

# 鱼香肉丝方便菜肴生产工艺优化及挥发性风味成分鉴定

韩晋琳<sup>1</sup>, 毕小鹏<sup>2</sup>, 蒲开阳<sup>3</sup>, 赵建华<sup>1</sup>, 廖世琪<sup>1</sup>, 李 玲<sup>1</sup>, 林洪斌<sup>1\*</sup>

(1. 西华大学食品与生物工程学院, 四川 成都 610039; 2. 成都产品质量检验研究院有限责任公司, 四川 成都 610199;

3. 四川省食品生产安全协会, 四川 成都 610056)

**摘 要:** 为了优化鱼香肉丝方便菜肴配方, 并探究其最佳灭菌条件和储藏方式、鉴定挥发性风味成分, 通过单因素试验及正交试验探究辅料添加量对菜肴品质的影响, 探讨不同灭菌条件及储藏方式对产品汁液流失率、色差、菌落总数、挥发性盐基氮、pH、丙二醛含量、感官评分的影响, 采用顶空固相微萃取-全二维气相色谱-质谱联用技术研究挥发性成分, 最终优化得到产品配方(以里脊肉 100 g 计): 蒜添加 20 g, 醋添加 4 g, 泡椒添加 20 g, 糖添加 8 g, 盐添加 1.2 g。最佳灭菌工艺: 121 ℃, 灭菌 15 min。储藏期: -18 ℃ 条件下储藏 15 d。共检测到 136 种风味化合物, 其中含量较高并且对风味有重要贡献的化合物有  $\alpha$ -姜黄烯、(反,反)-2,4-癸二烯醛、反-2-己烯醛、反-2-辛烯醛、反-2-癸烯醛、4-乙基-2-甲氧基苯酚、3-乙基-1,2-二硫代环己-4-烯、二烯丙基二硫、二烯丙基硫醚、二烯丙基三硫醚。本研究为鱼香肉丝方便菜肴工业化生产及其风味评价提供了一定的理论依据。

**关键词:** 鱼香肉丝; 灭菌工艺; 方便菜肴; 电子鼻; 全二维

中图分类号: TS217 文献标志码: A 文章编号: 1673-159X(2023)03-0019-18

doi:10.12198/j.issn.1673-159X.4786

## Optimization of Production Technology and Identification of Volatile Flavor Components of Yuxiang Shredded Pork

HAN Jinlin<sup>1</sup>, BI Xiaopeng<sup>2</sup>, PU Kaiyang<sup>3</sup>, ZHAO Jianhua<sup>1</sup>, LIAO Shiqi<sup>1</sup>, LI Ling<sup>1</sup>, LIN Hongbin<sup>1\*</sup>

(1. School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039 China;

2. Chengdu Institute of Product Quality Supervision and Inspection, Chengdu 610199 China;

3. Sichuan Food Production Safety Association, Chengdu 610056 China)

**Abstract:** In order to optimize the formula and explore the best sterilization conditions and storage methods of shredded pork with garlic sauce, a single factor and orthogonal experiment with juice loss rate,  $L^*a^*b^*$  value, aerobic plate count, total volatile base nitrogen, pH, malondialdehyde determination combined with sensory evaluation were used. Besides, the volatile flavor compounds were studied by HS-SPME-GC  $\times$  GC-MS and electronic nose. As a result, the optimized product formula (in terms of 100 grams

收稿日期: 2022-10-09

基金项目: 四川省科技计划重点研发项目(2020YFN0151); 川渝联合实施重点研发项目(cstc2021jsex-cylhX0014)。

\* 通信作者: 林洪斌(1985—), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为食品风味化学。

ORCID: 0000-0002-1218-7074 E-mail: hongbin-ok@163.com

引用格式: 韩晋琳, 毕小鹏, 蒲开阳, 等. 鱼香肉丝方便菜肴生产工艺优化及挥发性风味成分鉴定[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2023, 42(3): 19-36.

HAN Jinlin, BI Xiaopeng, PU Kaiyang, et al. Optimization of Production Technology and Identification of Volatile Flavor Components of Yuxiang Shredded Pork[J]. Journal of Xihua University(Natural Science Edition), 2023, 42(3): 19-36.

of tenderloin) are as below: 20 g garlic, 4 g vinegar, 20 g pickled pepper, 8 g sugar and 1.2 g salt. The best sterilization process is sterilizing with autoclave at 121 °C for 15 minutes. In addition, the storage period is 15 days at -18 °C. A total of 136 compounds were identified, including compounds with high content that may importantly contribute to its “Yu Xiang” flavor:  $\alpha$ -Curcumene, (E,E)-2,4-decadienal, (E)-2-hexenal, (E)-2-octenal, (E)-2-decanal, 4-ethyl-2-methoxyphenol, 3-vinyl-3,6-dihydro-1, 2dithiain, diallyl disulfide, diallyl sulfide, diallyl trisulfide. The results of this study provide a theoretical basis for the industrialized production and flavor evaluation of shredded pork with garlic sauce.

**Keywords:** shredded pork with garlic sauce; sterilization process; convenient dishes; electronic nose; comprehensive two-dimensional gas chromatography-mass spectrometry(GC×GC-MS)

鱼香味是川菜的一种复合味型,因其源于四川烹鱼调味的方法而得名<sup>[1]</sup>。鱼香肉丝作为川菜中经典的鱼香味型菜肴,因其味道独特而深受消费者喜爱。此外,鱼香肉丝还是一道营养丰富、均衡的菜肴,含有优质的蛋白质、脂肪酸和丰富的矿物质元素<sup>[2]</sup>。随着川菜工业化的提出,传统川菜走上工业化发展道路是必然趋势,然而由于鱼香肉丝传统的生产销售方式,存在保质期短、不易运输等缺点,限制了其发展。因此开发一种只需简单加热便可食用的鱼香肉丝方便菜肴对川菜工业化发展具有重要意义。鱼香肉丝方便菜肴工业化生产的核心是酱料的定量化以及灭菌工艺和储藏期的确定。食品变质的主要因素是微生物繁殖以及自身酶引起的生化反应,目前抑制食品变质主要采取灭菌以及低温储藏<sup>[3]</sup>、气调<sup>[4]</sup>、真空包装<sup>[5]</sup>等手段。鱼香肉丝作为预包装菜肴没有经过灭菌易腐败变质,要实现工业化必须选择合适的灭菌工艺和储藏条件。目前关于鱼香肉丝的研究主要集中在菜肴创新<sup>[6]</sup>、配方优化<sup>[7]</sup>、挥发性风味成分<sup>[8-10]</sup>、防腐保鲜<sup>[11-14]</sup>等方面。对于灭菌过程和储藏期间品质变化规律的研究较少。

本研究主要通过单因素试验和正交试验结合方差分析优化鱼香肉丝酱料配方,通过检测菌落总数、汁液流失率、色差和 pH 等理化指标并结合感官评价研究不同灭菌和储藏方式下鱼香肉丝微生物和品质变化规律,确定最佳灭菌工艺和货架期。本研究采用顶空固相微萃取及全二维气相色谱-质谱联用技术(headspace-solid phase microextraction-comprehensive two-dimensional gas chromatography-

mass spectrometry,HS-SPME-GC×GC-MS)测定其挥发性风味成分,并确定鱼香味特征香气化合物。本文通过以上实验探究,以期鱼香风味肉丝方便菜肴工业化生产提供数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

川骄精品里脊肉、东北精选单片木耳、千禾特香老抽、千禾零添加醋(总酸 $\geq 5.0$  mg/100mL)、太古纯正白糖、太太乐鸡精、精蒜、老姜、大葱、金龙鱼调和油,成都市红光镇沃尔玛超市;泡红辣椒,四川省川龙酿造食品有限公司;红苕粉,重庆好辰食品有限公司。硼酸、盐酸、甲基红、溴甲酚绿、氧化镁、三氯乙酸、2-硫代巴比妥酸,成都市迪维乐普科技有限公司;菌落计数琼脂培养基,北京奥博星生物科技有限公司;邻二氯苯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;甲醇(色谱纯),美国 Sigma-Aldrich 公司。

PEN3.5 电子鼻,德国 AIRSENSE 公司;11301ACH 电炸锅,湖北艾格丽经贸有限公司;G154DWS 全自动高压灭菌锅,致微(厦门)仪器有限公司;DZ400/2SB 真空包装机,上海余特包装机械制造公司;BPG-9240A 恒温鼓风干燥箱,上海一恒科技有限公司;SW-CJ-IFD 超净工作台,苏州安泰空气技术有限公司;LHP-100 智能恒温恒湿培养箱,上海鸿都电子科技有限公司;WF32 精密色差仪,深圳市威福光电科技有限公司;TJE12 搅拌机,浙江苏泊尔股份有限公司;GCMS2020NX 全二维气相色谱-质谱联用仪,日本岛津仪器公司;57330-

USPME 手动进样手柄,美国 Supelco 公司; 75  $\mu\text{m}$  CAR/PDMS 萃取头,美国 Supelco 公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 主料与酱料配比优化研究

1) 鱼香肉丝基础配方。根据 DB51T 1728—2014 中国川菜经典菜肴制作工艺规范及专

业厨师的指导结合前期预实验确定基础配方如下: 里脊肉 100 g、鲜木耳 20 g、老抽 2 g、醋 5 g、白糖 8 g、鸡精 1 g、蒜 15 g、姜 2.6 g、大葱 10 g、盐 1 g、泡红辣椒 20 g、红苕粉 6 g。

2) 工艺流程如图 1 所示。

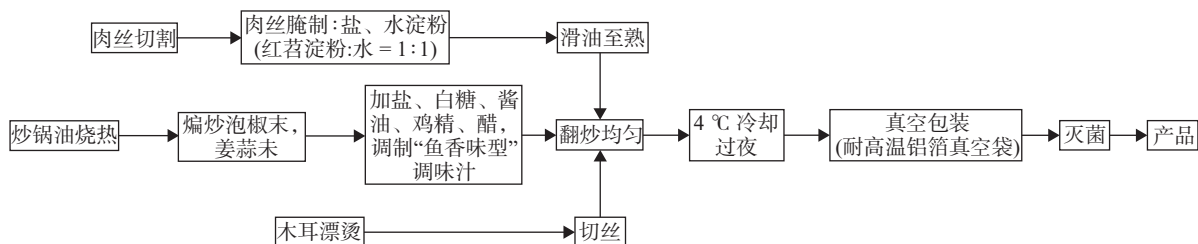


图 1 鱼香肉丝制作工艺流程

Fig. 1 The technology parameter of shredded pork with garlic sauce

3) 鱼香肉丝酱料单因素试验设计。为了考察不同因素对鱼香肉丝风味的影响,在预实验研究的基础上,以里脊肉(100 g)、醋、蒜、泡红辣椒、糖、盐为主料,酱油、姜、大葱、鸡精为辅料,分别设置醋的添加量(0、4、8、12、16 g)、蒜的添加量(5、10、15、20、25 g)、泡椒的添加量(0、10、20、30、40 g)、糖的添加量(0、4、8、12、16 g)、盐的添加量(0、0.4、0.8、1.2、1.6 g),分析各因素的最佳条件。

4) 鱼香肉丝酱料正交优化试验设计。在单因素试验基础上,选择对鱼香肉丝酱料感官品质有显著影响的 5 个因素:蒜、醋、泡椒、糖和盐添加量进行正交试验设计(如表 1 所示),以感官评分作为评价指标,确定鱼香肉丝酱料的最佳工艺条件。

表 1 正交试验设计因素水平表  
Tab. 1 Factors and levels of orthogonal test

| 水平 | 因素          |             |              |             |              |
|----|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|    | 蒜添加量<br>A/g | 醋添加量<br>B/g | 泡椒添加量<br>C/g | 糖添加量<br>D/g | 食盐添加量<br>E/g |
| 1  | 15          | 4           | 10           | 4           | 0.4          |
| 2  | 20          | 8           | 20           | 8           | 0.8          |
| 3  | 25          | 12          | 30           | 12          | 1.2          |

5) 感官评价方法 选择 10 位从事食品科学研究的工作人员,年龄 24 至 45 岁,并经过培训后参考表 2 标准进行评价。

表 2 鱼香肉丝酱料感官评分标准

Tab. 2 The standard of marking for shredded pork with garlic sauce

| 指标      | 感官指标                      | 评分      |
|---------|---------------------------|---------|
| 色泽(30分) | 色泽饱满,红亮,组织均匀              | (20,30] |
|         | 色泽饱满,稍有光泽,但组织不太均匀         | [10,20) |
|         | 色泽偏暗,无光泽,组织不均匀            | [0,10)  |
| 香气(30分) | 具有浓郁的鱼香味风味,风味协调,有蒜香味,醋香味  | [20,30] |
|         | 具有较强的鱼香味风味,风味协调           | [10,20) |
|         | 具有微弱的鱼香味风味,风味不协调          | [0,10)  |
| 滋味(40分) | 甜酸咸辣适中,葱姜蒜味浓郁,具有明显“鱼香味”特征 | [30,40] |
|         | 甜酸咸辣适中,具有葱姜蒜味,“鱼香味”不强烈    | [20,30) |
|         | 甜酸咸辣口感不协调,无滋润感,无鱼香味       | [0,20)  |

### 1.2.2 灭菌工艺优化及储藏期研究

1) 灭菌处理和储藏期设置。鱼香肉丝样品在 4  $^{\circ}\text{C}$  条件下冷却过夜后真空包装进行灭菌处理<sup>[15]</sup>。设置不同灭菌温度及时间两个参数,通过前期预实验,设置梯度:灭菌温度 81、101、121 和 131  $^{\circ}\text{C}$ ,编号 A、B、C、D。灭菌时间分别为 5、10、15、20 和 25 min。灭菌后样品分别于 4  $^{\circ}\text{C}$  和 -18  $^{\circ}\text{C}$  条件下储藏。

2) 汁液流失率测定。灭菌后以及储藏期的汁液流失率的计算公式如(1)所示:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $W_1$ , 样品处理前的质量;  $W_2$ , 处理后将包装袋

中流失的汁液倒掉,用吸水纸吸干样品表面的汁液后的质量。

3) 色差测定。用精密色差仪对加工前后的鱼香肉丝表面进行色度测量,比较不同处理对肉品质的影响(其中  $L^*$  为明度指数,  $L^*=0$  表示为黑色,  $L^*=100$  表示为白色;  $a^*>0$  表示红色程度,  $a^*<0$  表示绿色程度;  $b^*>0$  表示黄色程度,  $b^*<0$  表示蓝色程度)。

4) 菌落总数测定。参照 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》进行测定<sup>[16]</sup>。

5) 总挥发性盐基氮(total volatile base nitrogen, TVB-N)测定。参照 GB 5009.228—2016 第二法自动凯氏定氮法<sup>[17]</sup>进行测定。

6) pH 测定。参照 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》进行测定<sup>[18]</sup>。样品粉碎混匀后,称取约 10.0 g,置于锥形瓶中,加入 100 mL 水进行均质,用标定后的 pH 计测定。

7) 丙二醛含量的测定。取剔除脂肪和结缔组织的肉糜 10.00 g 于锥形瓶中,加入 10% 三氯乙酸与蒸馏水各 25 mL,置于恒温振荡器上 50 ℃ 均质 30 min,取出,冷却至室温,用中性滤纸过滤,取上述滤液 10 mL 置于试管内,加入硫代巴比妥酸(Thiobarbituric acid, TBA)溶液 5 mL(相当于 0.02 mol/L),加塞混匀,90 ℃ 水浴反应 30 min,取出,冷却至室温,分别取上清液在 532、600 nm 下测定吸光度。按公式(2)计算 TBA 值。

$$TBA = (A_{532} - A_{600}) \times \frac{M}{R} \quad (2)$$

式中: TBA, 样品中丙二醛的含量, mg/100 g;  $A_{532}$ , 样品在 532 nm 处的吸光度;  $A_{600}$ , 样品在 600 nm 处的吸光度;  $M$ , 丙二醛的相对分子质量, 72.06;  $R$ , 毫摩尔吸光系数, 155。

8) 电子鼻分析。加热样品: 在顶空瓶加入 2 g 样品,放入 60 ℃ 水浴锅开始加热,保温 5 min,保温结束后,密封、编号,待用。顶空产生温度 60 ℃,顶空加热时间 300 s,载气流量 150 mL/s,进样量 500  $\mu$ L,进样速度 500  $\mu$ L/s,数据采集时间 240 s,数据采集延迟 180 s,手动进样。每个样品平行测试 3 次。取传感器在第 210 s 时获得信号进行分析,此时信号输出最为稳定。

9) SPME-GC×GC-MS 挥发性香气成分测定。

SPME 条件: 称取经粉碎机粉碎混匀的 5 g(精确到 0.001 g)鱼香肉丝肉菜混合样品(121 ℃,灭菌 15 min)置于顶空进样瓶中,并加入 2  $\mu$ L 以甲醇稀释的邻二氯苯(质量浓度为 100  $\mu$ g/mL)内标物溶液,密封后置于电热水浴锅中在 80 ℃ 加热平衡 10 min,随后将老化后的萃取头插入顶空进样瓶中吸附 45 min 后,插进 GC×GC-MS 进样口,在 250 ℃ 下解析 5 min。GC 条件: 柱系统由两根色谱柱组成: 柱 1: DB-5MS(30 m×250  $\mu$ m, 0.25  $\mu$ m), 柱 2: DB-17HT(1.9 m×100  $\mu$ m, 0.1  $\mu$ m),柱子之间通过毛细管柱连接器连接。选用氦气作为载气,流速 1 mL/min,不分流进样。操作程序: 升温程序从 40 ℃ 开始保持 2 min,以 6 ℃/min 升到 240 ℃ 保留 5 min; MS 条件: 采用电子电离源,电子轰击能量为 70 eV。质量扫描范围  $m/z$  为 41~330,采集方式: 全扫描,溶剂延迟时间 3 min。离子源温度 230 ℃,接口温度 250 ℃; 数据处理: 使用 Chroma 软件对质谱数据进行了峰提取、基线矫正等分析。对物质定性工作使用了 NIST 20 谱库,利用内标法计算含量,计算公式如(3)所示。

$$C_A = \frac{S_A}{S_B} \times C_{BA} \quad (3)$$

式中:  $C_A$ , A 物质的浓度;  $S_A$ , A 的峰面积;  $S_B$ , 内标物面积;  $C_{BA}$ , 内标浓度计算出物质的浓度含量。

10) 感官评定。选择 4 位从事川菜职业、对菜品熟悉的厨师和 4 位从事食品科学研究的工作人员进行感官评分,评分标准参考 1.2.1 的方法并略作修改: 仅对色泽、香气两项指标进行评定,满分为 60 分,将最终得分乘以换算系数 1.67,最后取平均值。

### 1.3 数据处理

所有实验都进行 3 次重复,利用 Excel 进行数据整理,计算平均值、RSD 值。采用 SPSS 27 对数据进行统计分析,Origin 2021 软件制图。ANOVA 进行邓肯氏差异分析,以  $P<0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 材料与仪器

#### 2.1.1 单因素试验结果

由图 2(a)可知,随着蒜含量的增加,感官得分不断增加。蒜香主要是硫化物赋予的香味<sup>[19]</sup>,这种

独特的香味是鱼香肉丝明显的风味特征,但是当添加量在 25 g 时,整个鱼香肉丝味型被蒜味掩蔽,让人难以接受。由图 2(b)可知,随着醋的添加量增加,感官得分呈现先增加后下降的趋势。这是由于醋的添加为鱼香肉丝增加了酸味,使菜肴爽口,增加食欲。但是随着添加量增大,酸味过强,其他味道被酸味掩蔽,而且酸味过强,会发生口感不适的状况,这是味觉的消杀现象所引起的<sup>[7]</sup>。由图 2(c)可知,随着泡椒含量的增加,感官得分先上升,后下降,泡椒含量增加使鱼香肉丝风味更强烈,然而添加过多使调味料偏酸,发生了口感不适。但添加泡

椒能赋予酱料独特的泡椒风味。由图 2(d)可知,随着糖含量的增加,感官得分先上升,后下降,这是由于糖增加使口感更加柔和。但添加过多使调味料偏甜,难以接受,且糖含量过高不利于人的身体健康。由图 2(e)可知,随着盐含量的增加,感官得分先上升,后下降,主要是因为添加盐使调味酱口感丰富。咸味为基本味感,人的口腔对其十分敏感,当低于最适浓度会影响整体呈味,而添加过多则会导致调味料偏咸,难以入口。综上,选取蒜添加量 15~25 g;醋添加量 4~12 g;泡椒添加量 10~30 g;糖添加量 4~12 g;盐添加量 0.4~1.2 g 进行正交试验。

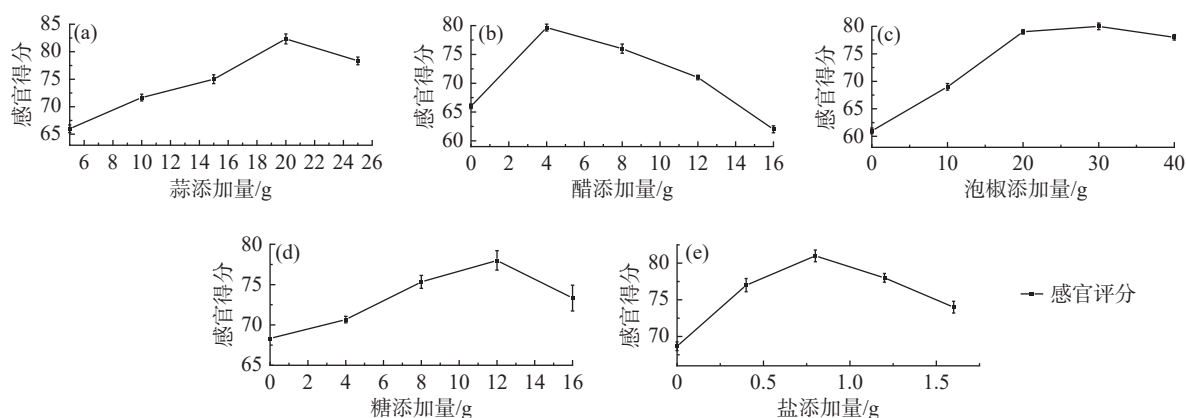


图2 单因素试验结果((a)蒜添加量对感官得分的影响;(b)醋添加量对感官得分的影响;(c)泡椒添加量对感官得分的影响;(d)糖添加量对感官得分的影响;(e)盐添加量对感官得分的影响)

Fig. 2 Results of single factor experiment (a:Effect of garlic addition, b:Effect of vinegar addition, c:Effect of pickled pepper addition, d:Effect of sugar addition, e:Effect of salt addition)

### 2.1.2 鱼香肉丝酱料配方正交试验分析

根据单因素试验结果,选取对感官评分影响较大的因素进行正交试验。由表 3 和表 4 可知,因素 A 影响极显著( $P<0.01$ ),因素 B 和因素 D 影响显著( $P<0.05$ ),因素 C 和因素 E 影响不显著( $P>0.05$ )。根据  $F$  值可知,影响产品工艺条件的各因素主次关系为  $A>B>D>E>C$ 。最优组合为  $A_2B_1C_2D_2E_3$ ,以此组合平行重复三次感官评分最高,得分为 89.4。即最佳工艺条件组合为  $A_2B_1C_2D_2E_3$ 。即蒜添加 20 g,醋添加 4 g,泡椒添加 20 g,糖添加 8 g,盐添加 1.2 g。

## 2.2 灭菌工艺优化及储藏期研究

### 2.2.1 汁液流失率分析

汁液流失是菜品灭菌工艺优化的重要指标。由图 3 可知,随着灭菌时间增加和温度的提高,汁液流失率呈现增大趋势。此外,131 ℃ 下汁液流失

率显著高于其他温度( $P<0.05$ ),当灭菌时间为 5~15 min 时汁液流失趋缓( $P>0.05$ ),超过 15 min 后,汁液流失率显著上升( $P<0.05$ )。主要原因可能是由于热加工使蛋白质变性,促进了肌球蛋白与肌动蛋白的结合,使肌原纤维收缩,引起可存储水分的网格空间结构变小,导致持水性能降低<sup>[20]</sup>。此外长时间高温导致肉的细胞破裂,高压也导致木耳细胞内汁液流出。可见,温度低于 131 ℃,时间低于 15 min 汁液流失较少。汁液流失是菜品加工和储藏过程中需尽量避免的问题,汁液流失会导致产品外观不佳,营养成分流失。

### 2.2.2 色差测定分析

肉的新鲜度一般可以通过肉的颜色来反映,一般用  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值来表示,通过色差仪对不同灭菌温度和时间鱼香肉丝进行测定,由图 4 可知,随着温度提高和时间增加, $L^*$ 、 $a^*$  值和  $b^*$  值都呈现减小

表 3 正交试验结果  
Tab. 3 The results of orthogonal test

| 水平       | A<br>(蒜量) | B<br>(醋量) | C<br>(泡椒量) | D<br>(糖量) | E<br>(盐量) | F<br>(空列) | G<br>(空列) | 感官得分 |
|----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1         | 1         | 1         | 82   |
| 2        | 1         | 2         | 2          | 2         | 2         | 2         | 2         | 67   |
| 3        | 1         | 3         | 3          | 3         | 3         | 3         | 3         | 73   |
| 4        | 2         | 1         | 1          | 2         | 2         | 3         | 3         | 69   |
| 5        | 2         | 2         | 2          | 3         | 3         | 1         | 1         | 65   |
| 6        | 2         | 3         | 3          | 1         | 1         | 2         | 2         | 70   |
| 7        | 3         | 1         | 2          | 1         | 3         | 2         | 3         | 65   |
| 8        | 3         | 2         | 3          | 2         | 1         | 3         | 1         | 61   |
| 9        | 3         | 3         | 1          | 3         | 2         | 1         | 2         | 62   |
| 10       | 1         | 1         | 3          | 3         | 2         | 2         | 1         | 77   |
| 11       | 1         | 2         | 1          | 1         | 3         | 3         | 2         | 80   |
| 12       | 1         | 3         | 2          | 2         | 1         | 1         | 3         | 65   |
| 13       | 2         | 1         | 2          | 3         | 1         | 3         | 2         | 65   |
| 14       | 2         | 2         | 3          | 1         | 2         | 1         | 3         | 72   |
| 15       | 2         | 3         | 1          | 2         | 3         | 2         | 1         | 72   |
| 16       | 3         | 1         | 3          | 2         | 3         | 1         | 2         | 71   |
| 17       | 3         | 2         | 1          | 3         | 1         | 2         | 3         | 60   |
| 18       | 3         | 3         | 2          | 1         | 2         | 3         | 1         | 64   |
| $K_{1i}$ | 444       | 429       | 425        | 433       | 403       | 417       | 421       |      |
| $K_{2i}$ | 413       | 405       | 391        | 405       | 411       | 411       | 415       |      |
| $K_{3i}$ | 383       | 406       | 424        | 402       | 426       | 412       | 404       |      |
| $k_{1i}$ | 74.000    | 71.500    | 70.833     | 72.167    | 67.167    | 69.500    | 70.167    |      |
| $k_{2i}$ | 68.833    | 67.500    | 65.167     | 67.500    | 68.500    | 68.500    | 69.167    |      |
| $k_{3i}$ | 63.833    | 67.667    | 70.667     | 67.000    | 71.000    | 68.667    | 67.333    |      |
| $R$      | 10.167    | 4.000     | 5.667      | 5.167     | 3.833     | 1.000     | 2.833     |      |

表 4 正交方差分析表  
Tab. 4 Variance analysis of orthogonal test

| 变异来源  | Ⅲ 类平方和    | df | 均方      | F值       | P      |
|-------|-----------|----|---------|----------|--------|
| A(蒜)  | 310.111   | 2  | 155.056 | 26.763** | <0.001 |
| B(醋)  | 61.444    | 2  | 30.722  | 5.303*   | 0.040  |
| C(泡椒) | 124.778   | 2  | 62.389  | 10.768** | 0.007  |
| D(糖)  | 97.444    | 2  | 48.722  | 8.410*   | 0.014  |
| E(盐)  | 45.444    | 2  | 22.722  | 3.922    | 0.072  |
| 误差    | 40.556    | 7  | 5.794   |          |        |
| 总计    | 86102.000 | 18 |         |          |        |
| 修正后总计 | 679.778   | 17 |         |          |        |

a.  $R^2 = 0.940$ (调整后 $R^2 = 0.855$ )

注:  $P<0.05$ 说明达到显著水平。

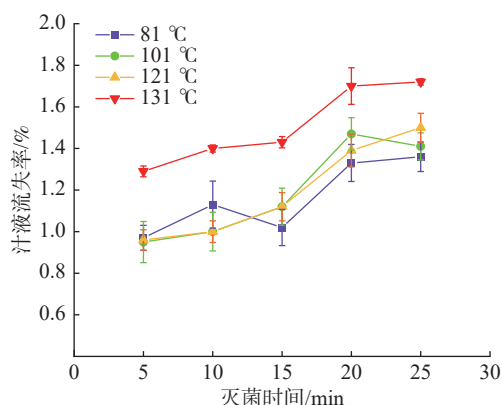


图3 不同温度下汁液流失率随灭菌时间变化情况

Fig. 3 Changes of juice loss rate with sterilization time under different temperatures

的趋势,灭菌温度为131 °C下 $L^*$ 、 $a^*$ 值和 $b^*$ 值都显著低于其他温度( $P<0.05$ )。这是由于高温高压杀菌使肉中的肌红蛋白被强烈地氧化,高铁肌红蛋白含量增加,同时呈色物质进一步反应造成的<sup>[21]</sup>。由图4(a)和图4(c)可以看出灭菌15 min后, $L^*$ 值显著降低( $P<0.05$ ),较高的温度和较长的时间对鱼香肉丝品质

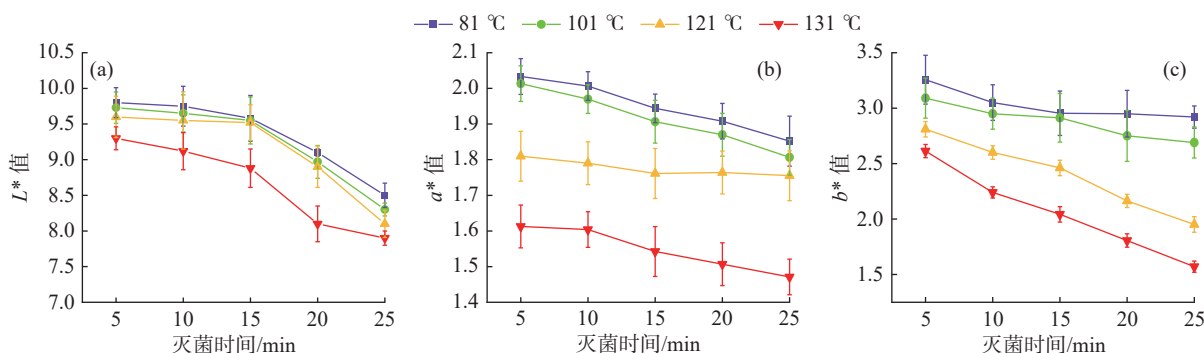
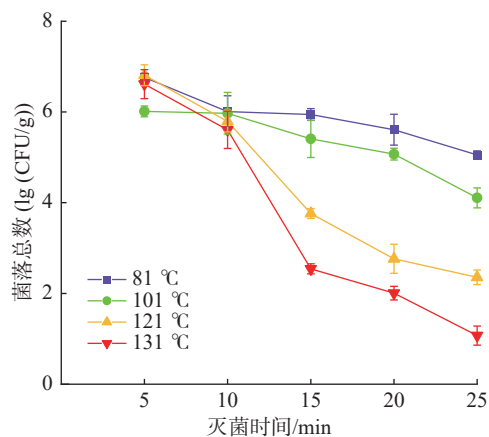
图4 不同温度下 $L^*$ 值、 $a^*$ 值、 $b^*$ 值随灭菌时间变化情况Fig. 4 Changes of  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  value with sterilization time under different temperatures

图5 不同温度下菌落总数随灭菌时间变化情况

Fig. 5 Changes of the total number of colonies with sterilization time under different temperatures

产生了不良影响。当温度超过121 °C后, $b^*$ 值也显著降低( $P<0.05$ )。因此灭菌温度和时间应控制在121 °C, 15 min以内。

### 2.2.3 菌落总数分析

灭菌是最有效的食品保鲜方法之一,已被广泛应用于几乎所有的食品生产领域。灭菌是指能使微生物(包括孢子)几乎完全失活的过程<sup>[22]</sup>。灭菌的主要目的是熟化产品并杀灭细菌,延长产品储藏期。如图5所示,随着灭菌时间的延长和温度的提高,微生物总体呈现减少趋势。高压引起的膜损伤、蛋白质变性和细胞内pH值的降低可能是导致微生物死亡的主要原因<sup>[23]</sup>。可以看出,121 °C及以上灭菌超过10 min,菌落总数明显低于其他两组( $P<0.05$ )。由图5可知,当灭菌121 °C, 10 min以上可以达到灭菌效果。而81和101 °C下基本无法达到灭菌效果。

### 2.2.4 感官评分结果

不同灭菌温度和时间对产品感官品质的影响如图6所示,随着灭菌时间增加,整体感官得分都呈现下降趋势。当时间超过15 min后,感官评分显著降低( $P<0.05$ )主要原因是随着灭菌时间增加,菜品在长时间高温下质地变得软烂,色泽加深。比较相同灭菌时间下不同温度可以看出,灭菌15 min之前总体感官得分差异不大( $P>0.05$ ),随着温度升高,感官得分逐渐降低,当温度超过121 °C后,各样品之间感官得分差异较大( $P<0.05$ ),主要是高温导致鱼香肉丝品质变化加大,汁液渗出较为严重。在121 °C灭菌20 min时感官评分突然上升,这可

能是由于感官评价人员之间的个人喜好存在差异所致。通过对不同灭菌温度及时间的样品进行指标分析,可以看出随着处理温度的升高和时间增加,对鱼香肉丝品质呈现出不好的影响,综合微生物指标,既要达到灭菌效果,又要有良好的风味、色泽、感官,且综合成本考虑,选择 121 °C,灭菌 15 min 较为合理。

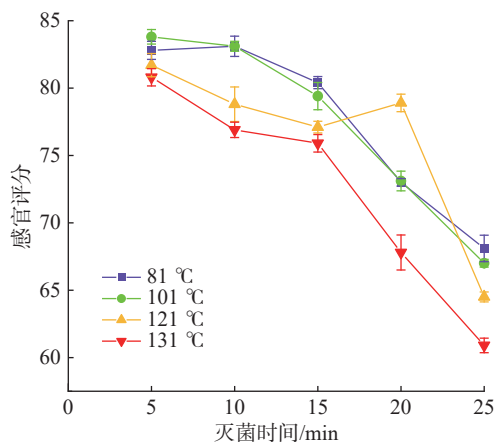


图6 不同温度下感官评分随灭菌时间变化情况

Fig. 6 Changes of sensory scores with sterilization time under different temperatures

## 2.3 储藏期研究

### 2.3.1 不同储藏温度和时间下菌落总数、TVB-N 的变化

菌落总数是食品商业化的决定性指标之一,如果超过国家规定,就不能进行食用以及售卖。从图 7(a)可以看出,菌落总数随着储藏时间增加整体呈现上升的趋势。其中 4 °C 条件下增长速度明显高于-18 °C ( $P<0.05$ )。冷冻储藏菌落总数始终都低于 4 °C 冷藏,这是因为低温可以有效抑制微生物的生长。目前对预包装肉制品菜肴尚无国家标准,参考 GB 2726—2016《食品安全国家标准 熟肉制品》可以看出,冷冻储藏样品在整个储藏期间菌落总数都没有超过微生物指标的安全限量值 4 lg CFU/g。而 4 °C 储藏条件下在第十天菌落总数就接近安全限量值 4 lg CFU/g,且在保藏 20 d 时已经超过其最大安全限量值 5 lg CFU/g,即已经不可食用。

挥发性盐基态氮含量是评价肉的鲜度的核心指标之一<sup>[24]</sup>。由国标可知,一级鲜肉的 TVB-N 小于 10 mg/100 g,变质肉的 TVB-N 大于 15 mg/100 g。从图 7(b)可以看出,TVB-N 含量整体呈现上升的趋势,且随着储藏时间增大,两种保藏方式的 TVB-

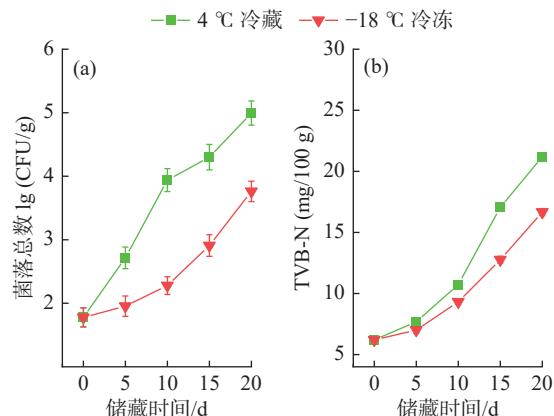


图7 不同储藏温度下菌落总数和 TVB-N 随时间变化情况

Fig. 7 Changes of the total number of colonies and TVB-N with time under different storage temperatures

N 含量差异更加明显 ( $P<0.05$ ), 但-18 °C 储藏条件下 TVB-N 含量始终要低于 4 °C 条件。当储藏时间超过 10 d 后, 4 °C 较-18 °C 增速显著 ( $P<0.05$ )。储藏 15 d 时, 4 °C 冷藏的鱼香肉丝已经超过限量值, 而-18 °C 冷冻仍然低于限量值。TVB-N 是蛋白质被分解后产生氨类含氮挥发性物质的总称。低温储藏能延缓蛋白质的分解, 使氨类物质的积累减少, 从而减缓 TVB-N 的增长速度, 保持肉类营养价值与鲜度<sup>[25]</sup>。鱼香肉丝经真空包装后冷冻储藏, 其货架期明显延长, 可见冷冻储藏可以有效抑制鱼香肉丝储藏期菌落总数和 TVB-N 的增长速度。

### 2.3.2 不同储藏温度和时间下色差、汁液流失率、pH、丙二醛含量的变化

消费者通常基于肉的颜色来评价其品质, 色泽红亮是鱼香肉丝典型的特征。从图 8(a)—图 8(c)可以看出, 两种保藏方式下  $L^*$  值和  $a^*$  值和  $b^*$  值都为正。 $a^*$  为正, 说明鱼香肉丝整体偏红, 主要是肉丝和泡辣椒本就呈红色。随着时间的增加,  $L^*$  值、 $a^*$  值和  $b^*$  值都呈现下降趋势, 且 4 °C 条件下下降趋势较-18 °C 更明显 ( $P<0.05$ ), 可能随着储藏时间增加, 棕色铁血红蛋白被肌红蛋白所氧化出来, 色泽变暗, 导致  $L^*$  值和  $a^*$  值下降<sup>[26]</sup>。

由图 8(d)可知, 两种储藏方法的汁液流失率都呈现逐渐上升的趋势, 在保藏前期差异不显著 ( $P>0.05$ ), 但储藏时间超过 15 d 后, 两种保藏方式汁液流失变化较明显, 且两种保藏方式的汁液流失率有显著差异 ( $P<0.05$ )。主要原因是随着保藏时间增长, 微生物繁殖, 使肉的细胞组织结构破裂, 导

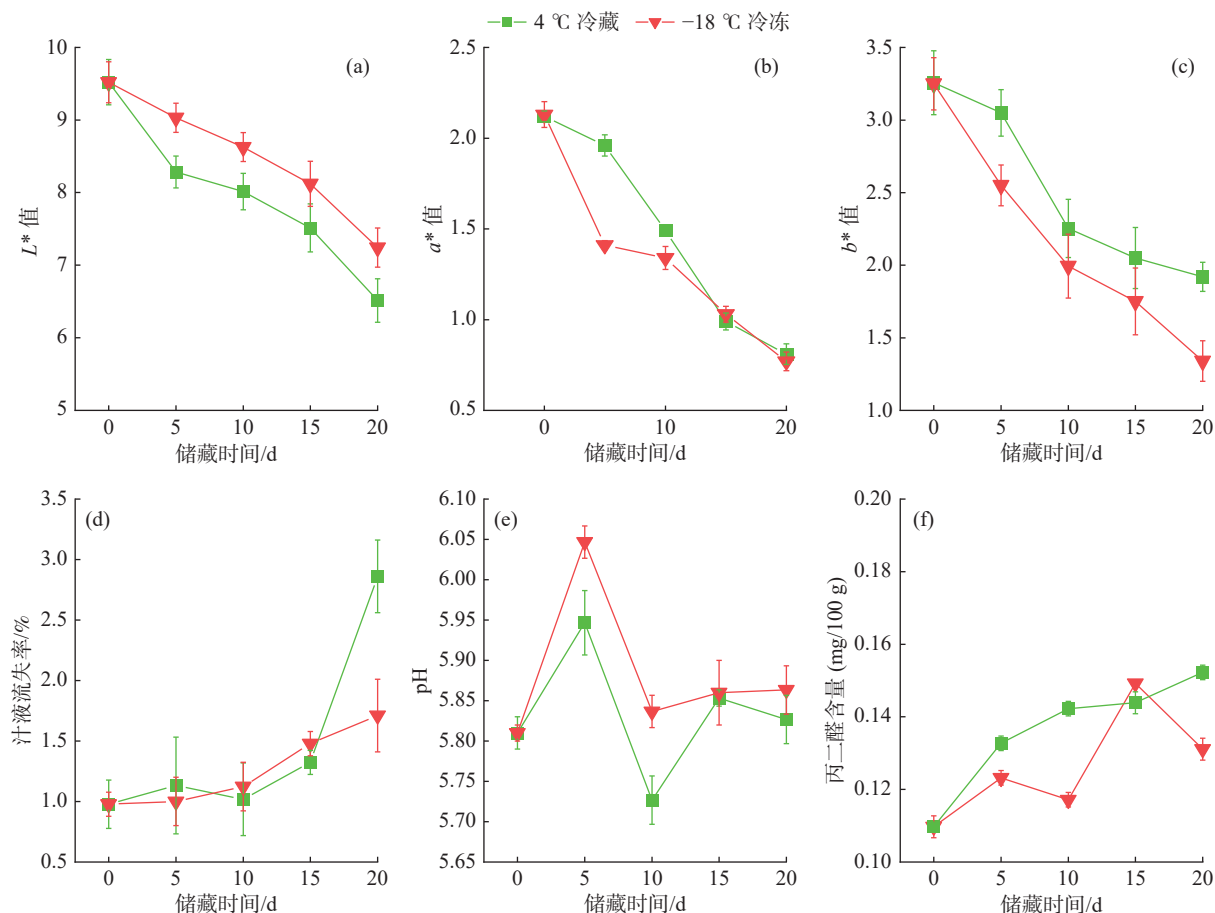


图8 不同储藏温度下  $L^*$ 值、 $a^*$ 值、 $b^*$ 值、汁液流失率、pH、丙二醛含量随时间变化情况

Fig. 8 Changes of  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  value, juice loss rate, pH and MDA with time under different storage temperatures

致组织内汁液流失。

pH值的变化主要有两个原因:一是微生物分解肉制品中的碳水化合物生产乙酸、乳酸等有机酸;二是微生物作用致使蛋白质被分解成低分子的碱性含氮物质<sup>[27]</sup>。由图8(e)可知,两种储藏方法的pH变化有相同趋势,呈现先上升,然后下降,再上升,最后下降的趋势。整体来说pH波动范围不大,但是两种保藏方式的差异显著( $P<0.05$ )。pH在保藏5d左右上升可能是蛋白质被分解成低分子碱性含氮物质,由于微生物代谢产物的积累从而导致pH值有所上升,但随着保藏时间的继续,pH下降,原因可能是腐败微生物繁殖产酸。

丙二醛(malondialdehyde,MDA)是一种典型的醛,在氧化过程中产生 $\omega$ -3和 $\omega$ -6脂肪酸,已被广泛用作衡量脂质氧化恶化程度的标志物<sup>[28]</sup>。由图8(f)可知冷藏和冷冻样品整体都随着储藏时间增加,丙二醛含量呈现上升的趋势,冷藏样品的丙二醛含量要高于冷冻样品。表明冷冻样品油脂氧

化的速率要比冷藏样品的速率较低。但是两者之间无显著差异( $P>0.05$ )。值得注意的是,冷冻样品中丙二醛含量出现先增高后降低再升高的变化,造成这种现象的原因可能是储藏期间氧自由基作用脂类,使肉中脂类过氧化作用逐渐增强,MDA含量增加。随后MDA与肉中的蛋白质、磷脂、DNA、或氨基酸等一些包含伯胺基团的化合物发生反应,使MDA含量降低<sup>[29]</sup>。

### 2.3.3 感官评价结果

不同储藏方式和时间对鱼香肉丝品质的影响结果如图9所示,-18 °C冷冻储藏整体感官得分要高于4 °C冷藏,尤其在储藏10d之后,感官差异显著( $P<0.05$ ),4 °C冷藏的样品主要变化表现为蒜味明显突出,无协调的鱼香味,且肉丝出现软烂、无弹性、色泽变暗。这是由于在经过高温灭菌后,尽管杀死大部分微生物,仍然可能存在嗜热微生物及一些腐败微生物的芽孢等,在-18 °C储存过程中微生物生长繁殖较4 °C受到更强的抑制,在4 °C时

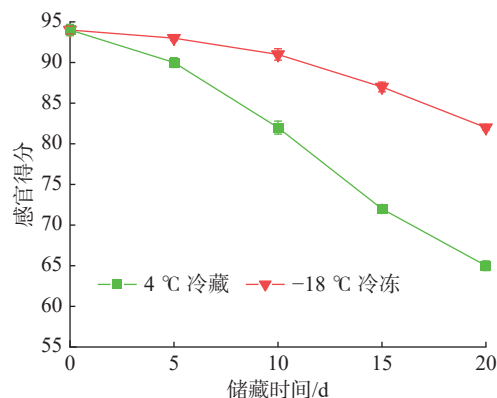


图9 不同储藏温度下感官评分随时间变化情况

Fig. 9 Changes of sensory scores with time under different storage temperatures

微生物生理活性更强,繁殖速度更快,造成肉腐败变质速度相对较快。

### 2.3.4 电子鼻分析

图 10 是 4 °C 时鱼香风味肉丝不同保藏时间

的 Loading 分析图,样品 1~5 分别代表在 4 °C 下储藏 0~20 d。由图 10 可知 W3C 传感器第一主成分贡献率最大,传感器 W6S 对第二主成分贡献率最大。线性判别分析 (linear discriminant analysis, LDA) 是研究样品所属类型的一种统计方法。LDA 分析能够将  $n$  维数据投影到低维空间,使投影后组与组之间尽可能分开<sup>[30]</sup>。如图 11 所示,通过 LDA 分析法进行分析。LD1 方差贡献率为 80.08%, LD2 方差贡献率为 10.37%,总贡献率达到 90.45%,总贡献率相对较高。另外从图 11 中可以看出,各时间样品都能明显区分,尤其冷藏样品 1 和冷藏样品 5 在第一主成分上的距离最远,说明其差异最大。因此, LDA 分析法也可以作为鱼香肉丝 4 °C 储藏时间的判别分析方法之一。

图 12 是 -18 °C 时鱼香风味肉丝不同保藏时间

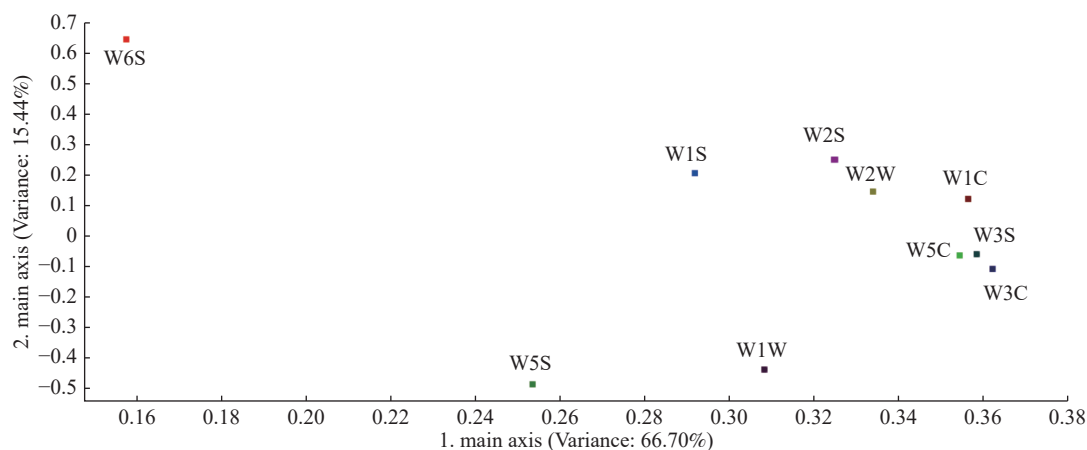


图 10 4 °C 储藏不同时间 Loading 分析

Fig. 10 Loading analysis of different storage time at 4 °C

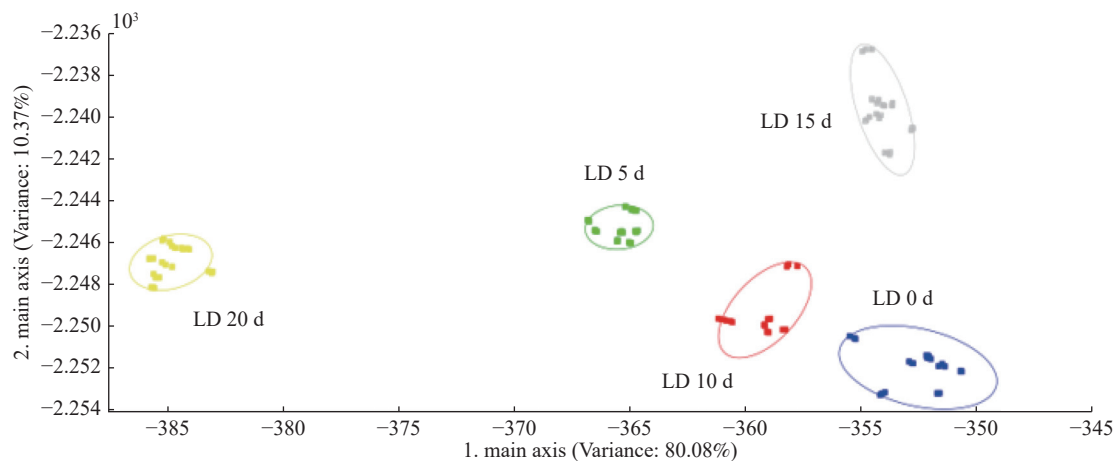


图 11 4 °C 储藏不同时间 LDA 分析

Fig. 11 LDA analysis of different storage time at 4 °C

的 Loading 分析图, 样品 1~5 分别代表在  $-18^{\circ}\text{C}$  下储藏 0~20 d。从图中可以看出 W1C 传感器第一主成分贡献率最大, 传感器 W6S 对第二主成分贡献率最大。由图 13 可知, 在  $-18^{\circ}\text{C}$  条件保藏下, LD1 方差贡献率为 47.05%, LD2 方差贡献率为 23.20%, 总贡献率达到 70.25%, 总贡献率相对  $4^{\circ}\text{C}$  保藏贡献率较低。从图 13 中可以看出冷冻 1 样品和冷

冻 5 样品在第一主成分上之间距离最远, 说明其在第一主成分上差异最大, 而样品 2、3、4 与样品 1、样品 5 能明显区分, 但是样品 2、3、4 的差异相对较小, 这也符合储藏条件对产品品质的影响: 在  $-18^{\circ}\text{C}$  保藏下, 低温使食品的微生物变化较慢, 对产品品质影响较小, 所以其差异较小, 因此 LDA 分析相较  $4^{\circ}\text{C}$  储藏条件下的差异较小。

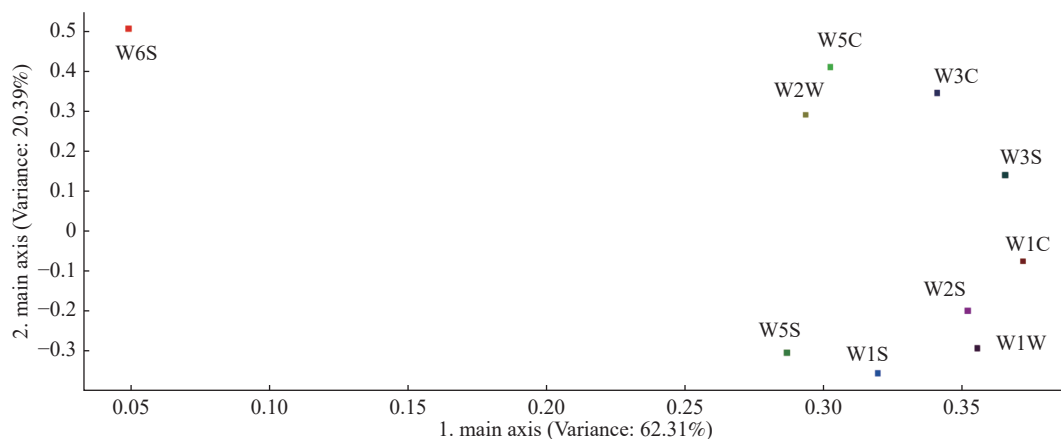


图 12  $-18^{\circ}\text{C}$  储藏不同时间 Loading 分析

Fig. 12 Loading analysis of different storage time at  $-18^{\circ}\text{C}$

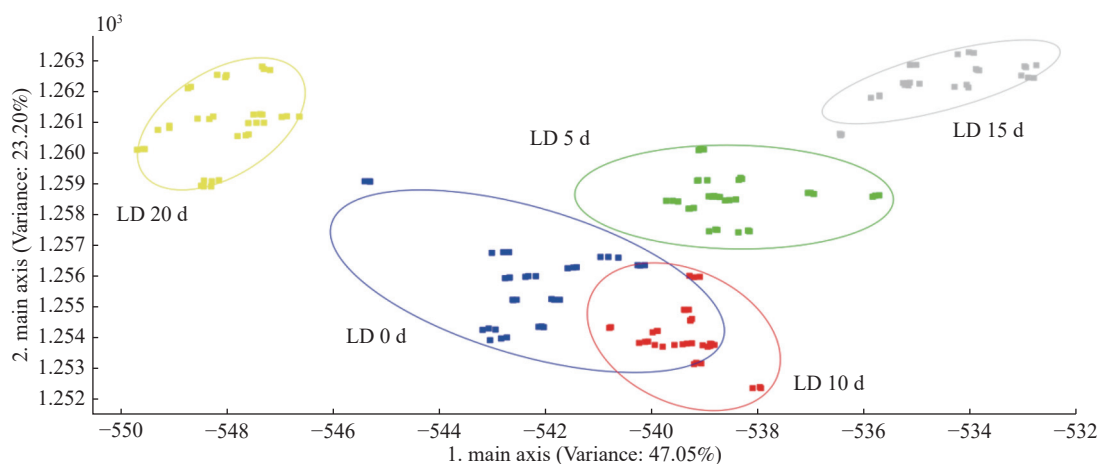


图 13  $-18^{\circ}\text{C}$  储藏不同时间 LDA 分析

Fig. 13 LDA analysis of different storage time at  $-18^{\circ}\text{C}$

通过以上指标对鱼香肉丝储藏期进行分析发现, 菌落总数在  $4^{\circ}\text{C}$  条件下保藏 20 d 才接近超标, 但是由综合色差、汁液流失率等指标可知,  $4^{\circ}\text{C}$  条件不适用一周以上的储藏。而  $-18^{\circ}\text{C}$  冷冻可以储藏较长的时间, 可以达到两周以上。因此保质期确定在  $-18^{\circ}\text{C}$  条件下 15 d。

## 2.4 挥发性风味成分的 GC×GC-MS 鉴定结果

对最佳工艺生产的鱼香肉丝采用 GC×GC-

MS 进行挥发性风味物质鉴定, 由表 5 可知, 共鉴定出 136 种物质, 其中烃类 24 种, 醛类 28 种, 酮类 11 种, 酸类 5 种, 酯类 16 种, 醇类 24 种, 酚类 5 种, 醚类 2 种, 含硫含氮及其他杂环化合物 21 种。检测结果中含硫含氮化合物及其他杂环化合物所占比例较高, 这是肉类分析中所常见的。此外醛类、醇类化合物所占比例也较高。

表 5 鱼香肉丝挥发性风味成分的 GC×GC-MS 鉴定结果

Tab. 5 Analytical results for GC×GC-MS identification of volatile compounds in shredded pork with garlic sauce

| 序号 | 化合物名称                              | 分子式                                          | 含量/(μg/kg) | 保留指数  |
|----|------------------------------------|----------------------------------------------|------------|-------|
| 烃类 |                                    |                                              |            |       |
| 1  | 茨烯                                 | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>              | 72.226 7   | 1 015 |
| 2  | 左旋-β-蒎烯                            | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>              | 15.063 3   | 1 093 |
| 3  | 4-双环[3.1.0]己-2-烯                   | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>              | 19.946 8   | 1 093 |
| 4  | 左旋-1-甲基-5-(1-甲基乙烯基)环己烯             | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>              | 101.348 1  | 1 120 |
| 5  | 3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯                  | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>              | 213.398 1  | 1 130 |
| 6  | 十二烷                                | C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>              | 25.928 0   | 1 149 |
| 7  | 邻-异丙基苯                             | C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>              | 10.453 6   | 1 194 |
| 8  | 丁基苯                                | C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>              | 10.088 5   | 1 238 |
| 9  | 2,6,10-三甲基十四烷                      | C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>              | 1.105 7    | 1 321 |
| 10 | 戊基苯                                | C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>              | 11.092 5   | 1 341 |
| 11 | 对-(1-丙烯基)-甲苯                       | C <sub>10</sub> H <sub>12</sub>              | 2.994 6    | 1 358 |
| 12 | 十四烷                                | C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>              | 23.215 4   | 1 365 |
| 13 | 3-乙基-1,4-己二烯                       | C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>               | 17.400 8   | 1 414 |
| 14 | 十六烷                                | C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>              | 9.238      | 1 571 |
| 15 | 反-β-金合欢烯                           | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>              | 7.275 5    | 1 596 |
| 16 | 1-(1,5-二甲基-4-己烯-1-基)-4-甲基-1,3-环己二烯 | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>              | 23.474 6   | 1 620 |
| 17 | γ-穆罗烯                              | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>              | 28.292 8   | 1 646 |
| 18 | 姜烯                                 | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>              | 191.676 2  | 1 649 |
| 19 | α-姜烯                               | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>              | 189.912 7  | 1 649 |
| 20 | β-红没药烯                             | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>              | 77.381 3   | 1 656 |
| 21 | α-法尼烯                              | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>              | 71.896 6   | 1 673 |
| 22 | α-姜黄烯                              | C <sub>15</sub> H <sub>22</sub>              | 102.120 4  | 1 693 |
| 23 | β-倍半水芹烯                            | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>              | 102.802 3  | 1 693 |
| 24 | (4反)-1-甲基-4-(6-甲基庚-5-烯-2-亚基)环己烯    | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>              | 2.821 2    | 1 807 |
| 醛类 |                                    |                                              |            |       |
| 1  | 戊醛                                 | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O             | 8.500 6    | 926   |
| 2  | 己醛                                 | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O             | 6.338      | 1 023 |
| 3  | 庚醛                                 | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O             | 19.430 5   | 1 116 |
| 4  | 反-2-己烯醛                            | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O             | 25.928 0   | 1 156 |
| 5  | 辛醛                                 | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O             | 12.671 8   | 1 219 |
| 6  | 2-庚烯醛                              | C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O             | 30.646 7   | 1 254 |
| 7  | 壬醛                                 | C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O             | 13.271 3   | 1 323 |
| 8  | 5-乙基-1-环戊烯-1-甲醛                    | C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O             | 10.990 4   | 1 340 |
| 9  | 反-2-辛烯醛                            | C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O             | 28.007 8   | 1 355 |
| 10 | 反-4-壬烯醛                            | C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O             | 11.218     | 1 364 |
| 11 | 3-糠醛                               | C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 10.332 5   | 1 375 |
| 12 | 癸醛                                 | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O            | 12.132 5   | 1 426 |
| 13 | 苯甲醛                                | C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O              | 14.421 8   | 1 435 |

续表5

| 序号 | 化合物名称                       | 分子式                                    | 含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) | 保留指数 |
|----|-----------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|------|
| 14 | 顺-2-壬烯醛                     | $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}$      | 34.1287                        | 1456 |
| 15 | 反-2-癸烯醛                     | $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$   | 45.7546                        | 1563 |
| 16 | 顺-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛          | $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$   | 83.6989                        | 1596 |
| 17 | 十二醛                         | $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}$   | 3.4866                         | 1632 |
| 18 | 反-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛          | $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$   | 163.7781                       | 1642 |
| 19 | 2-十一烯醛                      | $\text{C}_{11}\text{H}_{20}\text{O}$   | 42.8773                        | 1666 |
| 20 | (反,顺)-2,4-癸二烯醛              | $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$   | 70.929                         | 1672 |
| 21 | (反,反)-2,4-癸二烯醛              | $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$   | 181.8111                       | 1716 |
| 22 | 4-氧代壬-1-醛                   | $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_2$    | 3.1264                         | 1730 |
| 23 | 2-十二烯醛                      | $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}$   | 3.1111                         | 1771 |
| 24 | (反,反)-2,4-十二碳二烯醛            | $\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}$   | 4.2927                         | 1817 |
| 25 | 顺-4,5-环氧-反-2-癸醛             | $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_2$ | 32.2648                        | 1891 |
| 26 | 3-甲氧基苯甲醛                    | $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$       | 6.2453                         | 1898 |
| 27 | 顺式肉桂醛                       | $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}$         | 3.9912                         | 1914 |
| 28 | 十八醛                         | $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}$   | 18.7267                        | 2043 |
| 酮类 |                             |                                        |                                |      |
| 1  | 3-羟基-2-丁酮                   | $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$       | 45.3833                        | 1229 |
| 2  | 6-甲基-5-庚烯-2-酮               | $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$      | 8.1319                         | 1268 |
| 3  | 2-十一酮                       | $\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}$   | 103.6141                       | 1525 |
| 4  | 4-甲基-2,4,6-环庚烯-1-酮          | $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$         | 15.5703                        | 1544 |
| 5  | 2-十三酮                       | $\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}$   | 3.0977                         | 1730 |
| 6  | 螺[4.5]癸烷-6,10-二酮            | $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_2$ | 3.1346                         | 1813 |
| 7  | 2-环亚戊基环戊酮                   | $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$   | 10.972                         | 1884 |
| 8  | 苯己酮                         | $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{O}$   | 4.4299                         | 1899 |
| 9  | 2-十五酮                       | $\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}$   | 13.8647                        | 1934 |
| 10 | 马鞭草烯酮                       | $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$   | 4.2472                         | 1941 |
| 11 | 顺-1-甲基双环癸烷-2,10-二酮          | $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{O}_2$ | 25.1637                        | 2031 |
| 酸类 |                             |                                        |                                |      |
| 1  | 戊酸                          | $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$    | 30.9013                        | 1746 |
| 2  | 辛酸                          | $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$    | 13.6279                        | 1952 |
| 3  | 山梨酸                         | $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2$       | 32.7396                        | 2022 |
| 4  | 壬酸                          | $\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$    | 4.3672                         | 2050 |
| 5  | 脱氢乙酸                        | $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_4$       | 220.7303                       | 2281 |
| 酯类 |                             |                                        |                                |      |
| 1  | 乙酸甲氧三甘酯                     | $\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_5$    | 2.0817                         | 1477 |
| 2  | 甲酸松油酯                       | $\text{C}_{11}\text{H}_{18}\text{O}_2$ | 23.6195                        | 1612 |
| 3  | 亚油酸乙酯                       | $\text{C}_{20}\text{H}_{36}\text{O}_2$ | 16.0840                        | 1652 |
| 4  | 10-甲基十一烷酸甲酯                 | $\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}_2$ | 3.0977                         | 1727 |
| 5  | 月桂酸乙酯                       | $\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$ | 27.8513                        | 1768 |
| 6  | $\alpha$ -丁基- $\gamma$ -丁内酯 | $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$    | 7.3011                         | 1806 |
| 7  | 12-甲基十三烷酸甲酯                 | $\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$ | 0.9711                         | 1926 |

续表 5

| 序号 | 化合物名称                      | 分子式                                    | 含量/( $\mu\text{g/kg}$ ) | 保留指数 |
|----|----------------------------|----------------------------------------|-------------------------|------|
| 8  | 肉豆蔻酸乙酯                     | $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$ | 0.9610                  | 1968 |
| 9  | 棕榈酸甲酯                      | $\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$ | 19.8625                 | 2124 |
| 10 | 乙二醇月桂酸酯                    | $\text{C}_{14}\text{H}_{30}\text{O}_2$ | 17.3344                 | 2128 |
| 11 | 棕榈酸乙酯                      | $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$ | 3.4876                  | 2166 |
| 12 | 10-十八烯酸甲酯                  | $\text{C}_{19}\text{H}_{36}\text{O}_2$ | 2.0626                  | 2335 |
| 13 | 7,10-十八二烯酸甲酯               | $\text{C}_{19}\text{H}_{34}\text{O}_2$ | 4.6542                  | 2376 |
| 14 | 对甲氧基肉桂酸辛酯                  | $\text{C}_{18}\text{H}_{26}\text{O}_3$ | 6.1274                  | 2415 |
| 15 | 二十一烷基甲酸酯                   | $\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$ | 8.1933                  | 2453 |
| 16 | 甘油亚麻酸酯                     | $\text{C}_{21}\text{H}_{36}\text{O}_4$ | 0.9610                  | 2467 |
| 醇类 |                            |                                        |                         |      |
| 1  | 乙醇                         | $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$         | 82.8377                 | 906  |
| 2  | 1-戊醇                       | $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$      | 33.4542                 | 1199 |
| 3  | 2-庚醇                       | $\text{C}_7\text{H}_{16}\text{O}$      | 4.4789                  | 1260 |
| 4  | 1-辛烯-3-醇                   | $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$      | 7.7921                  | 1378 |
| 5  | [2-甲基-2-(4-甲基-3-戊烯基)环丙]-甲醇 | $\text{C}_{11}\text{H}_{20}\text{O}$   | 3.1726                  | 1438 |
| 6  | 2-壬醇                       | $\text{C}_9\text{H}_{20}\text{O}$      | 26.4712                 | 1447 |
| 7  | 1,4-丁二醇                    | $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$    | 8.8131                  | 1456 |
| 8  | 芳樟醇                        | $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$   | 10.6648                 | 1468 |
| 9  | 2,3-丁二醇                    | $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$    | 35.0223                 | 1486 |
| 10 | 左旋1,2-丙二醇                  | $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$       | 11.7206                 | 1498 |
| 11 | 4-萜烯醇                      | $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$   | 5.9767                  | 1525 |
| 12 | 反-2-辛烯-1-醇                 | $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$      | 2.8212                  | 1531 |
| 13 | 糠醇                         | $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2$       | 2.1275                  | 1560 |
| 14 | 2-十一醇                      | $\text{C}_{11}\text{H}_{24}\text{O}$   | 12.5653                 | 1639 |
| 15 | 香茅醇                        | $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$   | 12.3098                 | 1675 |
| 16 | 顺式对甲基-1(7), 8-二烯-2-醇       | $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$   | 0.9712                  | 1733 |
| 17 | 橙花醇                        | $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$   | 18.4725                 | 1747 |
| 18 | 苯乙醇                        | $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}$      | 17.3648                 | 1795 |
| 19 | 四氢吡喃-2-甲醇                  | $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$    | 3.3416                  | 1842 |
| 20 | 十二醇                        | $\text{C}_{12}\text{H}_{26}\text{O}$   | 29.6687                 | 1869 |
| 21 | 橙花叔醇                       | $\text{C}_{15}\text{H}_{26}\text{O}$   | 3.9907                  | 1937 |
| 22 | 槐香醇                        | $\text{C}_{15}\text{H}_{26}\text{O}$   | 2.1355                  | 1972 |
| 23 | 1-十六烷醇                     | $\text{C}_{16}\text{H}_{34}\text{O}$   | 15.2068                 | 2062 |
| 24 | 2-(十四氧基)乙醇                 | $\text{C}_{16}\text{H}_{34}\text{O}_2$ | 6.3044                  | 2326 |
| 酚类 |                            |                                        |                         |      |
| 1  | 4-乙基-2-甲氧基苯酚               | $\text{C}_9\text{H}_{12}\text{O}_2$    | 8.4705                  | 1906 |
| 2  | 2-甲氧基-5-丙-2-烯基苯酚           | $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$ | 10.9717                 | 2030 |
| 3  | 4-乙基苯酚                     | $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}$      | 7.6485                  | 2034 |
| 4  | 反式甲基异丁香酚                   | $\text{C}_{11}\text{H}_{14}\text{O}_2$ | 8.2379                  | 2050 |
| 5  | 异丁香酚                       | $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$ | 14.0576                 | 2194 |
| 醚类 |                            |                                        |                         |      |
| 1  | 桉叶油醇                       | $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$   | 3.7174                  | 1145 |

续表 5

| 序号           | 化合物名称                 | 分子式                                      | 含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) | 保留指数 |
|--------------|-----------------------|------------------------------------------|--------------------------------|------|
| 2            | 十二烷基二乙二醇醚             | $\text{C}_{16}\text{H}_{34}\text{O}_3$   | 13.9514                        | 2484 |
| 含硫含氮及其他杂环化合物 |                       |                                          |                                |      |
| 1            | 硫化丙烯                  | $\text{C}_3\text{H}_6\text{S}$           | 71.6499                        | 836  |
| 2            | 二烯丙基硫醚                | $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{S}$        | 8.1299                         | 1072 |
| 3            | 2-正戊基呋喃               | $\text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}$        | 22.0242                        | 1154 |
| 4            | 5-硫代环[4.1.0.0(2,4)]庚烷 | $\text{C}_6\text{H}_8\text{S}$           | 2.0726                         | 1170 |
| 5            | 烯丙基甲基二硫醚              | $\text{C}_4\text{H}_8\text{S}_2$         | 7.2452                         | 1199 |
| 6            | 2-乙烯基噻吩               | $\text{C}_6\text{H}_6\text{S}$           | 2.0611                         | 1218 |
| 7            | 二甲基三硫                 | $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}_3$         | 2.7704                         | 1296 |
| 8            | 乙基胂                   | $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2$         | 138.3006                       | 1369 |
| 9            | 3-甲硫基丙醛               | $\text{C}_4\text{H}_8\text{OS}$          | 2.0825                         | 1369 |
| 10           | 二烯丙基二硫                | $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{S}_2$      | 148.7142                       | 1396 |
| 11           | 反-烯丙基丙烯基二硫醚           | $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{S}_2$      | 20.8502                        | 1402 |
| 12           | 川芎嗪                   | $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{N}_2$      | 10.3382                        | 1408 |
| 13           | 3-氢-1,2-二唑            | $\text{C}_3\text{H}_4\text{S}_2$         | 6.715                          | 1432 |
| 14           | 甲基烯丙基三硫醚              | $\text{C}_4\text{H}_8\text{S}_3$         | 4.8244                         | 1499 |
| 15           | 5-氨基甲基四唑              | $\text{C}_2\text{H}_5\text{N}_5$         | 4.6153                         | 1569 |
| 16           | 3-甲基-3-氢-1,2-二唑       | $\text{C}_4\text{H}_6\text{S}_2$         | 5.2176                         | 1632 |
| 17           | 3-乙烯基-1,2-二硫代环己-4-烯   | $\text{C}_6\text{H}_8\text{S}_2$         | 155.5186                       | 1635 |
| 18           | 二烯丙基三硫醚               | $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{S}_3$      | 8.503                          | 1689 |
| 19           | 4-烯丙基苯甲醚              | $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}$     | 39.6429                        | 1723 |
| 20           | 5-甲基-1,2,3-噻二唑        | $\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2\text{S}$ | 5.1929                         | 1733 |
| 21           | 2-乙烯基-4-氢-1,3-二噻吩     | $\text{C}_6\text{H}_8\text{S}_2$         | 30.7068                        | 1733 |

烃类化合物检出较多,但阈值较高,对风味的贡献较小<sup>[31]</sup>。其中含量比较高的是苧烯、3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯、姜烯、 $\alpha$ -姜烯、 $\beta$ -红没药烯、 $\alpha$ -法尼烯、 $\alpha$ -姜黄烯、 $\beta$ -倍半水芹烯。并首次检出左旋-1-甲基-5-(1-甲基乙烯基)环己烯。醛类化合物检出数量最多,但含量总体较低,具有脂肪香气,是肉香味的来源<sup>[32]</sup>。饱和直链醛通常具有尖刺的、令人不快的气味;不饱和烯醛通常有青草香、暗香或似亚麻油的香气;支链的饱和醛有青草香、果香、坚果香和奶酪香;长链脂肪醛则具有明显脂香特征<sup>[33]</sup>。其中含量较高的是顺-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、(反,反)-2,4-癸二烯醛,这与张玥琪等<sup>[9]</sup>的研究结果一致。不饱和烯醛(反,反)-2,4-癸二烯醛具有油炸食品的脂香,对猪肉香味贡献较大,反-2-己烯醛、反-2-辛烯醛、反-2-癸烯醛等对鱼肉类鲜香有较大贡献<sup>[34]</sup>。

酮类、酸类、酚类、醚类化合物种类较少。酮

类化合物大多阈值较高,对风味影响不大。但有些酮类是形成杂环化合物的重要中间体,对肉香味的形成起重要作用<sup>[35]</sup>。酸类化合物检出较少,对整体风味影响较小,可能来源于泡辣椒发酵产生的物质。检测出少量酚类化合物,可能来自菜肴中的鱼香味和泡椒香气<sup>[34-36]</sup>。醚类化合物也比较少,但由于含苯环的醚大多具有强烈的愉快的香气<sup>[37]</sup>,因此对风味也有影响。

酯类化合物大多具有香甜果味,对风味的贡献很大<sup>[38]</sup>。本实验检测出的乙酯类化合物含量较高,这些物质赋予了菜肴辣椒的酸、辣香气<sup>[39]</sup>。醇类化合物种类较多,含量比较低,但对风味也有一定的贡献。4-萜烯醇、香茅醇、橙花醇可能来源于香辛料,其余可能是由于泡辣椒发酵产生。

种类和含量都较多的是含硫含氮及其他杂环化合物,共有 21 种。这类化合物大多数具有肉类香气,在痕量的条件下也会对菜肴的特征风味产生

重要影响<sup>[40]</sup>。含量较高的为 2-正戊基呋喃、3-烯基-1,2-二硫代环己-4-烯、二烯丙基二硫。其中二烯丙基二硫、二烯丙基硫醚、二烯丙基三硫醚是大蒜的主要成分<sup>[19]</sup>,可以推测大蒜对鱼香肉丝的风味影响较大,同时也印证了电子鼻测定过程中电子鼻对硫化物响应值最强。

在所鉴定的化合物中醛类、酯类、含硫含氮化合物及其他杂环化合物都对鱼香肉丝的风味有着重要的影响。其中含量较高并且对风味有重要贡献的化合物包括  $\alpha$ -姜黄烯、(反,反)-2,4-癸二烯醛、反-2-己烯醛、反-2-辛烯醛、反-2-癸烯醛、4-乙基-2-甲氧基苯酚、3-烯基-1,2-二硫代环己-4-烯、二烯丙基二硫、二烯丙基硫醚、二烯丙基三硫醚。

### 3 结 论

本文通过正交试验优化了鱼香肉丝的配方参数,同时根据理化指标对比了不同的杀菌条件及储藏方式对产品品质的影响,并分析了产品中挥发性风味物质。结果明确了鱼香肉丝酱料最优配方、产品杀菌条件及储藏温度,鉴定了产品中的挥发性风味物质,为鱼香肉丝方便菜肴工业化生产提供了一定的理论依据。本文没有对青笋及木耳进行研究,后续可以研究青笋的护色保脆工艺及青笋、木耳的添加方式对产品的影响。研究者还可以对储藏期间鱼香肉丝的微生物群落结构变化进行研究,进一步延长货架期。

### 参 考 文 献

- [1] 姜舜怀. 鱼香味的烹饪应用[J]. 美食, 2010(11): 20-21.
- JIANG S H. Cooking application of fish flavor[J]. Gourmand, 2010(11): 20-21.
- [2] 童文烽, 袁继红, 周仁客, 等. 鱼香肉丝在烹饪前后营养成分的评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(10): 306-311.
- TONG W F, YUAN J H, ZHOU R K, et al. Evaluation of nutrient composition of Fish-flavored Pork before and after cooking[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(10): 306-311.
- [3] 谭小琴, 段珍珍, 周才琼. 低温贮藏对真空包装酸肉食用卫生及感官品质的影响及酸肉保质期预测[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2020, 35(5): 871-877.
- TAN X Q, DUAN Z Z, ZHOU C Q. Effect of cryopreservation on the hygienic and sensory quality of vacuum-packed sour pork and prediction of the shelf life of sour pork[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2020, 35(5): 871-877.
- [4] DU M J, LIU Z T, ZHANG X T, et al. Effect of pulsed controlled atmosphere with CO<sub>2</sub> on the quality of watercored apple during storage[J]. Scientia Horticulturae, 2021, 278: 109854.
- [5] STEPHANIE R R, MARCELO V G, MARINA V C, et al. Effect of controlled atmosphere, vacuum packaging and different temperatures on the growth of spoilage fungi in shelled pecan nuts during storage[J]. Food Control, 2021, 128: 168-173.
- [6] 芦健萍. 响应面法优化鱼香肉丝风味蛋糕工艺的研究[J]. 农产品加工, 2020(13): 41-45.
- LU J P. Study on optimization of fish-flavored pork shredded cake technology by response surface methodology[J]. Farm Products Processing, 2020(13): 41-45.
- [7] 朱文政, 华蕾, 钱翔羽, 等. 响应面法优化鱼香味型烹饪参数及主成分识别研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(7): 27-32.
- ZHU W Z, HUA L, QIAN X Y, et al. Optimizing cooking parameter and recognizing main component of fish flavor type by response surface methodology[J]. Food Research and Development, 2016, 37(7): 27-32.
- [8] 张雷, 魏登, 王萌. 基于东北特色食材的鱼香肉丝预调食品配方优化及其成品菜肴挥发物成分表征研究[J]. 中国调味品, 2022, 47(2): 55-59.
- ZHANG L, WEI D, WANG M. Optimization of pre-prepared food formula of shredded pork with garlic sauce based on northeast special ingredients and characterization of volatile components in finished dishes[J]. China Condi-ment, 2022, 47(2): 55-59.
- [9] 张玥琪, 章慧莺, 陈海涛, 等. 鱼香肉丝挥发性风味成分的分离与鉴定[J]. 精细化工, 2014, 31(10): 1220-1228.
- ZHANG Y Q, ZHANG H Y, CHEN H T, et al. Analysis of volatile flavor compounds in Yu-Shiang shredded pork[J]. Fine Chemicals, 2014, 31(10): 1220-1228.
- [10] 袁灿, 何莲, 胡金祥, 等. 基于电子舌和电子鼻结合氨基酸分析鱼香肉丝调料风味的差异[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 48-55.
- YUAN C, HE L, HU J X, et al. The flavour difference of Yu-shiang Shredded Pork seasoning revealed by

electronic nose, electronic tongue and automatic amino acid analyzer[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(9): 48–55.

[11] 黄文垒. 响应面法优化鱼香肉丝防腐保鲜配方的研究[J]. *农产品加工*, 2015(13): 23–27.

HUANG W L. Optimization of the Shredded Pork with Garlic Sauce of preservation formula by response surface[J]. *Farm Products Processing*, 2015(13): 23–27.

[12] 唐勇, 车振明, 陈广川, 等. 一种川菜鱼香肉丝即食餐包工业化加工保鲜的工艺: CN110897095A [P]. 2020-03-24.

TANG Y, CHE Z M, CHEN G C, et al. An industrialized processing and fresh-keeping technology of Sichuan fish flavored shredded pork instant meal bag: CN110897095A, 2020-03-24 [P]. 2020-03-24.

[13] 谢洪山. 中餐冷链标准化菜品存储研究[J]. *现代食品*, 2020(8): 113–115.

XIE H S. Research on the storage of Chinese cold chain standardized dishes on storage standardization of Chinese cold chain dishes[J]. *Modern Food*, 2020(8): 113–115.

[14] 徐继成. 纳米氧化锌—射频协同杀菌对典型菜肴品质与安全性的影响及其机理研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2018.

XU J C. Effects and mechanism analysis of ZnO nanoparticles combined radio frequency pasteurization on the quality of Chinese typical dishes[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.

[15] 姚远, 曾敏, 彭玉慧, 等. 粽子储存保鲜工艺研究[J]. *现代食品*, 2021(15): 60–66.

YAO Y, ZENG M, PENG Y H, et al. Study on storage and fresh-keeping technology of Zongzi[J]. *Modern Food*, 2021(15): 60–66.

[16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中挥发性盐基氮的测定: GB 5009.228—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[18] 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 pH 值的测定: GB 5009.237—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[19] RESTITUTO T, WU Y C, DONG L, et al. Boiling enriches the linear polysulfides and the hydrogen sulf-

ide-releasing activity of garlic[J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 1867–1873.

[20] 姚慧, 祁雪儿, 毛俊龙, 等. 3 种鱿鱼冻藏过程中肌原纤维蛋白功能特性变化 [J]. *食品科学*, 2021, 42(7): 207–213.

YAO H, QI X E, MAO J L, et al. Changes in functional properties of myofibrillar proteins in three species of squid during frozen storage[J]. *Food Science*, 2021, 42(7): 207–213.

[21] KOWALSKI E, ALUWE M, VOSSSEN E, et al. Quality characteristics of fresh loin and cooked ham muscles as affected by genetic background of commercial pigs[J]. *Meat Science*, 2021, 172: 108352.

[22] CHIOZZI V, AGRIPOULOU S, VARZAKAS T. Advances, applications, and comparison of thermal (pasteurization, sterilization, and aseptic packaging) against non-thermal (ultrasounds, UV radiation, ozonation, high hydrostatic pressure) technologies in food processing[J]. *Applied Sciences*, 2022, 12(4): 72–79.

[23] LI H, SUN X, LIAO X, et al. Control of pathogenic and spoilage bacteria in meat and meat products by high pressure: Challenges and future perspectives.[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020, 19(6): 3476–3500.

[24] BEKHIT A, GITERU S, HOLMAN B, et al. Total volatile basic nitrogen and trimethylamine in muscle foods: Potential formation pathways and effects on human health[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, 20(4): 3620–3666.

[25] 李雅晶, 周兵, 刘悦, 等. 微冻及真空包装对原汁整壳贻贝贮存期品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(2): 267–272.

LI Y J, ZHOU B, LIU Y, et al. Effects of partial freezing and vacuum packaging on storage quality of whole shell mussel with original juice[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(2): 267–272.

[26] SUN S, ZHAO J, LUO Z, et al. Systematic evaluation of the physicochemical properties and the volatile flavors of yak meat during chilled and controlled freezing-point storage[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 57(4): 1351–1361.

[27] 何靖柳, 丁捷, 董赞, 等. 微波处理后坛子肉在不同温度下产品的贮藏特性及其货架期预测[J]. *食品与发酵科技*, 2018, 54(5): 18–24.

HE J L, DING J, DONG Y, et al. Storage characterist-

ics and shelf life prediction of Ceramic-pot Sealed Meat with microwave treatment stored at different temperatures[J]. *Food and Fermentation Sciences & Technology*, 2018, 54(5): 18–24.

[28] VANDEMOORTELE A, HEYNDERICKX P M, LELOUP L, et al. Kinetic modeling of malondialdehyde reactivity in oil to simulate actual malondialdehyde formation upon lipid oxidation[J]. *Food Research International*, 2021, 140: 150–163.

[29] 冯秋凤, 高瑞昌, 赵元晖, 等. 真空低温蒸煮技术对鲟鱼鱼堡冷藏品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(7): 134–142.

FENG Q F, GAO R C, ZHAO Y H, et al. The effect of sous vide on the cold storage quality of sturgeon fish steak[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(7): 134–142.

[30] 罗影, 王舒婷, 曲凤凤, 等. 电子鼻技术与感官审评技术联用评价山东抹茶香气品质研究[J/OL]. *山东农业科学*. [2022-10-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/37.1148.S.20221009.1302.002.html>

LUO Y, WANG S T, QU F F, et al. Evaluation of aroma quality of Shandong Matcha by combining electronic nose and sensory evaluation technology[J/OL]. *Shandong Agricultural Sciences*. [2022-10-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/37.1148.S.20221009.1302.002.html>

[31] 孙宝国, 何坚. 香料化学与工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 85-87.

SUN B G, HE J. Spices and chemical technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003: 85-87.

[32] CHEN L, WANG Z L, JI L L, et al. Flavor Composition and Microbial Community Structure of Mianning Ham[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2021, 11: 623775.

[33] JIAN Z, MENG W, JIAN X, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig[J]. *Food Chemistry*, 2017, 226: 51–60.

[34] 尹一鸣, 徐永霞, 张朝敏, 等. 水产品贮藏期间风味劣变机理的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(14): 269–274.

YIN Y M, XU Y X, ZHANG C M, et al. The progress on flavor deterioration mechanism of aquatic products

during storage[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(14): 269–274.

[35] WANG D, ZHANG J, ZHU Z, et al. Effect of ageing time on the flavour compounds in Nanjing water-boiled salted duck detected by HS-GC-IMS[J]. *LWT*, 2022, 155: 112870.

[36] 黄春蓉, 李万琪, 黄蓓蓓. 对比干鲜辣椒酱的品质分析及其产业效益研究[J]. *中国调味品*, 2022, 47(10): 127–130.

HUANG C R, LI W Q, HUANG B B. Study on comparison of quality analysis and industrial benefits of dry and fresh chili sauces[J]. *China Condiment*, 2022, 47(10): 127–130.

[37] 杨芳, 范成梦, 贾洪锋, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱对不同产地羊肚菌风味化合物的分析[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(10): 207–213.

YANG F, FAN C M, JIA H F, et al. Analysis of flavor compounds of *Morchella* spp. from different habitats based on gas chromatography-ion mobility spectrum[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(10): 207–213.

[38] 樊美琪, 杨芳, 贾洪锋, 等. 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[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(13): 274–283.

FAN M Q, YANG F, JIA H F, et al. Effects of Pixian Douban and Douchi on the volatile flavor compounds of Fried Pork with Salted Pepper based on GC-MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(13): 274–283.

[39] 肖阳, 张玥琪, 郭贝贝, 等. 两种方式加工鱼香肉丝的 SDE-GC-MS 挥发性风味成分对比[J]. *食品科学*, 2015, 36(14): 70–75.

XIAO Y, ZHANG Y Q, GUO B B, et al. Comparison of volatile flavor compounds in Yu-Shiang Shredded Pork processed by two different methods by SDE-GC-MS[J]. *Food Science*, 2015, 36(14): 70–75.

[40] KALE P, MISHRA A, ANNAPURE U. Development of vegan meat flavour: A review on sources and techniques[J]. *Future Foods*, 2022, 5: 100149.

(编校: 叶超)