

还传明, 李华, 王恒鹏, 等. 6 款市售狮子头的品质及风味分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(9): 245–254. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050209

HUAN Chuanming, LI Hua, WANG Hengpeng, et al. Quality and Flavor Analysis of Six Commercially Available Stewed Pork Balls[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(9): 245–254. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050209

· 分析检测 ·

6 款市售狮子头的品质及风味分析

还传明¹, 李 华¹, 王恒鹏^{1,2}, 吴 鹏^{1,2}, 许志诚^{1,2}, 高苏敏¹, 徐安琪¹, 吴丹璇¹, 张 桓¹, 孟祥忍^{1,2,*}

(1.扬州大学旅游烹饪学院, 江苏扬州 225127;

2.中餐非遗技艺传承文化和旅游部重点实验室, 江苏扬州 225127)

摘 要:为明确现有市售狮子头产品的品质差异, 本研究通过 6 款不同品牌 (A1-口缘、A2-五亭桥、A3-琪津、A4-老扬城、A5-三珍斋、A6-黄珏) 市售狮子头的感官、色泽、质构特性、失水率、脂肪氧化等理化指标综合分析市售狮子头的品质性状, 结合游离脂肪酸和挥发性风味物质进行表征。结果表明, A1 狮子头感官评分高达 34 分, 6 款市售狮子头中 A4 的红度值高达 3.46 ± 0.08 , 而 A1 的脂肪氧化值最低为 0.44 mg MDA/kg, 其中 A5、A6 的咀嚼性较低为 0.21 ± 0.02 、 0.32 ± 0.11 mJ; 6 款市售狮子头以油酸为主, 其次以棕榈酸、硬脂酸等饱和脂肪酸构成, 狮子头中的多不饱和脂肪酸被大量氧化反应分解为醛类等物质, 同时饱和脂肪酸含量明显提升。 γ -松油烯、己醛、芳樟醇、壬醛等为其共有的挥发性风味物质, 除此之外, A1 主要关键挥发性风味物质为 2-戊基呋喃, A2 主要关键挥发性风味物质为巴伦西亚橘烯、甲基庚烯酮、异戊醛, 而 A4 主要关键挥发性风味物质为辛酸乙酯, A5 为 4-萜烯醇、十一醇、甲硫醇、糠醇、糠醛、硬脂酸甲酯、茴香脑, A6 则是十一醇、苯丙醛。因此烃类、醛类与醇类、酮类可能是影响不同市售狮子头产品风味品质的主要因素。该研究结果可为市售狮子头产品质量评价体系的构建以及风味统一与产品开发生产提供理论参考。

关键词:狮子头, 品质分析, 脂肪氧化, 游离脂肪酸, 挥发性风味物质

中图分类号: TS251.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)09-0245-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050209

本文网刊:



Quality and Flavor Analysis of Six Commercially Available Stewed Pork Balls

HUAN Chuanming¹, LI Hua¹, WANG Hengpeng^{1,2}, WU Peng^{1,2}, XU Zhicheng^{1,2}, GAO Sumin¹, XU Anqi¹, WU Danxuan¹, ZHANG Huan¹, MENG Xiangren^{1,2,*}

(1.School of Tourism and Cuisine, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China;

2.Key Laboratory of Chinese Cuisine Intangible Cultural Heritage Technology Inheritance, Ministry of Culture and Tourism, Yangzhou 225127, China)

Abstract: In order to clarify the quality differences of existing commercially available stewed pork ball products, this study comprehensively analyzed the quality traits of commercially available stewed pork ball of six different brands (A1-Mouth Edge, A2-Wutting Bridge, A3-Kijin, A4-Lao Yangcheng, A5-Sanzhenzhai, and A6-Huangjue) on the physicochemical indices of organoleptic, colour and lustre, textural characteristics, water loss rate and fat oxidation, combined with the free fatty acids and volatile flavour compounds to characterize. The results showed that the sensory score of the A1 stewed pork ball was as high as 34 points, and the redness value of A4 was as high as 3.46 ± 0.08 among the six types of commercially available stewed pork balls, while the fat oxidation value of A1 was the lowest at 0.44 mg MDA/kg, and the masticatory of A5 and A6 was lower at 0.21 ± 0.02 and 0.32 ± 0.11 mJ, respectively. The free fatty acids composition of the six commercially available stewed pork balls, which were mainly composed of oleic acid and secondly composed of saturated

收稿日期: 2023-05-18

基金项目: 中国营养学会百胜餐饮健康基金项目 (CNS-YUM2020A17); 扬州市“绿扬金凤计划”领军人才。

作者简介: 还传明 (1999-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 烹饪科学与动物源性食品营养加工, E-mail: 1378804819@qq.com。

* 通信作者: 孟祥忍 (1976-), (ORCID: 0000-0003-1255-1216), 男, 博士, 教授, 研究方向: 动物源性食品, E-mail: xrmeng@yzu.edu.cn。

fatty acids such as palmitic acid and stearic acid. The polyunsaturated fatty acids in stewed pork balls were decomposed into aldehydes and other substances by a large number of oxidation reactions, while the content of saturated fatty acids was significantly increased. γ -Pinene, hexanal, linalool, nonanal, etc. were the common volatile flavor substances, in addition, the main key volatile flavor substances of A1 were 2-pentyl furan, the main volatile flavor compounds of A2 were Valencia orange alkene, methyl heptane, isovaleraldehyde, while A4 was ethyl caprylate, A5 was 4-terpineol, undecyl alcohol, methyl mercaptan, furfuryl alcohol, furfural, methyl stearate, anethole, and A6 was undecyl alcohol, phenylpropanoid. Thus, hydrocarbons and aldehydes, along with alcohols and ketones, might be the major factors affecting the flavor quality of various commercially available stewed pork ball products. The results of this study may provide a theoretical reference for the construction of the product quality evaluation system for commercially available stewed pork ball products, as well as flavor unification and product development and production.

Key words: stewed pork ball; quality analysis; fat oxidation; free fatty acids; volatile flavor substances

中国肉糜类菜肴品种繁多且风味独特,而狮子头是传统的淮扬名菜,更是蓉胶类工艺菜肴中的瑰丽臻宝。随着近些年来食品工业发展,科学技术的革新,传统的家庭烹饪及饮食格局正在被打破,快节奏的生活方式诞生了大量便捷化餐饮的需求,因此大量的预制菜产品出现在现有消费市场中^[1-2],而狮子头无可争议的成为了预制菜产品中的爆款商品,越来越多的企业加入了狮子头的产品赛道,但对于如此纷繁多样的品牌狮子头,其品质却大不相同,极大的影响着消费者的购买体验。

产品销售火热,但对于狮子头的研究尚显不足,且目前有关狮子头产品的研究主要集中于加工工艺参数优化,缺少相关品质评价标准研究,同时大多数的研究对象为现烹狮子头菜品,对于产业化的狮子头预制菜产品的品质及风味的评价与分析尚未有研究。如唐建华等^[3]运用正交试验对传统狮子头的工艺进行了优化改进,得出烹煮时间对于狮子头感官品质的影响程度较深。朱文政等^[4]研究员探究了不同肥瘦比以及烹制时间对于传统狮子头营养成分及风味成分的影响,确定了传统狮子头制作过程中的最佳烹饪时间和肥瘦比例。杨眉等^[5]则研究了不同鱼浆种类对于所构成的复合狮子头的品质影响得出了漂洗冷冻鱼浆制作的复配狮子头品质最佳。李冉等^[6]研究了不同气调包装条件下对于狮子头冷藏过程中微生物变化及菌群结构的分析,得出 40% CO₂+60% N₂ 组在狮子头贮藏过程中微生物的控制方面效果更加明显。

因此,本文以 6 种不同品牌的市售狮子头为研

究对象,探究其色泽、质构、感官、脂肪氧化等品质差异,并采用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)明确市售狮子头的游离脂肪酸与风味组分,旨在为扬州地方狮子头标准化与品质特征标识及后续生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

市售狮子头 从扬州大润发、特产商店等挑选 6 种不同品牌主要原料相同、肥瘦比、生产日期接近的市售狮子头,将样品依次编号为: A1-口缘狮子头; A2-五亭桥狮子; A3-琪津狮子头; A4-老扬城狮子头; A5-三珍斋狮子头; A6-黄珏狮子头。产品信息如表 1 所示。购买的样品置于 0~4 ℃ 保藏,实验前产品打开包装后摆入盘子中,万能蒸烤箱,蒸汽 100 ℃, 15 min 进行复热(模拟顾客食用时的最终品质); 甲醇、正己烷、苯、石油醚、无水硫酸钠、浓盐酸、三氯乙酸、氢氧化钾 以上试剂均由国药集团化学试剂有限公司提供。

TGL-16M 高速冷冻离心机 湖南湘仪离心机仪器有限公司; TC-400A 真空包装机 上海星贝包装机械有限公司; HKS-30VT 真空滚揉机 无锡市哈克逊工贸有限公司; PHS-25 台式酸度计 上海仪电科学仪器股份有限公司; TMS-Pro/Touch 物性分析仪 北京盈盛泰科技有限责任公司; Trace ISQII 型气相色谱质谱联用仪 美国 Thermo 公司; HH-4 数显恒温水浴锅 江苏金坛市环宇科学仪器厂; P1 紫外可见分光光度计 上海美普达仪器有限公司; PR224ZH/E 电子天平 奥豪斯仪器有限公司。

表 1 产品基本情况

Table 1 Basic information of products

组别	加工程度	配料	生产日期	工艺
A1	肉粒	猪肉、水、鸡蛋、白砂糖、食用盐、酿造酱油、味精、葱、姜、食品添加剂(D-异抗坏血酸钠、山梨酸钾)	2022.09.16	炖煮
A2	肉粒+肉糜	猪肉、水、白砂糖、盐、酱油、食用玉米淀粉、鸡蛋、味精、葱、生姜、黄酒	2022.09.25	炖煮
A3	肉粒+肉糜	猪肉、鸡蛋、酱油、白砂糖、味精、葱、姜、黄酒、食用盐	2022.09.09	炸制成型后炖煮
A4	肉粒+肉糜	猪肉、鸡蛋、水、味精、食用盐、酱油、白砂糖、淀粉、虾籽、葱、姜、白酒、亚硝酸钠	2022.09.25	炖煮
A5	肉糜	猪肉、鸡蛋、饮用水、大豆蛋白、白砂糖、食用盐、味精、酱油、香辛料、乙酰化二淀粉磷酸酯、三聚磷酸钠、焦磷酸钠、六偏磷酸钠、卡拉胶、黄原胶、魔芋粉、麦芽糊精、食用香精	2022.09.16	炖煮
A6	肉粒+肉糜	猪肉、鸡蛋、水、酱油、白砂糖、大葱、姜、黄酒、食用盐、山梨酸钾	2022.09.23	炖煮

1.2 实验方法

1.2.1 感官评价 选定 5 位男生、5 位女生, 其中经过感官训练的年轻学生 4 名, 富有经验的中年烹饪从业者 6 名, 组成专业的感官评定小组, 所有的感官评定人员均熟悉狮子头的品质特征, 对狮子样品外形、香气、质地、滋味、色泽五个方面进行评分, 总分 50 分, 具体评分标准^[7-8]见表 2。

1.2.2 色泽测定 测定狮子头产品表面色泽, 将市售狮子头切成 1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm 的立方体用于测定。在室温条件下进行色差仪校正, 测定色泽的参数为亮度值 L^* 、红绿值 a^* 和黄蓝值 b^* , 每组 6 个平行。记录数据。

1.2.3 失水率测定 失水率参考 Farouk 等^[9]的方法略作修改。将狮子头切成约 1 cm×1 cm×1 cm 的立方体, 准确称量样品质量。用双层纱布包裹肉样并在肉样上下各垫 10 层定性滤纸, 使用钢环式膨胀压缩仪将肉样加压至 35 kg 并保持 5 min, 记录加压后肉样质量。

结果计算:

$$\text{失水率}(\%) = \frac{\text{样品原质量}(\text{g}) - \text{加压后样品质量}(\text{g})}{\text{样品原质量}(\text{g})}$$

1.2.4 质构测定 将狮子头切成 1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm 的立方体, 用 TMS-pro 物性测定仪测定狮子头的弹性、咀嚼性、硬度、内聚性、胶黏性和黏附性。测定参数: P/35 柱形探头, 测试速度 60 mm/min, 形变量 50%, 触发力 0.5 N。每组 6 个平行^[10]。

1.2.5 脂肪氧化(TBARS)值的测定 根据国标 GB 5009.181-2016^[11]; 取 0.5 g 狮子头样品, 加入 7.5 mL 三氯乙酸混合液, 匀浆液于 4 ℃ 下 10000 r/min 离心 5 min; 将样品上清液用滤纸和漏斗过滤, 取 2 mL 滤液于试管中, 加入 2 mL TBA 水溶液, 空白为 2 mL 三氯乙酸混合溶液+2 mL TBA 水溶液。100 ℃ 沸水浴 40 min, 取出后冷却 15 min 至室温。取 200 μL 样品于酶标板中, 532 nm 测定其吸光度。

1.2.6 游离脂肪酸测定 根据高子武等^[12]的方法稍加修改, 狮子头切碎混合均匀, 准确称取 15 g 放置于 100 ℃ 下烘干 1 h。烘干完成后称取 0.5 g 样品置于 10 mL 离心管中, 加入 2 mL 苯-石油醚(1:1)混

合试剂, 密闭避光常温浸提 24 h; 加入 2 mL 氢氧化钾-甲醇溶液(0.4 mol/L), 振摇 3 min, 静置 30 min, 加 2 mL 水分层, 振荡混匀, 静置分层后取上清液, 加入适量无水硫酸钠; 取 100 μL 上述样品, 加入 1 mL 正己烷稀释, 混匀后过 0.22 μm 滤膜进样。

色谱条件: 色谱柱为 DB-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm); 进样温度 260 ℃; 进样量 1 μL; 分流比为 10:1; 载气为氦气(99.999%); 流量 1.0 mL/min; 升温程序: 柱温 70 ℃ 保持 4 min, 以 10 ℃/min 升至 200 ℃, 再以 5 ℃/min 升至 300 ℃, 保持 8 min。

质谱条件: 离子源温度: 200 ℃; 电离方式: EI 为 70 eV; 光电倍增管电压: 450 V; 扫描方式: 全扫描; 质量范围: 33~500 m/z; 溶剂延迟 4 min。

1.2.7 挥发性风味物质测定 参考王瑞花等^[13]测定方法稍作修改, 称取 2 g 狮子头混合碎样放置于 15 mL 萃取瓶并加入 5 mL 饱和食盐水。平衡 10 min, 采用 75 μm CAR/PDMS 固相微萃取头在 60 ℃ 吸附 40 min, 插入 GC 进样口中, 热解析 6 min。

色谱条件: 毛细管柱为 DB-5 柱(30 m×250 μm, 0.25 μm), 以高纯氦气为载气, 恒定流速为 1.0 mL/min。柱箱采用程序升温, 起始温度 40 ℃, 保持 2 min, 以速度 5 ℃/min 升到 160 ℃, 保持 1 min, 再以 10 ℃/min 升到 250 ℃, 保持 4 min。进样口温度 250 ℃, 分流进样模式(分流比 10:1)。

质谱条件: 电离方式为 EI, 电子能量为 70 eV; 接口温度 280 ℃, 离子源温度 230 ℃, 四极杆温度 150 ℃, 扫描质量范围 45.00~350.00 m/z, 扫描频率 4.58/s。

1.3 数据处理

实验平行 3 次, 每个平行至少重复 3 次, 采用 IBM SPSS statistics 26 软件对数据进行显著性分析和方差分析, 实验结果数据以平均值±标准差表示, $P<0.05$ 表示数据间存在显著性差异, 采用 Excel 2020 软件进行数据分析与制表。

2 结果与分析

2.1 感官品质

如图 1 可知 6 款市售狮子头中 A4 的色泽综合评分为 3 分, A3、A5、A6 的质地得分均在 7 分以上, 由于 A4 加入亚硝酸钠, 因此肉色粉嫩, 致使感官

表 2 感官评价标准
Table 2 Sensory evaluation criteria

指标	评分		
	7~10分	4~6分	1~3分
外形(10分)	组织紧密, 形状饱满, 颗粒分明, 表面有肥瘦肉颗粒的凹凸感。	组织较紧密, 形状略饱满, 颗粒较不分明, 表面肥瘦肉颗粒的凹凸感较弱。	组织松散, 形状不规则, 颗粒不分明, 表面无肥瘦肉颗粒的凹凸感。
香气(10分)	肉香明显, 风味独特。	肉香较明显, 无其他异味。	无明显肉香, 有异味。
质地(10分)	质感软嫩, 肥肉入口即化, 瘦肉略有弹性。	质感软嫩, 肥肉入口有少许弹性, 瘦肉略有韧性。	质感较老, 肥肉入口不软嫩。
滋味(10分)	肉味充足, 肥而不腻, 咸鲜适中, 风味明显。	肉味较充足, 肥肉有少许油腻感, 咸鲜感较好, 风味较明显。	肉味不足, 肥肉有油腻感, 咸鲜感差, 风味不明显。
色泽(10分)	红烧狮子头, 酱汁酱红色, 狮子头呈深牙黄色, 色泽光亮。	红烧狮子头, 酱汁酱红色较浅, 色泽较浅。	红烧狮子头, 酱汁酱红色浅, 色泽暗。

者对产品成熟度判断产生歧义,余下品种间色泽评分接近。综合分析来看软滑、柔嫩的质感以及在此基础上略带有一定弹性特征的狮子头产品都深受感官评价者的喜爱。外形上肉粒分明的狮子头更符合感官评分标准,提升了狮子头菜肴的工艺特点。

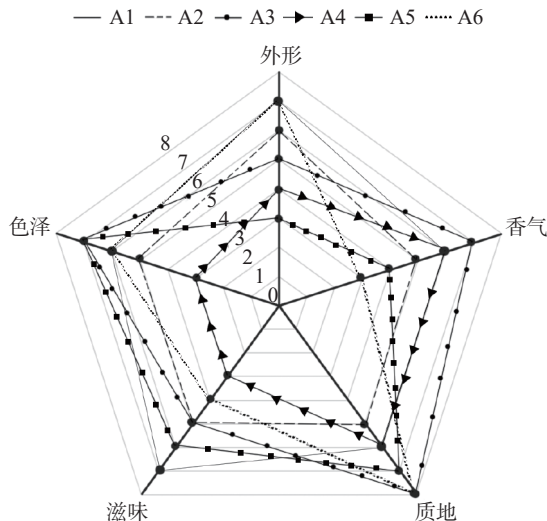


图1 不同市售狮子头感官差异

Fig.1 Sensory differences of different commercially available stewed pork balls

2.2 色泽分析

狮子头的色泽很大程度上影响着消费者的购买意愿^[14],此外,肉制品的结构、水分、pH、微生物腐败状态、氧化和变性也会影响光反射和亮度感知。由表3可知A4、A2、A6品牌狮子头的 L^* 较之A1、A3、A5三种品牌狮子头显著增加($P<0.05$),猜测主要是两种狮子头添加生油较少,焦糖色占比减少,脂肪呈现乳白色,并且脂肪的油润感带来更多的反射光,而A3的 b^* 值较之A4、A5、A6差异明显($P<0.05$),是由于A3加工过程经过炸制,使得狮子头发生一定焦糖化反应,色泽偏黄。 a^* 值最高的为A4,其产品中加入了亚硝酸钠,产品在发色剂的发色作用下呈现粉红色,因此对比其它几种产品导致红度值差异显著($P<0.05$)。因此在狮子头产品添加亚硝酸钠等发色剂,进行色泽上的改变是难以被消费者接受的,合理的酱油添加以及保水性提升带来的色泽变化方式更适合于狮子头产品的色泽提升。

表3 不同市售狮子头的肉色差异

Table 3 Meat color difference of different commercially available stewed pork balls

样品	L^*	a^*	b^*
A1	78.07±0.29 ^d	1.69±0.05 ^d	5.69±0.16 ^b
A2	79.68±0.4 ^b	2.44±0.13 ^{bc}	5.26±0.22 ^c
A3	78.51±0.7 ^{cd}	2.26±0.19 ^b	6.17±0.48 ^a
A4	79.54±0.22 ^b	3.46±0.08 ^a	4.5±0.07 ^d
A5	78.8±0.65 ^c	1.83±0.08 ^{cd}	4.55±0.28 ^d
A6	80.71±0.57 ^a	1.96±0.03 ^c	4.56±0.21 ^d

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),表4同。

2.3 失水率分析

失水率是衡量肉品保水性能的重要指标之一^[15],狮子头预制菜品经过复热后的失水率越高,其含水量则越高。由图2可知失水率A2>A1>A5>A4>A3>A6, A2失水率最高,猜测其狮子头产品在搅打过程中NaCl与H₂O的配比最佳,NaCl溶于H₂O中电离出钠离子与氯离子,增强了肌肉中肌球蛋白分子的极性基团对水的吸附能力,适当的渗透压也使得更多的水分进入狮子头中^[16]。加之A1、A2采用水煮的烹饪方式,不同于A3炸制过后产品水分迅速流失这一问题,从而更好保证了狮子头的嫩度。

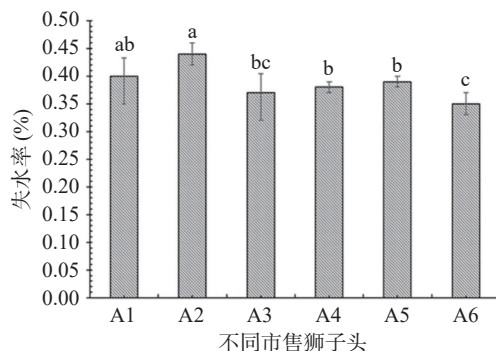


图2 不同市售狮子头失水率差异

Fig.2 Difference in the water loss rate of different commercially available stewed pork balls

注: 图中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),图3同。

2.4 质构分析

质构特性是肉品最重要的品质属性之一^[17-18],质构指标与肉中肌纤维蛋白、肌肉细胞骨架、结缔组织等的结构以及水、脂肪的分布与含量有关。由表4可知六款市售狮子头中A3、A1整体的硬度、粘附性、弹性、胶黏性、内聚性及咀嚼性较之其它四款更高,A3由于过油炸制的烹饪方式,高温带来了大量美拉德和焦糖化反应以及在淀粉的糊化作用下,使得煮制过程中H₂O渗透产品中心的阻碍程度加深,从而带来了更多的咀嚼感。A1弹性、咀嚼性等较之A4、A5、A6差异明显($P<0.05$)主要是制作过程中以肉粒为主,肉粒在制作过程中比对肉泥,其机械加工程度更低,极大减少了对肌肉组织的破坏。而A2、A4、A5、A6加工程度较深,肉泥比例增加,可能长时间的热处理使肉中的胶原蛋白溶解^[19-20],降低胶原蛋白分子间的交联作用,导致肌原纤维蛋白的流失、剪切力下降,同时产品复热过程进一步破坏了肌肉结构。从质构来看现有市售狮子头产品大多都存在加工程度过度的问题,大多产品采用现制菜肴的烹饪数值,但相对于手工制作,产业化生产需要更进一步的工艺探索。

2.5 脂肪氧化分析

TBARS值越大,表明脂肪氧化程度越高^[21],由图3可得A1的TBARS值最低为0.44 mg MDA/kg,六款市售狮子头中只有A1、A6添加了一定量的防

表 4 不同市售狮子头的质构差异
Table 4 Texture differences of different commercially available stewed pork balls

样品	硬度(N)	黏附性(mJ)	内聚性(ratio)	弹性(mm)	胶黏性(N)	咀嚼性(mJ)
A1	11.1±1.07 ^b	8.28±0.16 ^b	6.37±0.33 ^a	10.1±0.22 ^b	9.62±0.48 ^b	10.41±0.35 ^b
A2	5.28±0.29 ^c	6.35±0.38 ^c	5.26±0.3 ^b	5.7±0.16 ^c	6.76±0.52 ^c	5.78±0.23 ^c
A3	12.46±0.37 ^a	16.49±0.09 ^a	6±0.35 ^{ab}	11.55±0.2 ^a	11.71±0.55 ^a	13.91±0.62 ^a
A4	2.63±0.33 ^d	2.51±0.36 ^d	1.32±0.08 ^c	1.86±0.32 ^d	1.78±0.2 ^d	2.44±0.09 ^d
A5	0.25±0.03 ^e	0.23±0.03 ^e	0.19±0.03 ^d	0.19±0.02 ^e	0.22±0.03 ^e	0.21±0.02 ^e
A6	0.26±0.04 ^e	0.34±0.06 ^e	0.31±0.02 ^d	0.17±0.07 ^e	0.13±0.04 ^e	0.32±0.11 ^e

腐剂, A6 产品中加入山梨酸钾在保藏过程中使得 TBARS 含量降低, 而 A1 采用了山梨酸钾与 D-异抗坏血酸组成复合配剂极大的减少了脂肪氧化程度。其余产品未加入防腐剂, 对于脂肪的抗氧化以及微生物抑制作用较低, 而在未加入防腐剂的几款产品中 A3 的 TBARS 值与其余几组市售品种相比变化显著 ($P<0.05$), 原因可能是脂质氧化的代表产物 MDA 更多地参与到了与蛋白质侧链氨基的反应中^[22]。同时研究表明产品复热后的肉类产品 TBARS 的值均有一定程度的提升^[23], 在蒸汽复热条件下, 几款产品狮子头的带有一定的汤汁, 融化后盐溶液和高温的作用下加速了脂肪氧化的过程, 产品呈现出较高的脂肪氧

化水平, 因此综合来看脂肪氧化对于狮子头产品是一项十分重要的指标, 探究一个合理的狮子头脂肪氧化区间能够有效提升产品品质。

2.6 游离脂肪酸分析

脂肪分解产生的游离脂肪酸是狮子头挥发性物质的关键前体物质^[24]。由表 5 可知共检测出 7 种游离脂肪酸, 其中 6 种饱和脂肪酸主要由棕榈酸、硬脂酸等构成, 这与朱文政等^[25]的研究结果相符合, 以及油酸这一种单不饱和脂肪酸。而多不饱和脂肪酸 (PUFA) 则未检出, 由于现有研究都是基于新鲜猪肉所现做的传统狮子头, 而在传统工艺制作的狮子头研究结果中也表明在长时间炖煮过程中 PUFA 的含量下降, 加之猪肉本身的 PUFA 种类与含量较少^[26]。而产业化原料历经冷冻过程, 使得脂质中的多不饱和脂肪酸在暴露于冷冻过程和相应储存条件下的猪肉样品中极易氧化^[27], 几款狮子头均采用常温保藏, 配合复热过程中的高温极大增强了这一氧化反应, 使得狮子头中的 PUFA 进一步被氧化反应分解为醛类等物质。同时与新鲜猪肉相比, 长时间储存且经过烹饪复热的狮子头产品 SFA 含量明显提升这与 Da 等^[28]的研究吻合。烹饪后猪肉细胞膜所含有磷脂中的 PUFA 可以被氧化形成更小的分子诱导 SFA 的相对丰富度的提升。而 A4、A5 的 SFA 含量较低, 与其加工过程主要是肉泥状, 整体颗粒质感较差有关, 过多的机械加工导致在烹饪加工过程中, 细胞在热诱导

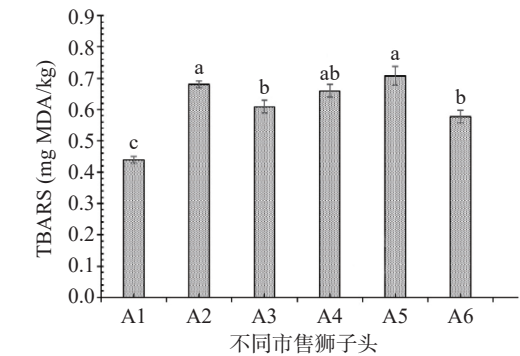


图 3 不同市售狮子头 TBARS 差异
Fig.3 Differences in TBARS of different commercially available stewed pork balls

表 5 不同市售狮子头中游离脂肪酸的组成(mg/g)
Table 5 Composition of free fatty acids in different commercially available stewed pork balls (mg/g)

游离脂肪酸种类	样品					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
十七烷酸(C17:0)	0.25±0.06 ^c	0.22±0.06 ^c	0.3±0.04 ^b	0.41±0.01 ^a	0.2±0.04 ^c	0.2±0.01 ^c
十三烷酸(C13:0)	1.62±0.04 ^a	1.35±0.11 ^{bc}	1.41±0.17 ^b	1.27±0.31 ^{bc}	1.21±0.06 ^c	1.45±0.08 ^b
十一烷酸(C11:0)	—	0.06±0.02	—	—	—	—
油酸(C18:1n9c)	41.41±3.48 ^c	45.77±4.6 ^a	43.8±2.47 ^{bc}	44.79±4.24 ^b	45.11±5.85 ^a	45.18±3.55 ^a
硬脂酸(C18:0)	15.9±1.12 ^a	13.33±1.95 ^b	15.4±1.13 ^a	12.5±0.79 ^{bc}	11.44±1.03 ^c	13.71±1.29 ^b
棕榈酸(C16:0)	27.03±2.59 ^a	24.83±4.73 ^{bc}	26.06±3.11 ^b	24.06±2.05 ^c	25.94±2.15 ^b	25.13±5.42 ^b
月桂酸(C12:0)	0.04±0.01 ^b	0.25±0.03 ^a	0.12±0.02 ^b	0.07±0.01 ^b	0.06±0.07 ^b	0.07±0.03 ^b
癩酸(C10:0)	0.04±0.02 ^a	0.06±0.01 ^a	0.07±0.02 ^a	0.05±0.01 ^a	0.05±0.01 ^a	0.06±0.01 ^a
SFA	44.91±2.6 ^a	40.1±3.42 ^b	43.36±1.65 ^{ab}	38.36±2.21 ^c	38.9±3.02 ^{bc}	40.62±2.79 ^b
MUFA	41.41±3.48 ^c	45.77±4.6 ^a	43.8±2.47 ^{bc}	44.79±4.24 ^b	45.11±5.85 ^a	45.18±3.55 ^a
TFFA	86.32±4.24 ^a	85.84±2.6 ^b	87.16±3.8 ^a	83.15±1.95 ^c	84.01±3.13 ^b	85.8±1.45 ^b
UFA/SFA	0.92±0.27 ^a	1.14±0.12 ^a	1.01±0.05 ^a	1.17±0.16 ^a	1.16±0.11 ^a	1.11±0.12 ^a

注: 同行不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$); SFA(饱和脂肪酸); MUFA(单不饱和脂肪酸); TFFA(总游离脂肪酸); UFA(不饱和脂肪酸); —(未检出)。

的作用下被破坏,大大降低了狮子头的 SFA 含量。因此对于现有常温保藏的狮子头产品来说其氧化程度较高,工业生产中并未对复热以及二次加工的品质进行深入考虑。

2.7 挥发性风味物质分析

2.7.1 不同市售狮子头挥发性风味物质相对含量分析 由表 6 可知,六款市售狮子头中检测出了多种的挥发性风味物质,其中烃类 12 种,醇类 22 种,酮类 6 种,酚类 2 种,醛类 13 种,酯类 4 种,其它类 8 种。不同市售狮子头的挥发性风味物质的相对含量及种类有相当一定的差异性,其中 γ -松油烯的相对含量较高,烃类物质主要来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂,由于市售狮子头的脂肪氧化程度较深,导致烃类含量的升高。同时相对含量较高的为醛类物质,其主要为脂类的降解产物,在醛类中以己醛、壬醛为

六款市售狮子头中的共同检出物,带来一定的青草味与玫瑰柑橘的香味。A1 中 2-甲基戊醛含量以及百里酚相对含量较高,带来一定的蔬菜与水果的香气,A2 中的甲基庚烯酮相对含量较高且是几款狮子头中唯一检出的,这为 A2 带来了一定的柠檬香,而对于不同市售狮子头所检测出的醇类物质来看,相对含量较高的为 A2(23.05%)与 A3(14.14%)品牌的狮子头,几款市售狮子头中乙醇、正己醇、异戊醇的相对含量相较于其它醇类物质较高且基本共有,这三类物质所带来的气味多为酒精味、生闷的异味以及辛辣味,其含量的增加对于产品的品质评分起到了消极作用。A5 的糠醇相对含量最高因此产品具有一定苦味^[29],而对于所检测出的其它类分析来看 A5 产品较之其它几个品种多了一些嘧啶与吡嗪等物质,一定程度上也降低了狮子头感官评价。

表 6 不同市售狮子头中挥发性风味物质相对含量
Table 6 Relative contents of volatile flavor substances in different commercially available stewed pork balls

种类	物质名称	样品					
		A1(%)	A2(%)	A3(%)	A4(%)	A5(%)	A6(%)
烃类	γ -松油烯	26.7	5.54	20.16	14.64	5.32	12.57
	萘品油烯	1.19	0.34	0.33	1.05	—	0.45
	2-萘烯	1.57	2.5	17.14	6.48	0.39	6.4
	松油烯	10.1	—	0.21	—	0.17	0.29
	月桂烯	—	1.39	—	—	—	—
	萘品烯	—	0.33	—	—	—	—
	苾烯	—	6.98	—	—	—	—
	桉烯	—	9.22	—	—	—	—
	巴伦西亚橘烯	—	0.14	—	—	—	—
	苯乙烯	—	—	0.03	2.33	1.95	4.83
	异戊烷	—	—	0.27	—	0.12	—
	十一烷	—	—	—	0.16	—	0.27
	芳樟醇	1.52	0.93	0.62	1.35	0.91	0.29
	正戊醇	1.24	—	0.63	0.27	3.39	0.96
	4-萘烯醇	1.57	0.55	0.17	0.64	5.13	0.05
	庚醇	0.57	—	—	0.54	0.19	—
	乙醇	0.3	17.13	12.19	5.97	—	—
醇类	正己醇	—	0.83	—	0.65	1.13	2.37
	异戊醇	—	1.05	0.19	0.46	1.44	0.49
	甲基乙酰甲醇	—	0.38	—	—	—	—
	2-苾醇	—	0.58	—	—	—	—
	2-甲基-1-丁醇	—	0.68	—	—	—	—
	1-辛烯-3-醇	—	0.32	—	—	0.62	0.05
	戊醇	—	0.35	—	—	—	—
	环丙基乙醇	—	0.25	—	—	—	—
	戊烯-3-醇	—	—	0.34	—	—	0.79
	十一醇	—	—	—	0.03	0.3	0.08
	甲硫醇	—	—	—	—	0.43	—
	1-癸醇	—	—	—	0.49	—	0.06
	糠醇	—	—	—	—	6.4	—
	环戊醇	—	—	—	—	0.29	—
	十三醇	—	—	—	—	0.13	0.05
	3-甲基-3-戊醇	—	—	—	—	0.19	—
	棕榈油醇	—	—	—	—	—	0.37

续表 6

种类	物质名称	样品					
		A1(%)	A2(%)	A3(%)	A4(%)	A5(%)	A6(%)
酮类	3-羟基-2-丁酮	11.76	—	—	—	—	2.41
	甲基庚烯酮	—	4.47	—	—	—	—
	2-十五烷酮	—	0.26	—	—	—	—
	5-甲基-2-己酮	—	—	0.87	—	—	—
	4-氯苯丁酮	—	—	—	—	—	2.09
酚类	2,2-二甲基己酮	—	—	—	—	—	0.49
	丁香酚	—	—	—	—	0.13	—
	百里酚	14.91	—	0.17	—	0.04	0.1
	2-甲基戊醛	10.41	0.68	0.41	0.28	0.64	0.27
	十一醛	—	0.37	—	—	—	—
醛类	正辛醛	—	—	—	—	0.49	—
	己醛	1.81	3.58	8.76	3.21	2.94	3.75
	香茅醛	—	0.24	—	—	—	—
	壬醛	0.23	1.19	0.83	0.81	1.03	0.74
	癸醛	—	0.14	—	—	—	—
	苯乙醛	—	0.17	—	—	0.23	—
	异戊醛	—	0.31	—	—	—	—
	十二醛	—	—	0.32	0.06	0.69	0.14
	2,3-二甲基戊醛	—	—	—	—	0.44	—
	糠醛	—	—	—	—	0.16	—
酯类	苯丙醛	—	—	—	—	—	0.16
	正己酸乙酯	—	0.64	—	—	—	—
	苯甲酸乙酯	—	0.27	—	—	—	—
	硬脂酸甲酯	—	—	0.06	—	0.55	0.17
	辛酸乙酯	—	—	0.08	0.58	—	—
其它类	对二甲苯	0.88	—	—	—	—	0.82
	茴香脑	0.19	0.18	0.07	—	8.79	0.53
	草蒿脑	0.13	—	—	0.21	0.19	—
	2-戊基呋喃	0.13	—	—	—	—	0.01
	联三甲苯	0.69	0.19	—	—	—	—
	邻二甲苯	—	—	—	—	1.17	—
	嘧啶	—	—	—	—	1.19	—
	2,5-二甲基吡嗪	—	—	—	—	—	1.45

注: —表示未检出。

2.7.2 不同市售狮子头挥发性风味物质 ROAV 分析

产品的相对含量高低无法说明其对狮子头的风味贡献, 因此需要结合挥发性风味物质的香气阈值, 进行 ROAV 分析。ROAV $\geq$ 1 的物质对样品香气贡献较大, 为关键性香气化合物, 并且 ROAV 值越大的组分对样品总体风味的贡献也越大, 0.1 $\leq$ ROAV $<$ 1 的物质对狮子头香气有重要修饰作用, 一般认为 ROAV $<$ 0.1 的物质对样品风味贡献较小。所以在检测出的挥发性风味物质里只有一部分是对狮子头风味起到了主要作用, 其余的挥发性物质起到了一定的修饰和协同作用。由表 7 可知狮子头产品中 γ -松油烯含量最高对产品贡献最大, 其次己醛、壬醛、芳樟醇也为狮子头所共有的关键性香气化合物。除此之外, A1 主要关键挥发性风味物质还有 2-戊基呋喃, A2 主要关键挥发性风味物质为巴伦西亚橘烯、甲基庚烯酮、异戊醛, 而 A4 主要关键挥发性风味物质为

辛酸乙酯, A5 为 4-萜烯醇、十一醇、甲硫醇、糠醇、糠醛、硬脂酸甲酯、茴香脑, A6 则是十一醇、苯丙醛, 同时在不同品牌中如 A2 中的甲基庚烯酮, 以及 A5 的糠醇其 ROAV 均大于 1, 严重影响着狮子头产品的品质。

因此根据上文 ROAV 值与 TBARS 值的变化, 以及游离脂肪酸的分解, 可以发现己醛在狮子头预制菜产品中的 ROAV 值随着氧化分解程度的上提升, 而一些壬醛、戊醛、己醛、戊醇、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃等 WOF(warmed-over flavor)因子所代表的风味活度值在 A2、A4、A5 这三款 TBARS 值较高的产品中的比重也较其它几款产品有所增加, TBARS 值和 WOF 显著正相关, 这与黄业传等^[32]和 Angelo 等^[33]的研究一致。除此之外, 个别产品在历经 4~5 个月的保藏过程中产生了一些嘧啶、2,5-二甲基吡嗪等物质, 带来少许不愉快的气味, 以及一些产品中乙醇带

表 7 不同狮子头中挥发性风味物质的阈值和对应 ROAV

Table 7 Threshold and corresponding ROAV of volatile flavor substances in different commercially available stewed pork balls

种类	物质名称	阈值 ^[30-31] (μg/L)	样品					
			A1	A2	A3	A4	A5	A6
烃类	γ-松油烯	0.0002	100	20.45	75.51	54.83	19.93	47.08
	2-萘烯	0.8	—	<0.1	0.50	0.19	<0.1	0.19
	巴伦西亚橘烯	0.002	—	1.63	—	—	—	—
	苯乙烯	0.14	—	—	—	0.39	0.32	0.80
	异戊烷	0.06	—	—	0.10	—	<0.1	—
	芳樟醇	31	2.23	1.13	1.01	1.51	1.21	1.01
	正戊醇	0.5	<0.1	—	<0.1	<0.1	0.16	<0.1
	4-萜烯醇	0.07	0.05	0.18	0.06	0.21	1.70	<0.1
	庚醇	3	0.14	—	—	0.12	<0.1	—
	乙醇	52	—	0.17	0.15	0.12	—	—
醇类	正己醇	—	0.17	<0.1	—	<0.1	0.15	0.32
	2-甲基-1-丁醇	0.1	—	0.16	—	—	—	—
	桉叶油醇	0.5	0.16	0.33	—	<0.1	—	0.04
	1-辛烯-3-醇	0.25	—	0.14	—	—	0.19	0.012
	戊烯-3-醇	0.1	—	—	<0.1	—	—	0.18
	十一醇	0.001	—	—	—	0.70	6.97	1.86
	甲硫醇	0.0042	—	—	—	—	2.38	—
	糠醇	0.005	—	—	—	—	29.72	—
	3-甲基-3-戊醇	0.01	—	—	—	—	0.44	—
	棕榈油醇	0.03	—	—	—	—	—	0.29
酮类	2-壬酮	0.002	0.29	—	—	—	—	—
	甲基庚烯酮	0.01	—	10.38	—	—	—	—
	2-十五烷酮	0.02	—	0.30	—	—	—	—
	5-甲基-2-己酮	0.08	—	—	0.25	—	—	—
	2,2-二甲基己酮	0.06	—	—	—	—	—	0.81
	2-甲基戊醛	0.1	0.17	—	—	—	—	—
	十一醛	0.1	0.35	—	<0.1	—	<0.1	<0.1
	己醛	1.01	1.36	3.88	1.24	1.17	1.31	1.17
	壬醛	3.5	0.34	2.31	1.15	1.1	2.01	1.11
	异戊醛	0.0017	—	4.23	—	—	—	—
醛类	十二醛	0.05	—	—	0.15	<0.1	0.32	<0.1
	糠醛	0.001	—	—	—	—	3.72	—
	苯丙醛	0.003	—	—	—	—	—	1.24
	正己酸乙酯	0.03	—	0.50	—	—	—	—
	硬脂酸甲酯	0.012	—	—	0.12	—	1.06	0.33
	辛酸乙酯	0.004	—	—	0.46	3.37	—	—
	对二甲苯	0.04	0.05	—	—	—	—	0.48
	茴香脑	0.073	<0.1	<0.1	<0.1	—	2.80	0.17
	2-戊基呋喃	0.0045	1.12	—	—	—	—	<0.1
	邻二甲苯	0.1	—	—	—	—	0.27	—
其它类	嘧啶	0.2	—	—	—	—	0.1	—
	2,5-二甲基吡嗪	0.2	—	—	—	—	—	0.11

注: 表中未列出的检出物质均为无法查到该物质阈值。

来的酒精味对产品的整体品质有着较为消极的影响。

3 结论

本文对 6 款市售狮子头的感官、色泽、失水率、游离脂肪酸和挥发性风味物质等进行测定。结果显示 A1 品牌的狮子头其感官评分为 34 分, 从失水率、色泽与 TBARS 等值的分析来看较优于其它品牌。市售狮子头以油酸为主, 其次以棕榈酸、硬脂酸等饱和脂肪酸构成, 六款市售狮子头在加工、储存、

复热过程中, 狮子头中的 PUFA 被大量氧化反应分解为醛类等物质, 同时 SFA 含量明显提升。γ-松油烯、己醛、壬醛、芳樟醇为狮子头产品的主要挥发性风味物质。烃类、醛类与醇类、酮类这几类挥发物质可能是导致不同市售狮子头挥发性风味物质品质差异化的主要影响因素。通过检测分析可以得出 A2 的品质受甲基庚烯酮的影响较大, 而糠醇则对 A5 风味产生了消极影响从而降低了其品质。并且狮子头

产品中醇类物质如乙醇、正己醇、异戊醇的含量多少与品质呈负相关性,最后通过 ROAV 分析得出狮子头的品质与风味主要受脂肪影响较大,风味中主要的醛类物质含量也并不是越多越好,其属于 WOF 因子的风味的贡献程度高低也在一定程度上影响着狮子头的产品质量。

因此本研究通过实验对比为现阶段市售狮子头的产品开发与风味调控提供了一定的参考价值,但对于狮子头产品其不同加工方式、储藏条件、调辅料添加对狮子头风味及品质的变化影响还需进一步深入研究。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 蔡悦. 浅谈我国餐饮产业链中央厨房中预制菜的发展趋势[J]. 食品安全导刊, 2021(23): 187-188. [CAI Y. The development trend of prepared dishes in the central kitchen of China's catering industry chain[J]. Food Safety Guide, 2021(23): 187-188.]
- [2] 赵靛琳. 预制菜行业现状及问题研究[J]. 现代营销(经营版), 2021(9): 146-147. [ZHAO L L. Research on the current situation and problems of the pre-made vegetable industry[J]. Modern Marketing (Business Edition), 2021(9): 146-147.]
- [3] 唐建华, 周晓燕. 清炖狮子头的试验研究[J]. 食品工业, 2010, 31(5): 27-30. [TANG J H, ZHOU X Y. Experimental study of stewed pork ball[J]. Food Industry, 2010, 31(5): 27-30.]
- [4] 朱文政, 刘薇, 李明勇, 等. 不同肥瘦比和烹制时间对狮子头特征挥发性风味成分的影响[J]. 现代食品科技, 2022, 38(6): 257-266, 159. [ZHU W Z, LIU W, LI M Y, et al. Different fat-to-lean ratios and cooking times affect the stewed pork ball's characteristic volatile flavor components[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(6): 257-266, 159.]
- [5] 杨眉, 安明琦, 任洋莹, 等. 鱼浆种类对复合狮子头品质的影响[J]. 肉类研究, 2022, 36(6): 29-35. [YANG M, AN Y Q, REN Y Y, et al. Effect of fish paste type on the quality of compound stewed pork ball[J]. Meat Research, 2022, 36(6): 29-35.]
- [6] 李冉, 朱和源, 叶可萍, 等. 气调包装狮子头冷藏过程中微生物变化及菌群结构分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 99-105. [LI R, ZHU H Y, YE K P, et al. Analysis of microbial changes and bacterial structure of stewed pork ball during the refrigeration process[J]. Food Industry Science and Technology, 2021, 42(11): 99-105.]
- [7] 吴丹璇, 高子武, 吴鹏, 等. 偏最小二乘回归分析市售牛肉丸感官特性与挥发性风味化合物的关系[J]. 现代食品科技, 2022, 38(3): 276-285. [WU D X, GAO Z W, WU P, et al. Partial least squares regression analysis of the relationship between sensory characteristics of commercially available beef meatballs and volatile flavor compounds[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(3): 276-285.]
- [8] 曾习, 曾思敏, 龙维贞. 食品感官评价技术应用研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(3): 198-200. [ZENG X, ZENG S M, LONG W Z. Research progress of the application of food sensory evaluation technology[J]. China Condiment, 2019, 44(3): 198-200.]
- [9] FAROUK M M, WIELICZKO K J, MERTS I. Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef[J]. Meat Science, 2004, 66(1): 171-179.
- [10] 孙亚男. 扬州狮子头菜肴的中央厨房加工机理及品质调控研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021. [SUN Y N. Central kitchen processing mechanism and quality control of Yangzhou stewed pork ball dishes[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.]
- [11] 中华人民共和国国家标准化管理委员会. GB 5009.181-2016 食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [Standardization Administration of the People's Republic of China. GB 5009.181-2016 National food safety standard Determination of malondialdehyde in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [12] 高子武, 王恒鹏, 陈胜姝, 等. 不同宰后时间下调理猪肉片品质特性及挥发性风味物质比较[J]. 现代食品科技, 2020, 36(11): 263-272, 312. [GAO Z W, WANG H P, CHEN S S, et al. Comparison of quality characteristics and volatile flavor substances of seasoned pork slices at different post-slaughtering times[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(11): 263-272, 312.]
- [13] 王瑞花, 姜万舟, 汪倩, 等. 红烧猪肉工艺优化及其挥发性风味成分的分离与鉴定[J]. 中国食品学报, 2017, 17(5): 208-216. [WANG R H, JIANG W Z, WANG Q, et al. Comparison of quality characteristics and volatile flavor substances of seasoned pork slices at different post-slaughtering times[J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 17(5): 208-216.]
- [14] GUOY, HUANG J, SUN X, et al. Effect of standard and modified atmosphere packaging on the shelf life of roast chicken meat[J]. Journal of Food Safety, 2018, 38(5): 1-8.
- [15] XIONG Y, ZHANG P, WARNER R D, et al. Effect of sorghum bran incorporation on beef sausage's physicochemical and microbial properties during cold storage[J]. Food Control, 2022, 132: 108544.
- [16] 钱书意, 李侠, 孙圳, 等. 不同冻结温度下牛肉的肌原纤维蛋白变性与肌肉持水性[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 24-30. [QIAN S Y, LI X, SUN Z, et al. Denaturation of myofibrillar protein and muscle water retention in beef at different freezing temperatures[J]. Food Science, 2018, 39(15): 24-30.]
- [17] PALKA K, DALUN H. Changes in the texture, coking losses, and myofibrillar structure of bovine Mu-semi-tendinosus during heating[J]. Meat Science, 199, 51(3): 237-243.
- [18] LUAN C, ZHANG M, FAN K, et al. Effective pretreatment technologies for fresh foods aimed for use in central kitchen processing[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(2): 10602.
- [19] ZHU X S, RUUSUNEN M, GUSELLA M, et al. High post-mortem temperature combined with rapid glycolysis induces phosphorylase denaturation, producing pale and exudative characteristics in broiler pectoralis major[J]. Meat Science, 2011, 89(2): 181-188.
- [20] ISHIWATARI N, FUKUOKA M, SAKAI N. Effect of protein denaturation degree on texture and water state of cooked meat[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 117(3): 361-369.
- [21] 黄业传, 李凤, 苟兴能. 猪肉加工中 KCl 部分替代 NaCl 对肌肉脂肪氧化的动力学研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(13): 211-217. [HUANG Y C, LI F, GOU X N. Kinetics of partial replacement of sodium chloride by potassium chloride in pork processing on intramuscular fat oxidation[J]. Food and Fermentation Industry, 2022, 48(13): 211-217.]
- [22] 于小番. 不同烹调热处理对刀额新对虾蛋白质结构、氧化

- 特性及消化性的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2021. [YU X F. Effects of different cooking heat treatments on the protein structure, oxygenation characteristics and digestibility of the new shrimp (*Pangasius* spp)[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021.]
- [23] 董芝杰. 不同复热方式对猪肉丸品质的影响[J]. 美食研究, 2022, 39(4): 66–70. [DONG Z J. Effect of different reheating methods on the quality of pork balls[J]. Gourmet Research, 2022, 39(4): 66–70.]
- [24] 舒一梅, 郑翔, 达小梅, 等. 不同排酸时间对凉山黄牛肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 344–350. [SHU Y M, ZHENG X, DA X M, et al. The effect of different acid removal time on the quality of Liangshan yellow beef[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(1): 344–350.]
- [25] 朱文政, 徐艳, 钱祥羽, 等. 狮子头加工过程中脂肪及脂肪酸组分的变化[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 49–53. [ZHU W Z, XU Y, QIAN X Y, et al. Changes in fat and fatty acid fractions during the processing of stewed pork ball[J]. Food and Machinery, 2019, 35(6): 49–53.]
- [26] ZHAO G, HU Y, LIU Z, et al. Simultaneous quantification of 24 aldehydes and ketones in oysters (*Crassostrea gigas*) with different thermal processing procedures by HPLC-electrospray tandem massspectrometry[J]. Food Research International, 2021, 147: 110559–110567.
- [27] 汪蹕. 加工方式及冷藏对四川白兔肌肉脂肪酸组成的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017. [WANG C. Study on the effects of processing methods and refrigeration on the intramuscular fatty acid composition of Sichuan white rabbits[D]. Chongqing: Southwest University, 2017.]
- [28] DA D, NIAN Y, ZOU B, et al. Influence of induction cooking on the flavor of the fat cover of braised pork belly[J]. Food Science, 2021, 86(5): 1997–2010.
- [29] 里奥·范海默特. 化合物香味阈值汇编[M]. 第二版. 北京: 科学出版社, 2015: 1–411. [LEO V H. Compilation of aroma thresholds for compounds[M]. Second edition. Beijing: Science Press, 2015: 1–411.]
- [30] BI J, LI Y, YANG Z, et al. Effect of different cooking times on the fat flavor compounds of pork belly[J]. Food Biochemistry, 2022, 46(8): e14184.
- [31] 王桃红, 祖铁红, 侯小超, 等. 新疆薰衣草蜂蜜品质及挥发性成分分析[J/OL]. 食品与发酵工业: 1–9 [2023-07-02]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.035224>. [(WANG T H, ZU T H, HOU X C, et al. Analysis of lavender honey's quality and volatile components in Xinjiang[J/OL]. Food and Fermentation Industry: 1–9 [2023-07-02]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.035224>.)]
- [32] 黄业传, 李凤, 严成. 再热方式和次数对猪肉风味品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(9): 224–231. [HUANG Y C, LI F, YAN C. Effect of reheating method and number of times on flavor quality of pork[J]. Food and Fermentation Industry, 2014, 40(9): 224–231.]
- [33] ANGELO A J S, VERCELLOTTI J R, LEGENDRE M G, et al. Chemical and instrumental analyses of warmed-over flavor in beef[J]. Journal of Food Science, 1987, 52(5): 1163–1168.