±0.20 ^{ABCb}
	7	1.44±0.40 ^{Aa}	12.11±1.74 ^{Aa}	5.45±1.09 ^{BCb}
	9	1.12±0.06 ^{Aa}	8.17±1.41 ^{Ab}	6.40±0.50 ^{ABb}
猴头菇组	1	1.74±0.07 ^{BCDa}	8.56±0.88 ^{Ab}	3.65±1.54 ^{CDa}
	3	1.53±0.21 ^{ABa}	11.10±0.96 ^{BCab}	2.89±0.18 ^{ABa}
	5	1.50±0.18 ^{Aa}	8.63±1.01 ^{Bb}	2.41±2.60 ^{CDa}
	7	1.49±0.56 ^{Aa}	12.55±1.74 ^{Aa}	10.21±1.38 ^{Aa}
	9	1.28±0.21 ^{Aa}	9.24±1.85 ^{Ab}	9.18±5.70 ^{Aa}
鸡油菌组	1	1.60±0.31 ^{CDa}	8.00±1.95 ^{Ab}	7.50±3.07 ^{Ba}
	3	1.55±0.37 ^{ABa}	10.53±0.70 ^{Cab}	2.03±0.43 ^{ABb}
	5	1.47±0.41 ^{Aa}	9.35±0.20 ^{Bb}	5.79±0.24 ^{ABab}
	7	1.46±0.35 ^{Aa}	12.95±2.16 ^{Aa}	5.73±0.93 ^{Bab}
	9	1.16±0.12 ^{Aa}	7.56±1.90 ^{Ab}	5.55±0.12 ^{ABab}

2.4 添加不同食用菌对猪肉肠质构特性的影响

肉糜制品的质构特性与其本身所含有的蛋白质、脂肪和水分有密切的关系^[22],能较好反映蛋白质形成凝胶的能力,尤其硬度和弹性 2 个指标是衡量肉糜凝胶能力的重要指标^[23]。由表 3 可知,处理组在冷藏 1、3、5、7、9 d 的过程中,硬度、弹性、内聚性、黏性和咀嚼性这五个指标的变化差异不明显,但相对于空白组来说,有一定的影响;在硬度指标中,空白组呈现先升高后下降的趋势,而处理组则基本稳定,冷藏第 9 d 时,空白组的硬度显著低于处理组 ($P<0.05$),姬松茸组的硬度显著高于其他各组 ($P<0.05$),说明添加食用菌可能会有利于猪肉肠硬度的

保持,姬松茸组效果更好;从组间来看,在黏性指标中,相比空白组,香菇组、杏鲍菇组、姬松茸组、猴头菇组和鸡油菌组均会增加猪肉肠的黏性 ($P<0.05$),其中鸡油菌组在冷藏第 7 d 时,其黏性指数达到 930.09 N,而冷藏第 1 d 的平菇组猪肉肠的黏性显著低于空白组 ($P<0.05$);在弹性、内聚性指标中,各组的差异不显著 ($P>0.05$);在咀嚼性指标中,相比空白组,平菇组和猴头菇组会显著降低猪肉肠的咀嚼性 ($P<0.05$),可能原因是这两组样品在前处理过程中肉纤维结构被破坏得更明显。综上,添加食用菌对猪肉肠质构有一定的影响,主要表现在硬度这一指标。

2.5 添加不同食用菌对猪肉肠流变特性的影响

G'值可衡量蛋白质的凝胶能力,G'值越高意味着凝胶能力越强^[24]。如图 3 所示,在同一时间点,各组 G'值变化曲线相似,总体呈现先缓慢降低到快速上升的趋势。在 70 °C 以前,G'值的缓慢下降可能是因为肌原纤维蛋白出现溶解,受热过程中发生折叠^[25];在 70~85 °C 阶段,G'值快速升高的原因可能是温度升高导致肌原蛋白分子构象改变,活性基团暴露,实现交联,形成具有弹性且不可逆的三维凝胶结构^[26]。冷藏第 5 d 时 G'值达到最高,在该时间点各组最终 G'值分别为 39744.51、37245.08、57832.88、34860.33、46344.17、49990.55、35273.00 Pa;随冷藏天数的延长,各组样品的 G'值呈先升高后下降的变化趋势,第 9 d 时处理组的 G'值基本都低于空白组,说明添加食用菌对猪肉肠冷藏期间的 G'值有减小的作用,会降低样品的凝胶能力。G'值在整个升温过程中始终大于 G''值,说明肉糜体系的黏弹性随温度的升高而逐渐下降,但依然维持着弱凝胶结构^[27]。

2.6 添加不同食用菌对猪肉肠感官品质的影响

感官评价是衡量食品风味的重要指标之一。本试验通过感官评分发现(表 4),在猪肉肠的冷藏过程中,风味会随时间延长逐渐变差,表现为切面颜色逐渐变暗、无光泽,口感下降,有些许异味。在冷藏第 9 d 时,香味评分最高的组为空白组、平菇组、姬松茸组和猴头菇组;口感评分最高的组为香菇组;切片性能评分最高的组为香菇组;组织形态评分最高的组为杏鲍菇组。其中,平菇组与鸡油菌组肉肠切面均随冷藏时间延长逐渐变不平滑,且切片的组织形态渐渐变不完整,并伴有粘液的产生;各组感官评价结果良好,无显著差异 ($P>0.05$)。

2.7 添加不同食用菌对猪肉肠乳化特性的影响

乳化稳定性是指乳化液保持稳定状态并且不产生两相分层不稳定的现象的特性,它可反映肉在加工过程中的持水能力及保留脂肪的能力^[28-29]。由图 4(A)可知,冷藏第 1 d 时,空白组的乳化能力最强,随冷藏时间的延长,乳化能力逐渐减弱;各组猪肉肠的乳化能力也随冷藏时间的延长而逐渐减弱,但在整个冷藏过程中空白组的乳化能力始终高于处理组 ($P<0.05$),可能原因是食用菌中膳食纤维的吸油性

表 3 添加不同食用菌对猪肉肠冷藏期间质构的影响
Table 3 Effects of different edible fungi on texture of pork sausage during cold storage

组别	冷藏天数(d)	硬度(g)	弹性(mm)	内聚性(N·s)	黏性(N)	咀嚼性(mJ)
空白组	1	936.48±91.91 ^{BCbc}	0.77±0.06 ^{Ba}	0.62±0.08 ^{Bab}	585.51±93.51 ^{Cb}	451.27±100.48 ^{CDb}
	3	1238.30±112.98 ^{ABa}	0.79±0.02 ^{ABa}	0.68±0.05 ^{ABab}	838.20±31.41 ^{Aa}	663.31±32.97 ^{Aa}
	5	1057.96±46.64 ^{BCb}	0.79±0.09 ^{Aa}	0.59±0.06 ^{Ab}	626.69±86.50 ^{BCb}	486.00±113.05 ^{Bb}
	7	824.49±116.58 ^{Dc}	0.85±0.09 ^{ABa}	0.69±0.06 ^{Aab}	570.98±89.01 ^{Cb}	482.67±29.08 ^{Bb}
	9	869.98±40.49 ^{Ebc}	0.84±0.05 ^{Aa}	0.72±0.02 ^{Aa}	648.47±16.82 ^{ABb}	546.85±29.43 ^{ABab}
香菇组	1	942.35±99.78 ^{BCb}	0.83±0.02 ^{ABa}	0.69±0.04 ^{ABa}	645.87±73.61 ^{BCa}	538.38±73.35 ^{BCa}
	3	1008.91±48.45 ^{Cb}	0.84±0.03 ^{Aa}	0.75±0.04 ^{Aa}	753.14±60.12 ^{ABa}	632.43±71.06 ^{Aa}
	5	1033.69±109.15 ^{BCb}	0.87±0.09 ^{Aa}	0.69±0.11 ^{Aa}	716.09±165.22 ^{BCa}	632.86±201.44 ^{ABa}
	7	1203.94±66.26 ^{Ba}	0.79±0.04 ^{ABa}	0.67±0.03 ^{Aa}	800.93±20.94 ^{ABa}	632.61±15.78 ^{Ba}
	9	1060.11±88.22 ^{CDab}	0.80±0.03 ^{ABa}	0.65±0.09 ^{ABa}	682.75±79.60 ^{ABa}	547.19±83.24 ^{ABa}
杏鲍菇组	1	1171.17±127.46 ^{Aa}	0.88±0.02 ^{Aa}	0.71±0.04 ^{Aa}	832.69±55.98 ^{Aa}	729.74±47.73 ^{Aa}
	3	1142.72±70.70 ^{BCa}	0.82±0.01 ^{ABa}	0.67±0.05 ^{ABa}	767.46±26.37 ^{ABa}	630.63±29.16 ^{ABab}
	5	1057.13±31.80 ^{BCa}	0.83±0.01 ^{Aa}	0.72±0.02 ^{Aa}	759.32±23.02 ^{ABa}	628.37±12.72 ^{ABab}
	7	1098.87±93.17 ^{BCa}	0.85±0.04 ^{ABa}	0.67±0.11 ^{Aa}	744.68±183.46 ^{BCa}	635.55±184.48 ^{Bab}
	9	1201.92±31.41 ^{Ba}	0.74±0.08 ^{Bb}	0.56±0.01 ^{Bb}	670.49±33.41 ^{ABa}	496.74±49.40 ^{ABb}
平菇组	1	596.33±78.21 ^{Dc}	0.80±0.06 ^{Ba}	0.74±0.03 ^{Aa}	440.86±36.74 ^{Db}	354.80±45.94 ^{Db}
	3	1036.79±73.93 ^{Cab}	0.78±0.02 ^{ABa}	0.66±0.05 ^{ABa}	690.20±92.96 ^{ABa}	540.09±86.74 ^{Aa}
	5	1139.08±12.56 ^{ABa}	0.79±0.05 ^{Aa}	0.58±0.09 ^{Aa}	661.72±98.37 ^{BCa}	525.77±95.08 ^{Ba}
	7	933.82±94.74 ^{CDb}	0.77±0.06 ^{Ba}	0.64±0.02 ^{Aa}	597.39±57.30 ^{Ca}	459.25±74.77 ^{Bab}
	9	950.89±33.95 ^{DEb}	0.78±0.03 ^{ABa}	0.64±0.09 ^{ABa}	611.57±108.37 ^{Ba}	475.16±68.78 ^{Bab}
姬松茸组	1	1032.23±92.37 ^{ABc}	0.80±0.04 ^{Ba}	0.69±0.00 ^{ABa}	709.92±63.69 ^{Bbc}	569.45±75.04 ^{ABab}
	3	1241.00±91.42 ^{ABab}	0.80±0.05 ^{ABa}	0.67±0.05 ^{ABab}	831.75±124.38 ^{Aab}	671.38±132.94 ^{Aab}
	5	1237.32±113.44 ^{Aab}	0.81±0.01 ^{Aa}	0.72±0.06 ^{Aa}	891.84±57.32 ^{Aa}	720.11±54.90 ^{Aa}
	7	1060.33±137.70 ^{BCbc}	0.83±0.02 ^{ABa}	0.60±0.02 ^{Abc}	638.50±99.53 ^{BCc}	532.13±77.25 ^{Bb}
	9	1330.84±89.23 ^{Aa}	0.77±0.04 ^{ABa}	0.58±0.04 ^{Bc}	774.39±102.73 ^{Aabc}	601.62±106.80 ^{Aab}
猴头菇组	1	941.45±68.04 ^{BCc}	0.81±0.03 ^{Bab}	0.69±0.04 ^{ABa}	651.69±25.02 ^{BCab}	525.60±4.17 ^{BCa}
	3	1135.40±42.42 ^{BCa}	0.79±0.02 ^{ABb}	0.63±0.05 ^{Bab}	712.39±74.99 ^{ABa}	562.71±68.74 ^{Aa}
	5	1033.43±56.19 ^{BCbc}	0.88±0.05 ^{Aa}	0.62±0.05 ^{Aab}	643.50±30.32 ^{BCab}	566.71±23.36 ^{ABa}
	7	957.21±48.76 ^{CDbc}	0.81±0.02 ^{ABab}	0.66±0.04 ^{Aab}	626.35±11.92 ^{BCb}	505.34±22.03 ^{Ba}
	9	1051.96±29.00 ^{CDab}	0.70±0.07 ^{Bc}	0.57±0.01 ^{Bc}	603.18±30.86 ^{Bb}	422.02±36.55 ^{Bb}
鸡油菌组	1	834.31±73.07 ^{Cc}	0.82±0.01 ^{ABab}	0.68±0.02 ^{ABa}	570.13±35.71 ^{Cd}	465.56±29.83 ^{BCDc}
	3	1286.62±59.18 ^{Ab}	0.77±0.05 ^{Bab}	0.62±0.02 ^{Bab}	797.24±22.94 ^{ABb}	618.05±48.19 ^{Ab}
	5	937.64±122.17 ^{Cc}	0.86±0.09 ^{Aa}	0.61±0.08 ^{Aab}	566.78±34.28 ^{Cd}	488.61±63.58 ^{Bc}
	7	1436.67±63.37 ^{Aa}	0.89±0.07 ^{Aa}	0.65±0.03 ^{Aab}	930.09±75.35 ^{Aa}	829.76±127.76 ^{Aa}
	9	1145.52±77.39 ^{BCb}	0.73±0.04 ^{Bb}	0.57±0.03 ^{Bb}	656.62±28.79 ^{ABc}	479.55±37.48 ^{ABc}

和水合作用^[21]导致处理组的乳化能力下降。由图 4(B)可知,冷藏第 1 d 时,鸡油菌组的乳化稳定性最强,其次为空白组和香菇组;冷藏第 9 d 时,空白组的稳定性比处理组更好。随冷藏时间的延长,各组具有相似的变化曲线,乳化稳定性逐渐减弱,各组之间无显著差异($P>0.05$),但空白组的下降趋势较处理组更平缓,说明添加食用菌会加快改变猪肉肠的稳定性。

2.8 添加不同食用菌对猪肉肠 TBARS 值的影响

TBARS 值可反映脂肪氧化的最终程度,当 TBA>0.5 mg MAD/kg 时,可闻到酸败气味;当 TBA>3.0 mg MAD/kg 时,可判定肉制品已经腐败变质^[30]。由图 5 可知,各组别 TBA 值的变化趋势均呈先上升后下降又升高再下降的趋势。而空白组的脂质氧化显著高于处理组($P<0.05$),从 1~9 d 其 TBA 值分别为 0.25、0.33、0.13、0.27、0.13。试验结果说明食用菌粉可有效降低猪肉肠的脂质氧化,这可能与食用菌中的多酚和黄酮类化合物等天然抗氧化成分有关,其

可有效清除自由基以降低食物氧化的风险^[31];在冷藏第 9 d 时,各处理组的 TBA 值与空白组比较分别下降 50%、35.71%、21.43%、21.42%、14.29%、7.14%。

2.9 添加不同食用菌对猪肉肠 VFCs 的影响

由表 5 可知,第 1 d 空白组一共检测出 28 种挥发性物质,其中醛类、醇类各 6 种,烯烃、酯类各 3 种,烷烃、酚类、酸类、酮类和芳香类化合物各 2 种;香菇组、杏鲍菇组、平菇组、姬松茸组、猴头菇组和鸡油菌组分别检测出 22、22、21、21、20、18 种挥发性物质。从不同时间段来看,第 3 d 各组分别检测出 30、23、24、22、30、32、29 种挥发性物质;第 5 d 各组分别检测出 22、28、30、27、22、30、28 种挥发性物质;第 7 d 各组分别检测出 34、30、30、23、27、27、21 种挥发性物质;第 9 d 各组分别检测出 25、29、31、28、27、29、26 种挥发性物质。在冷藏过程中,空白组检测出的挥发性风味物质种类先增加后减少、又增加再减少,冷藏到第 9 d 时,空白组检测出的

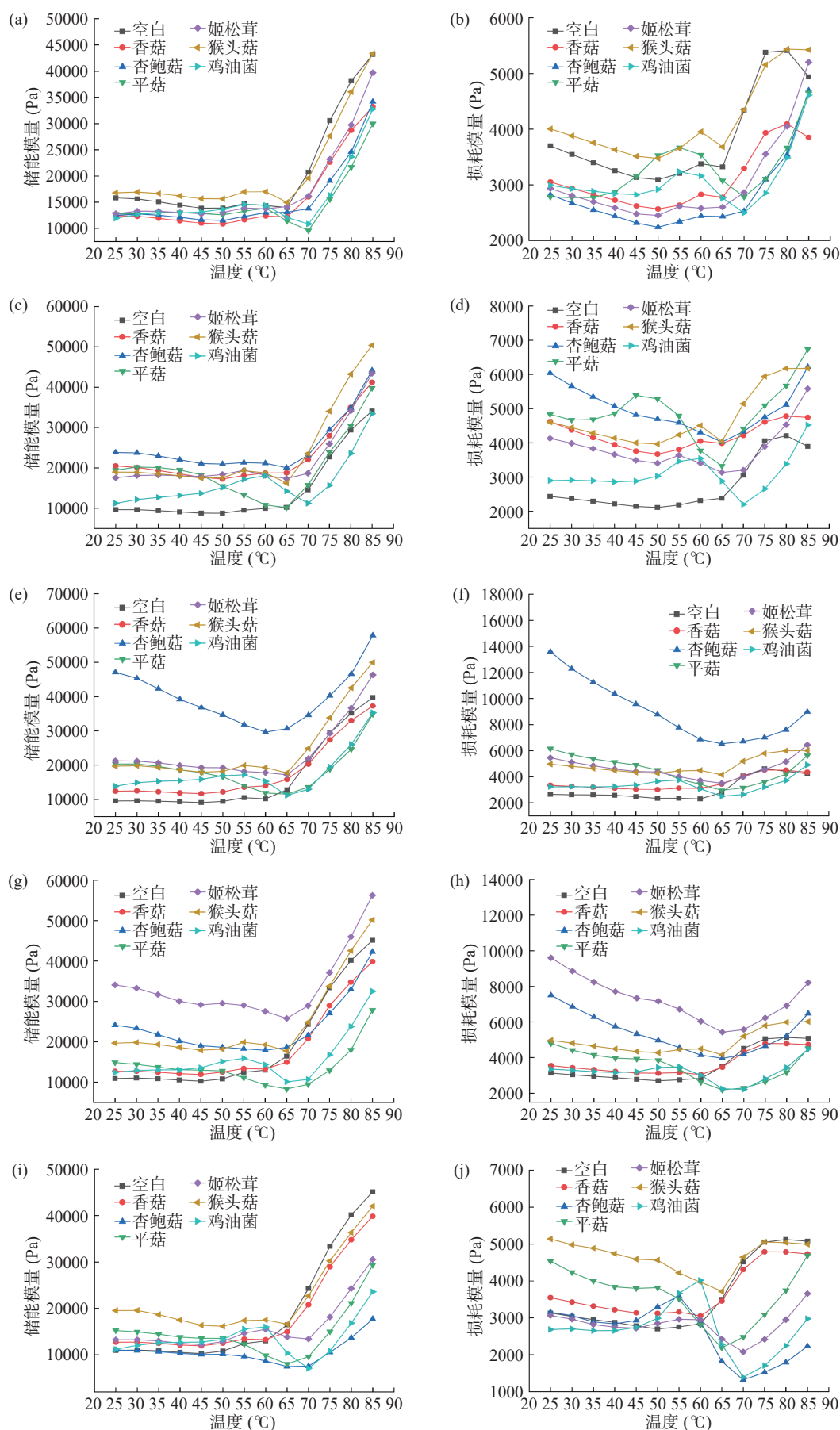


图3 添加不同食用菌对猪肉肠冷藏期间流变特性的影响

Fig.3 Effect of adding different edible fungi on rheological properties of pork sausage during cold storage

注: 第 1 d-储能模量(a)、损耗模量(b); 第 3 d-储能模量(c)、损耗模量(d); 第 5 d-储能模量(e)、损耗模量(f); 第 7 d-储能模量(g)、损耗模量(h); 第 9 d-储能模量(i)、损耗模量(j)。

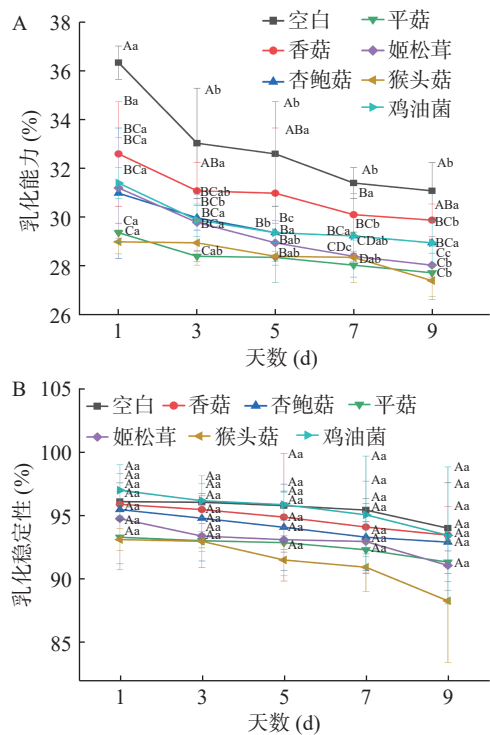


图 4 添加不同食用菌对猪肉肠冷藏期间乳化性及乳化稳定性的影响

Fig.4 Effects of different edible fungi on emulsibility and ES of pork sausage during cold storage

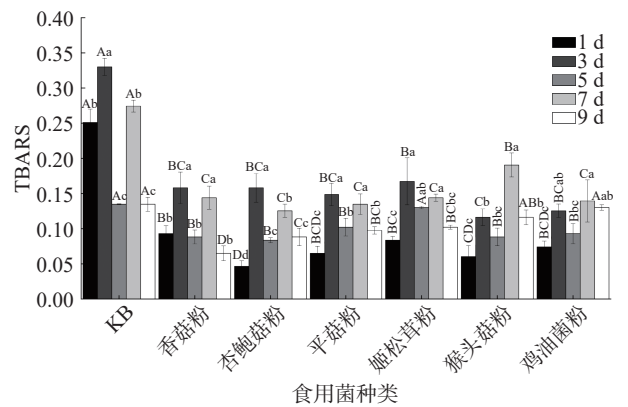


图 5 添加不同食用菌对猪肉肠冷藏期间 TBARS 值的影响

Fig.5 Effects of different edible fungi on TBARS value of pork intestine during cold storage

挥发性物质种类少于所有处理组。

从成分来看,醇类、醛类、酮类、酯类占比较大。在冷藏第 9 d 时,猴头菇组检测到的醇类物质最多,相对含量为 70.69%,其次为香菇组和杏鲍菇组,检测到的醇类物质相对含量分别为 66.22%、64.23%;姬松茸组检测到的酮类物质和醛类物质相对含量最多且空白组最低;杏鲍菇组检测到的酯类物质相对含量最多,猴头菇组最低。

食用菌中的挥发性风味物质主要由八碳化合物

表 4 添加不同食用菌对冷藏过程中猪肉肠感官品质的影响

Table 4 Effects of different edible fungi on sensory of pork sausage during cold storage

样品	天数(d)	色泽	香味	口感	切片性能	组织形态
空白组	1	9.00±0.71 ^{Aa}	8.40±0.55 ^{Aa}	8.20±0.84 ^{Aa}	8.60±0.55 ^{Aa}	8.80±0.45 ^{Aa}
	3	8.20±0.84 ^{Aab}	7.20±0.84 ^{Ab}	7.60±0.55 ^{Aab}	8.60±0.55 ^{Aa}	8.40±0.55 ^{Aa}
	5	7.60±0.55 ^{Ab}	7.20±0.84 ^{Ab}	7.40±0.55 ^{Aab}	8.00±0.71 ^{Aa}	6.80±0.84 ^{Ab}
	7	7.40±0.55 ^{Ab}	6.60±0.55 ^{Abc}	6.80±0.84 ^{Ab}	8.00±0.71 ^{Aa}	5.40±0.89 ^{Ac}
	9	6.40±0.55 ^{Ac}	5.8±0.84 ^{Ac}	5.20±0.84 ^{Ac}	7.60±0.71 ^{Aa}	5.20±0.84 ^{Ac}
香菇组	1	9.00±0.71 ^{Aa}	8.40±0.55 ^{Aa}	8.60±0.55 ^{Aa}	8.80±0.84 ^{Aa}	9.40±0.55 ^{Aa}
	3	8.40±1.14 ^{Aab}	7.20±0.84 ^{Ab}	7.40±0.55 ^{Ab}	8.40±0.55 ^{Aab}	8.40±0.55 ^{Ab}
	5	7.60±0.55 ^{Abc}	6.80±0.84 ^{Ab}	7.40±0.55 ^{Ab}	8.40±0.55 ^{Aab}	6.60±0.55 ^{Ac}
	7	7.20±0.45 ^{Acd}	6.20±0.84 ^{Abc}	6.80±0.84 ^{Ab}	8.00±0.71 ^{Aab}	5.40±0.89 ^{Ad}
	9	6.40±0.55 ^{Ac}	5.40±0.55 ^{Ac}	5.30±0.55 ^{Ac}	8.00±0.55 ^{Ab}	5.20±0.84 ^{Ad}
杏鲍菇组	1	9.60±0.55 ^{Aa}	8.20±0.84 ^{Aa}	8.20±0.84 ^{Aa}	9.00±0.71 ^{Aa}	9.40±0.89 ^{Aa}
	3	8.20±0.84 ^{Ab}	6.80±0.84 ^{Ab}	7.40±0.55 ^{Aab}	8.60±0.55 ^{Aab}	8.40±0.55 ^{Aa}
	5	7.60±0.55 ^{Ab}	6.60±1.14 ^{Ab}	7.40±0.55 ^{Aab}	8.40±0.55 ^{Aab}	6.80±0.84 ^{Ab}
	7	7.40±0.55 ^{Ab}	6.20±0.84 ^{Abc}	6.80±0.84 ^{Ab}	8.00±0.71 ^{Abc}	5.40±0.89 ^{Ac}
	9	6.40±0.55 ^{Ac}	5.40±0.55 ^{Ac}	5.20±0.84 ^{Ac}	7.40±0.55 ^{Ac}	5.40±0.84 ^{Ac}
平菇组	1	9.20±0.84 ^{Aa}	8.20±0.84 ^{Aa}	8.20±0.84 ^{Aa}	9.20±0.84 ^{Aa}	9.40±0.55 ^{Aa}
	3	8.20±0.84 ^{Ab}	7.00±0.71 ^{Ab}	7.40±0.55 ^{Aab}	8.60±0.55 ^{Aab}	8.60±0.89 ^{Aa}
	5	7.60±0.55 ^{Ab}	6.80±0.84 ^{Abc}	7.40±0.55 ^{Aab}	8.00±0.71 ^{Abc}	7.40±0.89 ^{Ab}
	7	7.40±0.55 ^{Ab}	6.60±0.55 ^{Abc}	6.80±0.84 ^{Ab}	8.00±0.71 ^{Abc}	5.20±0.84 ^{Ac}
	9	6.40±0.55 ^{Ac}	5.80±0.84 ^{Ac}	5.20±0.84 ^{Ac}	7.20±0.45 ^{Ac}	4.40±0.55 ^{Ac}
姬松茸组	1	9.00±0.71 ^{Aa}	8.40±0.55 ^{Aa}	8.20±0.84 ^{Aa}	8.60±0.55 ^{Aa}	8.80±0.45 ^{Aa}
	3	8.20±0.84 ^{Aab}	7.20±0.84 ^{Ab}	7.60±0.55 ^{Aab}	8.60±0.55 ^{Aa}	8.40±0.55 ^{Aa}
	5	7.60±0.55 ^{Ab}	7.20±0.84 ^{Ab}	7.40±0.55 ^{Aab}	8.00±0.71 ^{Aa}	6.80±0.84 ^{Ab}
	7	7.40±0.55 ^{Ab}	6.60±0.55 ^{Abc}	6.80±0.84 ^{Ab}	8.00±0.71 ^{Aa}	5.40±0.89 ^{Ac}
	9	6.40±0.55 ^{Ac}	5.80±0.84 ^{Ac}	5.20±0.84 ^{Ac}	7.80±0.45 ^{Aa}	5.20±0.84 ^{Ac}
猴头菇组	1	9.00±0.71 ^{Aa}	8.40±0.55 ^{Aa}	8.00±1.00 ^{Aa}	8.60±0.55 ^{Aa}	8.60±0.55 ^{Aa}
	3	8.40±0.55 ^{Aab}	7.20±0.84 ^{Ab}	7.60±0.55 ^{Aa}	8.60±0.55 ^{Aa}	8.20±0.84 ^{Ab}
	5	7.80±0.45 ^{Abc}	7.00±0.71 ^{Ab}	7.40±0.55 ^{Aa}	8.00±0.71 ^{Aa}	7.00±0.71 ^{Ab}
	7	7.40±0.55 ^{Ac}	6.40±0.55 ^{Abc}	6.40±0.55 ^{Ab}	7.80±0.45 ^{Aa}	5.40±0.89 ^{Ac}
	9	6.40±0.55 ^{Ad}	5.80±0.84 ^{Ac}	5.20±0.84 ^{Ac}	7.80±0.84 ^{Aa}	5.00±0.71 ^{Ac}
鸡油菌组	1	9.00±0.71 ^{Aa}	8.20±0.84 ^{Aa}	8.20±0.84 ^{Aa}	8.60±0.55 ^{Aa}	8.60±0.55 ^{Aa}
	3	8.20±0.84 ^{Aab}	7.00±0.71 ^{Ab}	7.60±0.55 ^{Aab}	8.60±0.55 ^{Aa}	8.40±0.55 ^{Aa}
	5	7.60±0.55 ^{Ab}	6.80±0.84 ^{Ab}	7.40±0.55 ^{Ab}	8.00±0.71 ^{Aa}	6.80±0.84 ^{Ab}
	7	7.40±0.55 ^{Ab}	6.40±0.55 ^{Abc}	6.80±0.84 ^{Ab}	8.00±0.71 ^{Aa}	5.20±0.84 ^{Ac}
	9	6.40±0.55 ^{Ac}	5.60±0.55 ^{Ac}	5.20±0.84 ^{Ac}	7.60±0.55 ^{Ab}	4.20±0.45 ^{Ad}

表 5 添加不同食用菌的猪肉肠冷藏期间挥发性风味物质种类及相对含量

Table 5 Types and relative contents of volatile flavor substances in pork sausage with different edible fungi during cold storage

分类	天数(d)	空白组		香菇组		杏鲍菇组		平菇组		姬松茸组		猴头菇组		鸡油菌组	
		种类数量	相对含量(%)	种类数量	相对含量(%)	种类数量	相对含量(%)	种类数量	相对含量(%)	种类数量	相对含量(%)	种类数量	相对含量(%)	种类数量	相对含量(%)
烷烃	1	2	2.55	2	0.89	1	2.05	2	1.26	—	—	1	1.89	1	1.70
	3	6	2.38	2	3.38	1	0.27	—	0.09	—	—	2	0.82	1	0.10
	5	2	3.21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0.28
	7	1	0.11	2	0.58	1	0.18	—	—	—	—	—	—	—	—
	9	4	0.72	1	0.20	—	—	1	0.12	1	0.83	—	—	—	—
烯烃	1	3	0.64	3	1.85	3	1.61	3	2.42	1	0.56	3	2.36	1	0.62
	3	1	0.38	2	1.43	1	0.82	2	1.41	3	1.81	1	0.60	3	0.43
	5	2	0.92	3	1.99	2	0.44	1	0.25	2	0.71	4	1.32	1	0.38
	7	3	1.99	2	0.54	2	0.76	2	0.80	2	0.38	2	0.68	2	0.88
	9	2	2.65	2	1.14	5	3.02	1	0.47	2	0.60	1	0.42	2	0.87
醚类	1	—	—	1	2.03	—	—	1	1.98	1	1.97	—	—	—	—
	3	1	1.31	—	—	1	2.34	1	3.73	1	1.70	1	2.38	1	0.61
	5	—	—	1	0.85	1	0.59	1	0.31	1	0.42	1	0.38	—	—
	7	1	0.52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	9	1	0.21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
酚类	1	2	0.36	2	0.30	2	0.50	1	0.48	2	0.64	2	0.78	2	1.52
	3	—	—	2	0.72	2	0.44	2	0.61	1	0.36	2	0.50	2	0.31
	5	1	0.12	2	0.54	2	0.27	2	0.22	—	—	2	0.26	2	0.23
	7	1	0.07	2	0.41	2	0.21	2	0.23	1	0.27	2	0.34	—	—
	9	1	0.06	2	0.54	2	0.33	2	0.33	1	0.53	2	0.64	—	—
醛类	1	6	25.11	3	7.38	4	13.00	4	12.33	4	12.19	4	10.22	4	10.80
	3	6	20.84	4	14.33	4	14.31	4	12.26	4	10.34	6	12.48	4	5.40
	5	5	21.67	4	7.28	4	6.19	3	4.55	2	2.25	3	2.54	3	1.72
	7	5	10.16	3	4.08	4	3.32	4	3.35	4	4.80	3	3.20	4	3.21
	9	3	2.22	3	4.17	3	4.17	4	3.36	3	5.06	3	3.47	5	4.15
醇类	1	6	31.79	5	26.72	5	28.33	4	21.57	6	28.90	5	30.60	4	23.02
	3	9	43.05	5	22.72	5	24.30	5	21.25	11	47.04	11	39.98	9	57.73
	5	5	31.88	9	26.09	11	59.17	11	61.28	9	55.24	12	63.47	12	62.47
	7	12	62.57	13	62.73	12	15.85	9	17.20	11	66.49	13	19.61	8	15.08
	9	8	23.57	12	66.22	12	64.23	9	17.07	11	59.98	15	70.69	10	23.70
酸类	1	2	1.61	1	3.22	1	2.62	1	1.93	1	4.04	—	—	1	2.83
	3	1	1.57	1	3.44	2	3.21	1	2.33	2	4.57	2	0.96	1	1.97
	5	—	—	1	0.89	3	1.69	3	4.34	2	1.31	2	2.58	3	2.21
	7	2	3.52	2	5.81	3	2.43	1	1.39	3	1.12	2	2.14	2	3.20
	9	1	1.35	1	3.95	1	1.35	1	0.93	2	2.56	3	1.28	1	0.69
酯类	1	3	2.91	2	2.81	2	3.26	2	2.97	2	2.62	2	2.73	3	2.88
	3	2	3.22	2	3.70	2	4.28	2	3.85	3	2.99	3	3.26	3	1.88
	5	3	3.55	4	3.02	3	2.76	1	0.92	3	1.18	3	1.75	2	0.72
	7	4	2.26	1	0.67	3	1.38	3	1.79	1	0.52	2	1.13	2	0.88
	9	4	1.10	1	0.65	3	2.10	3	1.78	2	1.46	1	0.46	3	1.86
杂环类	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0.34	—	—
	3	—	—	—	—	1	0.09	—	—	1	0.11	1	0.13	1	0.10
	5	1	1.45	1	0.25	1	0.05	1	0.04	—	—	—	—	1	0.05
	7	1	0.18	1	0.07	1	0.06	1	0.24	1	0.08	—	—	—	—
	9	—	—	2	0.25	1	0.06	2	0.11	1	0.12	—	—	—	—
芳香类	1	2	0.39	1	2.09	1	2.51	1	2.14	1	2.64	1	2.79	2	2.85
	3	1	0.63	2	2.82	2	2.96	3	2.86	2	2.20	2	2.79	3	1.42
	5	—	—	1	1.89	2	1.75	1	0.84	2	1.57	2	1.11	1	0.47
	7	2	0.44	1	0.86	1	0.47	1	0.37	1	0.71	1	0.56	2	0.99
	9	—	—	2	1.25	1	0.80	1	0.42	1	0.81	1	0.62	2	1.01
酮类	1	2	4.12	2	1.96	3	8.25	2	1.84	3	5.54	1	0.80	—	—
	3	3	2.50	3	4.92	3	5.10	2	6.45	2	2.82	1	1.31	1	0.55
	5	3	2.14	2	2.91	1	0.47	3	2.19	1	1.31	1	1.25	2	0.82
	7	2	1.04	3	2.34	1	0.57	—	—	3	2.83	2	1.13	1	0.53
	9	1	0.25	3	2.33	3	2.32	4	1.70	3	2.74	3	1.99	3	1.47

注：“—”表示未检出。

及其衍生物以及醇类、酮类、醛类等组成,这些物质主要是亚油酸被催化后的代谢产物,具有浓郁的蘑菇风味^[32]。7 种肉肠中,1-辛烯-3-醇在香菇组中的相对

含量最多,该物质为脂肪的氧化产物,是一种代表性很强的醇,对肉制品起一定的贡献^[33],同时该物质作为典型的食用菌风味化合物,除了提供特征风味外还

会促进其他风味物质的合成^[34]。醛酮酚类物质是猪肉肠中对风味影响较大且可反映熟肉新鲜程度的物质^[35]。己醛具有苹果香气,对风味的改善有明显作用^[36],对肉肠的影响作用很大。酯类物质应来自于脂肪氧化过程中产生的醇和游离脂肪酸相结合形成的,大部分具有果香、花香等气味^[37-38]。实验中检测出的己酸乙酯、辛酸乙酯、3-甲基-丁酸乙酯对产品风味起到了有益作用,对肉肠的风味调和有改善作用^[39]。食用菌因其独特的味道和香气可作为一种天然的风味添加剂加入到肉肠中,能丰富肉肠的风味,有利于开发风味更佳的猪肉肠,但随着冷藏时间的延长,这些特征性风味物质的相对含量会逐渐减少且腐败微生物的生长则会使食用菌产生不良风味。

3 结论

鸡油菌、香菇、姬松茸和猴头菇分别对 pH、保水性、质构和流变结果影响显著;添加食用菌会降低猪肉肠的乳化能力,且随冷藏时间的延长会逐渐减弱,空白组的乳化能力最好,其次为香菇;食用菌的添加会明显降低猪肉肠的 TBARS 值,有利于减缓脂质氧化的发生。冷藏过程中,共检测出烷烃 16 种,烯烃 12 种,醚类 1 种,酚类 3 种,醛类 9 种,醇类 22 种,酸类 12 种,酯类 10 种,杂环类 6 种,芳香类 5 种,酮类 11 种,其中醇类、醛类、酮类、酯类占比最大,这也是对猪肉肠风味影响最大的一部分物质。通过研究表明,食用菌作为天然风味添加剂能丰富猪肉肠的风味且作为天然抗氧化剂能减缓其脂质氧化,可满足市场需求。因此,本研究可为进一步研发更优质的食用菌肉制品提供一定的理论支持。

参考文献

- [1] OLIVEIRA R F D, HENRY F D C, VALLE F D. Effect of the fruit aqueous extract of Brazilian pepper tree (*Schinus terebinthifolius*, Raddi) on selected quality parameters of frozen fresh pork sausage[J]. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2020(2): 1-6.
- [2] 顾婧. 传统香肠中乳酸菌的筛选及复合发酵剂发酵香肠工艺优化研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018. [GU J. Screening of *Lactic acid bacteria* from traditional sausage and optimization of sausage fermentation with compound fermenter[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018.]
- [3] 宋怡, 周州, 罗舒, 等. 食用菌在仿真肉素食的应用现状及发展趋势[J]. *四川农业科技*, 2021(11): 80-82. [SONG Y, ZHOU Z, LUO S, et al. Application status and development trend of edible fungi in simulated meat vegetarian[J]. *Sichuan Agricultural Science and Technology*, 2021(11): 80-82.]
- [4] 赖丹宁, 陈曦芸, 张怡, 等. 香菇对金线鱼鱼糜品质特性的影响[J]. *福建轻纺*, 2021(8): 6-12, 17. [LAI D N, CHEN X Y, ZHANG Y, et al. Effect of *Lentinus edodes* on quality characteristics of surimi[J]. *Fujian Light Textile*, 2021(8): 6-12, 17.]
- [5] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 腊肠主体风味物质及其分析新方法[J]. *肉类研究*, 2022, 25(3): 15-20. [LIU D Y, ZHOU H G, XU X L. Main flavor components of sausage and new analytical methods[J]. *Meat Research*, 2022, 25(3): 15-20.]
- [6] 王新颖, 陈炼红, 杜荣胜, 等. 响应面法优化猪肉肠中食用胶

- 复配配方研究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(14): 145-152. [WANG X Y, CHEN L H, DU R S, et al. Study on optimization of edible gum compound formula in pork sausage by response surface methodology[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2021, 42(14): 145-152.]
- [7] 李韬, 邹伟, 赵兴秀, 等. 食用菌添加对自贡冷吃牛肉品质与风味影响研究[J]. *中国调味品*, 2021, 42(14): 145-152. [LI T, ZOU W, ZHAO X X, et al. Study on the effect of edible fungi on the quality and flavor of Zigong cold beef[J]. *China Condiment*, 2021, 42(14): 145-152.]
- [8] 王宁宁, 冯美琴, 孙健. 低钠复合盐对发酵香肠理化特性及风味的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(16): 1-7. [WANG N N, FENG M Q, SUN J. Effects of low sodium compound salt on physicochemical properties and flavor of fermented sausage[J]. *Food Science*, 2021, 42(16): 1-7.]
- [9] WESTPHALEN A D, BRIGGS J L, LONERGAN S M. Influence of muscle type on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat-induced gelation[J]. *Meat Science*, 2006, 70(2): 293-299.
- [10] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 22210-2008 肉与肉制品感官评定规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 22210-2008 Specification for sensory evaluation of meat and meat products [S]. Beijing: China Standards Press, 2008.]
- [11] 于泓鹏, 陈运生, 吴克刚, 等. 罗非鱼酶解多肽的乳化性及乳化稳定性研究[J]. *中国食品添加剂*, 2015(2): 94-100. [YU H P, CHEN Y S, WU K G, et al. Study on emulsibility and emulsification stability of enzymatic peptides from tilapia[J]. *China Food Additives*, 2015(2): 94-100.]
- [12] 叶丹, 雷激, 刘刚. 添加猪瘦肉对牛肉丸品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(9): 162-165. [YE D, LEI J, LIU G. Effect of adding pig lean meat on the quality of beef meatballs[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(9): 162-165.]
- [13] 张继磊, 周欢, 曾小红, 等. 蛋白酶解对鲮鱼肉乳化特性的改善[J]. *浙江农业学报*, 2020, 32(1): 160-167. [ZHANG J L, ZHOU H, ZENG X H, et al. Improvement of emulsifying properties of skipjack meat by proteolysis[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2020, 32(1): 160-167.]
- [14] 丁玉庭, 骆文燕, 徐梦意, 等. 不冻液冻结对鳙鱼头冻藏品质的影响研究[J]. *浙江工业大学学报*, 2022, 50(3): 333-340. [DING Y T, LUO W Y, XU M Y, et al. Study on the effect of non freezing liquid freezing on the quality of bighead carp head in frozen storage[J]. *Journal of Zhejiang University of Technology*, 2022, 50(3): 333-340.]
- [15] 丁捷, 胡欣洁, 卢雪松, 等. 麻辣牛肉在不同温度条件下的贮藏特性及其货架期预测[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(3): 122-132, 104. [DING J, HU X J, LU X S, et al. Storage characteristics and shelf life prediction of spicy beef paste at different temperatures[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(3): 122-132, 104.]
- [16] 张旭, 王卫, 白婷, 等. 四川浅发酵香肠加工进程中挥发性风味物质测定及其主成分分析[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(10): 274-283. [ZHANG X, WANG W, BAI T, et al. Determination of volatile flavor compounds and analysis of their principal components in Sichuan shallow fermented sausage processing[J]. *Mordon Food Science and Technology*, 2020, 36(10): 274-283.]
- [17] 罗静, 李敏, 张莹, 等. 电子鼻结合 GC-MS 分析不同干燥方式对罗非鱼片挥发性风味成分的影响[J]. *南方水产科学*, 2022,

- 18(1): 135–143. [LUO J, LI M, ZHANG Y, et al. Effect of different drying methods on volatile flavor components of tilapia fillets by electronic nose and GC-MS[J]. *South China Fisheries Science*, 2022, 18(1): 135–143.]
- [18] GANHÃO R, MORCUENDE D, ESTÉVEZ M. Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: Influence on colour and texture deterioration during chill storage[J]. *Meat Science*, 2010, 85(3): 402–409.
- [19] ITO H, UENO H, KIKUZAKI H. Construction of a free-form amino acid database for vegetables and mushrooms[J]. *Integrative Food, Nutrition and Metabolism*, 2017, 4: 1–9.
- [20] CHOE J, LEE J, JO K, et al. Application of winter mushroom powder as an alternative to phosphates in emulsion-type sausages[J]. *Meat Science*, 2018, 143: 114–118.
- [21] 孙金, 陈坤朋, 夏强, 等. 食用菌对鸭肉乳化肠冷藏过程中理化品质与安全特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(22): 329–335. [SUN J, CHEN K P, XIA Q, et al. Effects of edible fungi on physicochemical quality and safety of duck meat emulsified intestines during cold storage[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2021, 42(22): 329–335.]
- [22] PARK J H. Effect of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) starch and seeds on the physicochemical and textural and sensory properties of chicken meatballs during frozen storage[J]. *Foods*, 2021, 10(7): 1601–1601.
- [23] 王博, 伊东, 谢梦颖, 等. 糖基化大豆分离蛋白对肌原纤维蛋白功能特性的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(7): 63–69. [WANG B, YI D, XIE M Y, et al. Effect of glycosylated soybean protein isolate on functional properties of myofibrillar protein[J]. *Food Science*, 2017, 38(7): 63–69.]
- [24] 李琼帅, 唐善虎, 李思宁, 等. 石榴皮提取物对牦牛肉糜制品贮藏期间理化特性及流变特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(6): 90–97. [LI Q S, TANG S H, LI S N, et al. Effects of pomegranate peel extract on physicochemical and rheological properties of yak minced meat during storage[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(6): 90–97.]
- [25] 王希希, 李康, 黄群, 等. 刺麒麟菜对鸡胸肉糜凝胶特性和流变特性的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(5): 76–80. [WANG X X, LI K, HUANG Q, et al. Effect of *Eucheuma spinosum* on gelation and rheological properties of chicken breast batters[J]. *Food Science*, 2018, 39(5): 76–80.]
- [26] HUANG L, DING B, ZHANG H, et al. Textural and sensorial quality protection in frozen dumplings through the inhibition of lipid and protein oxidation with clove and rosemary extracts[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(10): 4739–4747.
- [27] 李琦, 贡佳欣, 唐善虎, 等. 无花果蛋白酶对牦牛肉糜理化和凝胶特性的影响[J]. *食品科技*, 2020, 45(1): 161–166. [LI Q, GONG J X, TANG S H, et al. Effects of ficin on physicochemical and gel properties of yak meat surimi[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(1): 161–166.]
- [28] 叶丹, 雷激, 刘刚, 等. 发酵麸皮对猪肉糜及肉丸性质的影响[J]. *食品科技*, 2017, 42(8): 142–147. [YE D, LEI J, LIU G, et al. Effect of fermented bran on properties of pork mince and meatballs[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 42(8): 142–147.]
- [29] LIU F, XU Q, DAI R T, et al. Effect of natural antioxidants on colour stability, lipid oxidation and metmyoglobin reducing activity in raw beef patties[J]. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 2015, 14(1): 37–44.
- [30] 郭擎. 迷迭香抗氧化剂的提取及在油脂中的应用研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2017. [GUO Q. Study on extraction of rosemary antioxidant and its application in oil[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2017.]
- [31] ALIREZALU K, HESARI J, ESKANDARI M H, et al. Effect of green tea, stinging nettle and olive leaves extracts on the quality and shelf life stability of frankfurter type sausage[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, 41(5): e13100.
- [32] 殷朝敏, 范秀芝, 史德芳, 等. HS-SPME-GC-MS 结合 HPLC 分析 5 种食用菌鲜品中的风味成分[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(3): 254–260. [YIN C M, FAN X Z, SHI D F, et al. Flavor compounds analysis of 5 fresh mushrooms using HS-SPME-GC-MS and HPLC[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2019, 40(3): 254–260.]
- [33] 李可人, 姜佳君, 张弛, 等. 不同种类食品中 pH 值测定方法[J]. *吉林农业*, 2017, 407(14): 112–112. [LI K R, JIANG J J, ZHANG C, et al. Determination of pH in different kinds of food[J]. *Agriculture of Jilin*, 2017, 407(14): 112–112.]
- [34] 刘文营, 陆武, 李丹, 等. 葡萄籽粉对广式腊肠理化和感官品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(4): 139–150. [LIU W Y, LU W, LI D, et al. Effects of grape seed powder on physicochemical and sensory properties of Cantonese sausage[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(4): 139–150.]
- [35] 邓海莲, 胡蝶, 邹婷婷, 等. 酶解对鸡骨素美拉德反应挥发性风味成分的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(16): 236–242. [DENG H L, HU D, ZOU T T, et al. Effect of enzymatic hydrolysis on volatile flavor components of chicken osteosin Maillard reaction[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2018, 39(16): 236–242.]
- [36] OLIVARES A, NAVARRO J L, FLORES M. Establishment of the contribution of volatile compounds to the aroma of fermented sausages at different stages of processing and storage[J]. *Food Chemistry*, 2009, 115: 1464–1472.
- [37] ZHAN H, HAYAT K, CUI P, et al. Characterization of flavor active non-volatile compounds in chicken broth and correlated contributing constituent compounds in muscle through sensory evaluation and partial least square regression analysis[J]. *LWT*, 2020, 118: 108786–108786.
- [38] 蒋立文, 谢艳华, 李跑, 等. HS-SPME/GC-MS 和电子感官技术分析毛霉型豆豉发酵过程中风味品质[J]. *核农学报*, 2020, 34(7): 1497–1506. [JIANG L W, XIE Y H, LI P, et al. HS-SPME / GC-MS and electronic sensory technology analysis of the flavor quality of mucor type fermented soybean[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(7): 1497–1506.]
- [39] 李林, 李兴艳, 尚永彪, 等. 冷藏过程中兔背最长肌挥发性风味物质的 GC-MS 分析[J]. *食品科学*, 2014, 35(24): 184–188. [LI L, LI X Y, SHANG Y B, et al. GC-MS analysis of volatile flavors from longest muscle of rabbit back during cold storage[J]. *Food Science*, 2014, 35(24): 184–188.]