

市售鸭肝酱品质特性分析及其评价模型构建

徐安琪¹, 高子武^{2,3}, 王恒鹏^{2,3}, 还传明², 高苏敏², 孟祥忍^{2,3*}

(1. 扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127)(2. 扬州大学旅游烹饪学院, 江苏扬州 225127)

(3. 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: 对4种品牌的鸭肝酱进行品质分析, 测定其色泽、pH、硫代巴比妥酸反应物(Thiobar Bituric Acid Reactive Substance, TBARS)、乳化稳定性、热稳定性、游离脂肪酸(Free Fatty Acids, FFA)和感官品质, 并通过主成分分析法建立品质评价模型。结果表明, 猪油、鸭油和奶油提高了LF和LH鸭肝酱的亮度值(L^*), 分别为64.36和63.31。红酒和亚硝酸钠显著提高MA鸭肝酱的红色值(a^*)至10.41 ($P<0.05$), 并降低脂肪氧化程度, TBARS值为3.5 mg MDA/kg。MA鸭肝酱的乳化稳定性和热稳定性显著优于LF、LH鸭肝酱 ($P<0.05$), 分别为90.47%、86.26%。在17种FFA中, JN、MA鸭肝酱的FFA含量显著高于LF、LH鸭肝酱 ($P<0.05$), MA鸭肝酱的多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated Fatty Acids, PUFA)含量(7.94 mg/g)最高, 感官评分(4.2)也最高。通过主成分分析法构建的品质评价模型为 $F=(0.64F_1+0.3F_2)/0.94$, MA鸭肝酱综合得分最高, 为10.92, JN鸭肝酱次之, 为10.45。关键品质指标包括质地、气味、 a^* 值、饱和脂肪酸(Saturated Fatty Acids, SFA)含量。主成分分析法可有效评价鸭肝酱品质, 上述结果为后续仪器测定结合感官分析鸭肝酱品质提供参考。

关键词: 鸭肝酱; 品质特性; 主成分分析法; 评价模型

文章编号: 1673-9078(2025)10-404-412

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.10.0997

Analysis of Quality Characteristics of Commercially Available Duck Liver Paste and Construction of Its Evaluation Model

XU Anqi¹, GAO Ziwu^{2,3}, WANG Hengpeng^{2,3}, HUAN Chuanming², GAO Sumin², MENG Xiangren^{2,3*}

(1. College of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)(2. College of Tourism and Culinary Arts, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)(3. Key Laboratory of Chinese Cuisine Intangible Technique Inheritance, Ministry of Culture and Tourism, Yangzhou 225127, China)

Abstract: The quality analysis of four brands of duck liver paste was carried out to determine the color, pH, thiobar bituric acid reactive substance (TBARS), emulsion stability, thermal stability, free fatty acids (FFA) and sensory qualities. A quality evaluation model was established by principal component analysis. The results showed that lard, duck fat, and cream increased the lightness (L^*) of the LF and LH duck liver pastes to 64.36 and 63.31, respectively. Red wine and sodium nitrite significantly increased the redness (a^*) of the MA duck liver paste to 10.41 ($P<0.05$), and reduced the degree of fat oxidation, with a TBARS value of 3.5 mg MDA/kg. The emulsion stability and thermal stability of MA duck liver paste were significantly better ($P<0.05$) than those of LF and LH duck liver paste (90.47% and 86.26%, respectively). Among the 17 kinds of FFAs, the FFA contents of the JN and MA duck liver pastes were significantly higher than those of the LF and LH duck liver pastes ($P<0.05$). The MA duck liver paste had the highest content of

引文格式:

徐安琪,高子武,王恒鹏,等.市售鸭肝酱品质特性分析及其评价模型构建[J].现代食品科技,2025,41(10):404-412.

XU Anqi, GAO Ziwu, WANG Hengpeng, et al. Analysis of quality characteristics of commercially available duck liver paste and construction of its evaluation model [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(10): 404-412.

收稿日期: 2024-07-12; 修回日期: 2024-10-09; 接受日期: 2024-10-09

基金项目: 中国营养学会百胜餐饮健康基金项目(CNS-YUM2020A17)

作者简介: 徐安琪(1997-),女,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: 903611500@qq.com

通讯作者: 孟祥忍(1976-),男,博士,教授,研究方向: 烹饪科学与食品卫生、动物源性食品, E-mail: xrmeng@yzu.edu.cn

polyunsaturated fatty acids (PUFA) (7.94 mg/g) and the highest sensory score (4.2). The quality evaluation model constructed by the principal component analysis was $F=(0.64F_1+0.3F_2)/0.94$, and the MA duck liver paste had the highest comprehensive score (10.92), followed by the JN duck liver paste (10.45). The key quality indicators included texture, odor, a^* and saturated fatty acids (SFA) content. The principal component analysis method could effectively evaluate the quality of duck liver paste, and the above results provide a reference for subsequent instrumental determination combined with sensory analysis of duck liver paste quality.

Key words: duck liver sauce; quality correlation; principal component analysis; evaluation model

近年来，国内鸭肉消费量不断增长，鸭肝等副产品的数量也在持续增加^[1]。鸭肝味道醇厚，富含蛋白质、不饱和脂肪酸和微量元素，是一种天然高营养的食材^[2]。部分企业将鸭肝制成鸭肝酱，有效提升了其利用价值^[3]。据调查，市面上在售的鸭肝酱品牌繁多，但品质评价都褒贬不一。现有关鸭肝酱的研究多集中于产品工艺的优化，根据单因素和正交等方法，确定了鸭肝酱的最佳原料比例，其中包括 40 wt.% 的鸭肝、25 wt.% 的风尾菇、20 wt.% 的黄油和 4 wt.% 的大豆卵磷脂^[2]；张玉青等^[4]采用单因素实验得出鸭肝、猪肉、鸡肉的最优配比和冰水、柠檬酸和 β -环糊精的添加量；贺峰等^[5]选用灵芝鸭肝做为主要原料，结合 15 种香料，根据正交实验，成功开发出一套最优的生产工艺，这一工艺不仅能有效去除鸭肝的腥味，还开发出多种独特风味的鸭肝酱产品。值得注意的是，鸭肝酱产品的品质特性分析是研制高品质鸭肝酱的关键^[6]，但目前鲜有关于鸭肝酱品质特性分析及评价标准的报道。

通常，鸭肝酱的品质评估大多依赖于感官评价，但这种方法容易受到个人主观判断的影响。为了克服这一局限，主成分分析法被引入，它通过分析各指标的相关性和变异性来确定权重^[7]，从而实现对产品品质的客观评估。这种方法已经在多个领域得到应用，例如盐水鹅^[8]和酱牛肉^[9]等产品的品质评价。因此，采用主成分分析法建立鸭肝酱品质评价模型对于高品质鸭肝酱产品的研发具有重要意义。

本文拟选取市售的 4 种鸭肝酱（LF、LH、JN 及 MA）为研究对象，并选取色泽、pH、乳化稳定性、热稳定性、TBARS、FFA 等品质指标进行测定，这些指标能够全面反映鸭肝酱的感官品质、安全性和营养价值，相关研究也表明，通过优化这些指标可以改善鸭肝酱的风味，满足消费者对高品质食品的需求^[10]。进一步通过主成分分析法建立市售鸭肝酱品质评价模型，为其品质评价体系的构建奠定理论依据并为高品质鸭肝酱的开发提供思路。

1 材料与方法

1.1 原料

1.1.1 实验材料

4 种市售鸭肝酱：LF 鸭肝酱；LH 鸭肝酱；JN 鸭肝酱；MA 鸭肝酱。配料详见表 1。

表 1 产品配料表

Table 1 Product ingredient table				
品牌	配料	营养素参考值	产地	采购方式
LF	鸭肝、猪油、鸭油、水、食用香精香料、食用盐、亚硝酸钠。	能量 16%、蛋白质 21%、脂肪 42%、碳水化合物 4%、钠 35%	北京市	
	鸭肝、奶油、食用盐、调味酒、食品添加剂（D-抗坏血酸钠）、香辛料。	能量 11%、蛋白质 27%、脂肪 23%、碳水化合物 2%、钠 48%		
JN	鸭肝、鸭肉、猪肉、猪肝、蔬菜汤、鸡蛋、洋葱、盐、葡萄糖、香料及其提取物、调味葵花籽油、食品添加剂等。	能量 24%、蛋白质 33%、脂肪 23%、碳水化合物 1%、钠 19%、	德国	线上网购
MA	鸭肝、水、鸡蛋、玉米淀粉、盐、红酒、红酒、乳蛋白、柠檬酸钠、白胡椒、糖、黄原胶、三聚碳酸钠、植物纤维、食用香辛料、抗坏血酸钠、亚硝酸钠。	能量 14%、蛋白质 12%、脂肪 38%、碳水化合物 1%、钠 24%	西班牙	

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。

1.1.2 主要仪器设备

TGL-16M 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；PHS-25 pH 计，上海仪电科学仪器股份有限公司；CR-400 色差仪，柯尼卡美能达中国投资有限公司；

Trace ISQII 气相色谱-质谱联用仪, 美国赛默飞公司;
HH-4 数显恒温水浴锅, 江苏金坛市环宇科学仪器厂;
PR224ZH/E 电子天平, 奥豪斯仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 色差测定

测定的鸭肝酱色泽, 取 20 g 鸭肝酱样品平铺于培养皿中, 厚度为 1 cm, 在室温条件下, 准确记录样品表面亮度值 (L^*)、红度值 (a^*) 和黄度值 (b^*)。

1.2.2 乳化稳定性和热稳定性测定

参考 Mun 等^[11]的实验方法, 并进行适当调整, 评估鸭肝酱的乳化稳定性。5 g 鸭肝酱样品放入带盖试管中, 置于 50 °C 水浴中加热 30 min, 之后以 3 000 r/min 进行离心, 10 min 离心后分离上层油相, 乳化稳定性按照式 (1) 计算:

$$B = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

B ——样品的乳液稳定性 (ES), %;

m_0 ——样品的初始质量, g;

m_1 ——离心分离出上层油相的质量, g。

根据 Nikzade 等^[12]的方法, 并进行适当调整, 测定鸭肝酱的热稳定性。5 g 鸭肝酱样品置于 80 °C 水浴中加热 30 min, 然后以 5 000 r/min 进行离心, 30 min 离心后分离上层油相, 热稳定性按照式 (2) 计算:

$$D = \frac{w_0 - w_1}{w_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

D ——样品的热稳定性 (TS), %;

w_0 ——样品的初始质量, g;

w_1 ——离心分离出上层油相的质量, g。

1.2.3 pH测定

依据国家标准 GB 5009.237-2016《食品中 pH 值的测定》的规程^[13]。首先称量 1 g 鸭肝酱样品, 然后加入 10 mL 0.01 mol/L 的 KCl 溶液, 接着进行匀浆处理, 待溶液稳定后, 将 pH 电极插入溶液中, 并在达到稳定状态时后读取 pH 值。

1.2.4 TBARS测定

根据 Turgut 等^[14]的方法并略作修改, 取 0.5 g 鸭肝酱样品, 与 7.5 mL 三氯乙酸混合溶液混合, 在 4 °C 的条件下, 以 10 000 r/min 进行离心 5 min; 将所得上层清液通过滤纸和漏斗进行过滤, 然后取 2 mL 滤液放入试管中, 再向试管中 2 mL 0.1 wt.% 硫代巴比妥酸溶液。将试管置于沸水浴, 加入 40 min, 加热结束后,

取出试管并让其冷却至室温, 在 538 nm 处测定吸光度。结果按照式 (3) 计算:

$$X = \frac{C \times V_1 \times V_2 \times 1000}{m \times 1000} \quad (3)$$

式中:

X ——鸭肝酱的 TBARS 值, mg MDA/kg

C ——通过标准曲线得到的试样溶液中丙二醛质量浓度, $\mu\text{g/mL}$;

V_1 ——稀释倍数, 2;

V_2 ——鸭肝酱的加入三氯乙酸混合液的体积;

m ——样品的初始质量, g;

1 000——换算系数。

1.2.5 FFA测定

根据刘姝韵等^[15]的方法稍作修改。首先, 准确称量 15 g 鸭肝酱样品, 并将其放置 100 °C 的烘箱烘干 1 h。烘干完成后, 取出 0.5 g 鸭肝酱干样, 放入一个 10 mL 的试管中, 然后, 加入 2 mL 的苯-石油醚混合试剂 (1:1, V/V), 并充分混匀 3 min, 接着静置 30 min 后加入 2 mL 的水, 再次混匀; 待样品静置分层后取上层清液, 并加入无水硫酸钠; 取 100 μL 上述样品, 加入 1 mL 正己烷进行稀释, 混匀后通过 0.22 μm 滤膜过滤, 准备进样。

色谱条件: 使用 DB-5MS 色谱柱 (30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 mm); 进样温度设定为 260 °C; 进样量为 1 μL ; 分流比为 10:1; 载气为高纯氦气 (纯度 99.999%); 流量 1 mL/min; 升温程序为柱温从 70 °C 开始保持 4 min, 然后以 10 °C/min 的升温率升至 200 °C, 接着以 5 °C/min 升温速率升至 300 °C 并保持 8 min;

质谱条件: 离子源温度为 200 °C; 电离方式为电子轰击 (EI), 电子能量为 70 eV; 光电倍增管电压为 450 V; 扫描方式为全扫描模式; 质量范围为 33~500 原子质量单位 (amu); 溶剂延迟 4 min。

1.2.6 感官评价

根据张洪亚等^[16]的方法并对感官特性、描述词及其定义进行修改。选定 10 名经过感官训练的学生组成感官评定 (5 名男生、5 名女生), 所有的感官评定人员经过培训熟悉鸭肝酱的品质特征, 对 4 种市售鸭肝酱样品外观、质地、气味、滋味、余味 5 个方面进行评分, 其感官特性强度采用 0~5 的标度法, 具体评分标准见表 2。

1.2.7 数据处理

每组实验至少重复 3 次, 以平均值 $\pm$ 标准差显示实验结果, $\alpha=0.05$ 。使用 SPSS 23.0 中的单因素方差分析法 (ANOVA) 对不同处理组实验结果进行差

异性分析及主成分分析,使用 Origin 2021、GraphPad Prism 9 绘制图表。

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

感官特性	描述词	定义	评分标准
外观	色泽	酱体呈现米黄色	根据样品所展现的感官特性描述词的符合程度来进行评分,具体评分标准如下: 0分代表特性表现极弱; 1分代表特性表现弱; 2分表示特性表现较弱; 3分表示特性表现一般; 4分表示特性表现较强; 5分则代表特性表现强烈。
	完整性	酱体形态完整,无干裂	
	细腻度	酱体细腻,无明显颗粒,表面光滑无气孔	
	纯度	无正常视力肉眼可见外来异物	
	新鲜度	无焦斑和霉斑	
	油分离	无明显油脂析出,出现分层现象	
	硬度	酱体容易轻易取出,不需要用力	
	顺滑度	涂抹鸭肝酱顺滑好推开,延展性强	
	粘附性	咀嚼时不黏附于口腔和牙齿上	
	颗粒感	咀嚼时光滑细腻,没有明显的颗粒感	
质地	油脂	酱体入口醇厚,油脂	
	香味	香味浓郁	
	腥味	酱体无令人不悦的腥臭味	
	咸味	咸味适中	
	甜味	甜味适中	
滋味	鲜味	肝脏本身具有的肉鲜味明显	
	调料香	清新的香辛料味道	
	余味	口腔中留有淡淡的脂肪香味	

2 结果与讨论

2.1 4种市售鸭肝酱的色差分析

鸭肝酱的色泽影响着消费者的购买意愿^[17]。由表 2 可知,LF、LH 鸭肝酱的 L^* 值显著高于 JN、MA 鸭肝酱 ($P<0.05$),可能是因为 LF 和 LH 鸭肝酱中的猪油、鸭油和奶油使产品亮度值增大。JN 鸭肝酱的 a^* 值为 10.58,显著高于 LF、LH 鸭肝酱 ($P<0.05$),相较于另外 3 种鸭肝酱,JN 鸭肝酱中鸭肝的含量最高并添加了猪肉和鸭肉,在热处理过程中,高铁肌红蛋白的氧化作用会导致 a^* 值上升^[18]。除了原料本身的特性,鸭肝酱的色泽还受加工过程中多种工艺参数的影响,包括添加剂的使用和水分含量的控制。MA 鸭肝酱的 a^* 值显著高于 LF 鸭肝酱 ($P<0.05$),可能红酒

自身的紫红色及发色剂亚硝酸钠会导致酱体的 a^* 值升高^[19]。 b^* 值是评价氧化程度的一个重要的指标,MA 鸭肝酱的 b^* 值为 16.36,显著低于其他 3 种鸭肝酱 ($P<0.05$),可能是红酒具有的抗氧化性,在一定程度上抑制了产品的氧化^[20]。

表 3 4种市售鸭肝酱的色泽差异
Table 3 The color and pH differences of four kinds of commercially available duck liver sauce

品牌	L^*	a^*	b^*
LF	64.36 ± 0.11^a	6.56 ± 0.03^c	22.75 ± 0.21^a
LH	63.31 ± 0.04^a	10.03 ± 0.17^a	19.16 ± 0.07^b
JN	62.00 ± 0.20^b	10.58 ± 0.16^a	16.94 ± 0.02^c
MA	60.39 ± 5.93^c	10.41 ± 0.05^a	16.36 ± 0.04^d

注:不同字母表示同列差异显著 ($P<0.05$),下同。

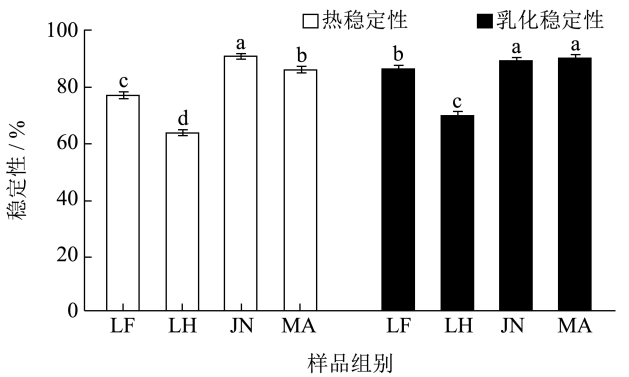


图 1 4 种市售鸭肝酱稳定性差异

Fig.1 Stability differences of four kinds of commercially available duck liver sauce

注:不同字母表示同列差异显著 ($P<0.05$),下同。

2.2 4种市售鸭肝酱的稳定性分析差异

稳定性表示酱体在贮藏期保持质地均匀的能力。由图 1 所示,4 种鸭肝酱中 LH 鸭肝酱的热稳定性、乳化稳定性分为 63.94%、70.15%,显著低于另外 3 种鸭肝酱 ($P<0.05$),这可能与 LH 鸭肝酱中添加了奶油有关。奶油含有较高的脂肪,添加到鸭肝酱中会增加整体的脂肪含量,会使鸭肝酱更加丰富和顺滑,但也可能降低其稳定性,特别是在低温下,脂肪可能会分离出来。JN 和 MA 品牌的鸭肝酱乳化稳定性和热稳定性显著优于 LF 和 LH 品牌 ($P<0.05$),MA 鸭肝酱中添加的黄原胶和鸡蛋等添加成分作为有效的稳定剂和乳化剂,有助于使酱体质地更加细腻均匀,它们增强了乳滴间的相互作用力,促进了内部形成稳定的三维网状结构,有效防止了乳滴的聚集,同时,这些成分还增加水相的黏度,减缓了乳滴的运动速度^[21],从而显著提声鸭肝酱的整体稳定性 ($P<0.05$)。此外,JN

鸭肝酱中除了鸡蛋还添加了洋葱和香料等配料，这些配料中的类黄酮和多酚类化合物，对延缓油脂氧化过程起到了积极作用，保护了鸭肝酱在热加工过程中免受氧化损害。这些天然抗氧化剂通过捕获和中和自由基，减少氧化应激^[22]，从而提升了 JN 鸭肝酱的热稳定性。

2.3 4种市售鸭肝酱的TBARS与pH分析

TBARS 值可以用来表示脂肪氧化次级产物的含量，对准确反映肉制品中脂肪氧化程度具有重要意义^[23]。鸭肝酱的 pH 值与多种因素有关（原料的新鲜度、加工过程中使用的添加剂以及加工方法等），较低的 pH 会抑制某些微生物的生长以及蛋白质、脂肪氧化，从而延长鸭肝酱保质期。由图 2 可知，JN、MA 鸭肝酱的 TBARS 值显著低于 LF、LH 鸭肝酱（ $P<0.05$ ），可能与产品中配料、抗氧化剂含量和种类有关。JN 鸭肝酱的 pH 值为 7.25，显著高于其他鸭肝酱（ $P<0.05$ ），TBARS 值为 3.1 mg MDA/kg，在 4 种鸭肝酱中脂肪氧化程度最低，主要在于本身脂肪含量较低，致使了较低的脂肪氧化程度。MA 鸭肝酱的 TBARS 值为 3.5 mg MDA/kg，在 4 种鸭肝酱中脂肪氧化程度相对较低，原因可能在于 MA 鸭肝酱中含有抗坏血酸钠、

亚硝酸钠等多种抗氧化剂，复合配剂能够在鸭肝酱贮藏和加工过程中抑制脂质氧化^[24]。LF、LH 鸭肝酱的 TBARS 值分别为 6.00、7.60 mg MDA/kg，LF 鸭肝酱中的猪肉及鸭板油，LH 鸭肝酱中的奶油，这些油脂或脂肪提升鸭肝酱口感的同时也增加鸭肝酱的 TBARS 值。但脂肪氧化程度不仅取决于添加剂、工艺参数、预处理等加工条件，还会受脂肪酸组成的影响^[25]，因此需要进一步探究不同品牌鸭肝酱的脂肪酸组成。

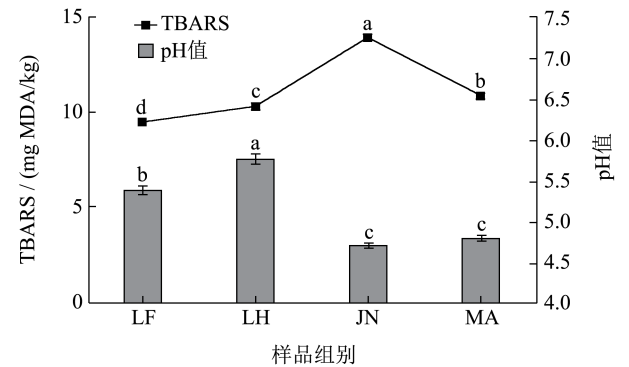


图 2 4 种市售鸭肝酱的 TBARS 和 pH 值的差异

Fig.2 Differences in TBARS and pH of four kinds of commercially available duck liver sauce

表 4 4种市售鸭肝酱中游离脂肪酸的组成 (mg/g)

脂肪酸种类	品牌			
	LF	LH	JN	MA
己酸甲酯 (C6:0)	—	—	0.04 ± 0.00 ^a	—
辛酸甲酯 (C8:0)	—	0.04 ± 0.00 ^a	0.1 ± 0.00 ^a	—
癸酸甲酯 (C10:0)	—	0.12 ± 0.00 ^b	0.34 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.01 ^c
月桂酸 (C12:0)	0.03 ± 0.00 ^c	—	0.51 ± 0.01 ^a	0.09 ± 0.01 ^b
肉豆蔻酸 (C14:0)	0.85 ± 0.01 ^d	1.29 ± 0.01 ^b	2.52 ± 0.04 ^a	1.31 ± 0.01 ^b
十五碳酸 (C15:0)	—	0.05 ± 0.00 ^a	—	0.07 ± 0.00 ^a
棕榈酸 (C16:0)	28.74 ± 0.01 ^a	25.76 ± 0.08 ^b	27.89 ± 0.11 ^{ab}	30.39 ± 1.94 ^a
十七碳酸 (C17:0)	—	0.05 ± 0.00 ^c	0.45 ± 0.00 ^a	0.37 ± 0.01 ^b
硬脂酸 (C18:0)	20.07 ± 0.18 ^a	18.82 ± 0.06 ^a	16.06 ± 0.07 ^b	15.25 ± 1.21 ^b
花生酸 (C20:1)	0.14 ± 0.01 ^c	0.14 ± 0.00 ^c	0.23 ± 0.00 ^b	0.25 ± 0.00 ^a
肉豆蔻油酸 (C14:1)	0.05 ± 0.00 ^a	—	—	—
棕榈油酸 (C16:1)	2.73 ± 0.00 ^a	2.55 ± 0.04 ^b	2.65 ± 0.11 ^{ab}	2.81 ± 0.01 ^a
花生一烯酸 (C20:1)	0.49 ± 0.01 ^b	0.72 ± 0.01 ^a	—	0.04 ± 0.00 ^c
亚油酸 (C18:2n6)	0.53 ± 0.01 ^b	0.54 ± 0.00 ^b	6.89 ± 0.13 ^a	7.37 ± 0.35 ^a
亚麻酸 (C18:3n3)	—	—	0.125 ± 0.01 ^a	—
二十碳五烯酸 (C20:5n3)	0.05 ± 0.00 ^a	—	—	—
二十碳四烯酸 (C20:4n6)	0.28 ± 0.01 ^b	0.32 ± 0.04 ^b	—	0.58 ± 0.02 ^a
SFA	49.82 ± 0.19 ^a	46.26 ± 0.03 ^c	48.08 ± 0.20 ^b	47.79 ± 0.73 ^b
MUFA	3.27 ± 0.01 ^a	3.27 ± 0.06 ^a	2.65 ± 0.11 ^c	2.85 ± 0.01 ^b
PUFA	0.81 ± 0.01 ^c	0.9 ± 0.04 ^c	7.14 ± 0.14 ^b	7.94 ± 0.33 ^a
PUFA/SFA	0.02 ± 0.00 ^c	0.02 ± 0.00 ^c	0.15 ± 0.00 ^b	0.17 ± 0.01 ^a
FFA	53.89 ± 0.20 ^c	50.43 ± 0.12 ^d	57.87 ± 0.16 ^b	58.57 ± 0.4 ^a

注：SFA：饱和脂肪酸；MUFA：单不饱和脂肪酸；FFA：总游离脂肪酸；PUFA：多不饱和脂肪酸；—：未检出。

2.4 4种市售鸭肝酱的FFA分析

脂肪酸的种类和含量是影响鸭肝酱营养价值、滋味的关键,脂肪酸的不饱和度与其具有的抗氧化能力成正比^[26]。从表4可知,4种市售鸭肝酱产品共检测出17种FFA,其中SFA 10种,单不饱和脂肪酸(Monounsaturated Fatty Acids, MUFA)3种,PUFA 4种,其中棕榈酸、硬脂酸、油酸是主要脂肪酸。SFA和必需脂肪酸(Essential Fatty Acids, EFA)的含量是衡量油脂营养价值高低的重要指标^[27],不饱和脂肪酸有降血糖、调节血脂、降低胆固醇等作用,LF和LH鸭肝酱中PUFA含量显著低于JN和MA鸭肝酱($P<0.05$),LF和LH鸭肝酱在加工贮藏过程中PUFA极易被氧化^[28],从而降低了不饱和度。PUFA与SFA比值(PUFA/SFA)是衡量膳食中脂肪酸营养价值的重要指标。JN、MA鸭肝酱PUFA/SFA的值分别为0.15和0.17,显著高于LF、LH鸭肝酱($P<0.05$)。尤其是JN鸭肝酱,尽管脂肪含量不高,但其FFA含量丰富,这一现象可能与所含配料的特性有关。JN鸭肝酱除了鸭肝,还添加了鸭肉、鸡蛋和猪肉,它们所含的脂肪酸种类丰富,鸭肉本身含有软脂酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和花生四烯酸等多种脂肪酸^[29];此外,鸡蛋和猪肉中MUFA和PUFA的比例较高^[30]。值得注意的是,在4种鸭肝酱中,JN和MA鸭肝酱中的亚油酸和亚麻酸的含量均显著高于另外两种品牌的鸭肝酱($P<0.05$),且亚油酸和亚麻酸都是重要的EFA,故JN和MA鸭肝酱具有更高的营养价值。

2.5 4种市售鸭肝酱感官评价分析

对4种市售鸭肝酱分别从外观、质地、气味、滋味4个方面进行感官评分,结果图3所示。不同品牌鸭肝酱的感官评分有显著差异($P<0.05$),LH鸭肝酱因为在常温下油分离程度较为严重,影响了酱体的完整性,故外观评分和口感评分为3.07和3.11,显著低于另外3种鸭肝酱($P<0.05$)。JN和MA鸭肝酱的感官评分均在3.8以上,整体接受度较高,其中JN鸭肝酱配料中添加了猪肉及鸭肉,具备其他三种鸭肝酱没有的肉香味,MA鸭肝酱中鸭肝含量最高,红酒、胡椒等调味品的添加可以去除腥味和丰富口感,使产品的味道更加鲜香。MA鸭肝酱感官评分为4.2,显著高于其他三组($P<0.05$),MA鸭肝酱中的抗坏血酸钠、亚硝酸钠等抗氧化剂可以减少氧化变质,而黄原胶、三聚碳酸钠、植物纤维的添加提高了保水性、稳定性,使产品质地均匀。综上可知,MA鸭肝酱具有更佳的感官品质。

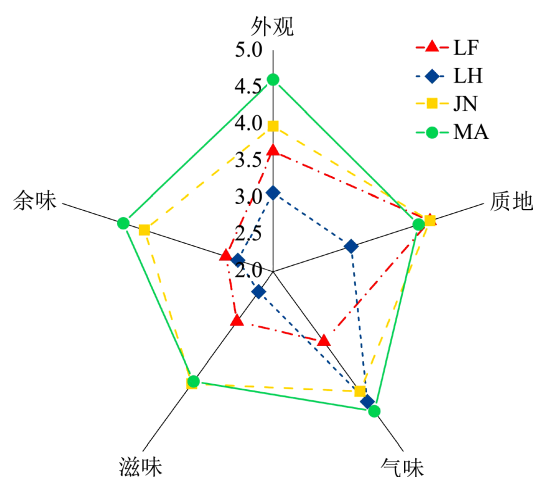


图3 4种市售鸭肝酱感官差异

Fig.3 Sensory differences of four kinds of commercially available duck liver sauce

2.6 4种市售鸭肝酱的各指标间相关性分析

对15个指标进行相关性分析,指标之间存在不同程度的正相关或负相关。如图4所示,外观、质地与乳化稳定性、热稳定性呈极显著正相关($P<0.01$),乳化稳定性是乳化剂吸附在微粒周围产生的静电排斥力或立体排斥力来维持的,对于鸭肝酱的外观和质地至关重要^[31]。一定温度范围内,温度的变化可以使蛋白质分子适当展开或者折叠,改变其在界面上的吸附能力,从而影响鸭肝酱质地与外观^[32]。滋味、余味与PUFA分别呈显著($P<0.05$)正相关,PUFA在加热过程中可以参与多种化学反应(氧化、水解和聚合),这些反应可以产生多种风味化合物,从而影响食品的滋味和余味。TBARS与滋味、余味呈极显著负相关($P<0.01$),与热稳定性呈显著负相关($P<0.05$),脂质氧化会产生多种(非)挥发性化合物,这些化合物可能具有不良的气味和味道,影响食品的滋味和余味。当TBARS值较高时,表明脂质氧化程度较高,可能导致滋味和余味变差,且不饱和脂肪酸产生的氧化产物会影响鸭肝酱稳定性而降低其耐热能力^[33]。

此外,气味与 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值呈极显著正相关($P<0.01$),与SFA呈极显著负相关($P<0.01$),鸭肝酱加工和储存过程中的氧化也会导致颜色的变化,尤其是 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值的降低。值得注意的是,消费者会将特定的颜色、气味和味道联系起来,影响鸭肝酱的感官评分^[34]。SFA通常对食品的气味贡献较小,因不易氧化产生挥发性化合物和滋味物质,SFA含量较高的鸭肝酱可能气味较弱^[35]。

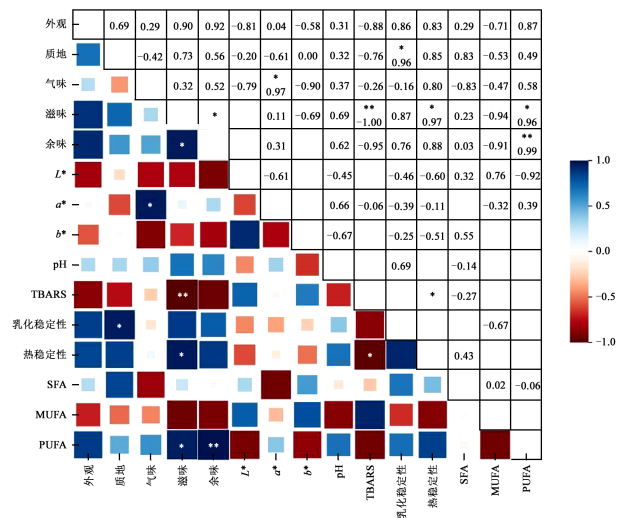


图 4 4 种市售鸭肝酱感官差异

Fig.4 Sensory differences of four kinds of commercially available duck liver sauce

注：*表示相关性显著 ($P<0.05$)，**表示相关性极显著 ($P<0.01$)；红色和蓝色分别表示正、负相关。

2.7 4种市售鸭肝酱的品质评价模型构建

通过将 4 种鸭肝酱产品测定的 15 个指标进行主成分分析，本研究构架了一个 4×15 的数据矩阵，分析结果包括相关矩阵的特征值和累计贡献率，根据两个标准来判定主成分的数量：一是特征值大于 1，二是累计贡献率达到 85.00%。如图 5、图 6 和表 5 所示，前 2 个主成分的方差贡献率分别为 63.92%、30.13%，累计方差贡献率为 94.05%，并且这 2 个主成分特征值均大于 1，这表明第 1、2 主成分能够解释 4 种市售鸭肝酱中品质的大部分特征，能够充分代表这 4 种市售鸭肝酱的基本品质信息。

由表 6 和图 5 可知，第 1 主成分的贡献率最大的是热稳定性，其对应的特征值为 0.108，第 1 主成分与外观、质地、气味、滋味、余味、pH 值、乳化稳定性、热稳定性、SFA、PUFA 呈正相关，与 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、TBARS、MUFA 呈负相关，第 2 主成分的贡献率最大的 SFA，其对应的特征值为 0.22，主要反映鸭肝酱中己酸甲酯、辛酸甲酯、月桂酸等脂肪酸含量，表明第 2 主成分主要代表了鸭肝酱中的营养物质，各主成分的方程式分别为：

$$F_1=0.10X_1+0.09X_2+0.02X_3+\cdots+0.04X_{13}-0.10X_{14}+0.10X_{15}$$

(4)

$$F_2=0.03X_1+0.16X_2-0.20X_3+\cdots+0.22X_{13}+0.04X_{14}-0.05X_{15}$$

(5)

鉴于前 2 个主成分已经涵盖了原始指标信息的 94.05%，并且原始指标较多且复杂，因此可以使用这 2 个新的综合指标进行进一步的分析。在建立市售鸭肝酱的品质评价模型时，采用不同特征的方差贡献率 β_i ($i=1, 2, \cdots, k$) 作为加权系数，利用综合评价函数 $F=(\beta_1F_1+\beta_2F_2+\cdots+\beta_kF_k)/0.94$ ，可以构建出一个能够全面评估鸭肝酱品质的模型如 (式 6) 所示，这个模型将原始的多个指标简化为两个综合指标，同时保留了关键的品质信息，使得评价过程更加高效和准确。

$$F=(0.64F_1+0.3F_2)/0.94$$

(6)

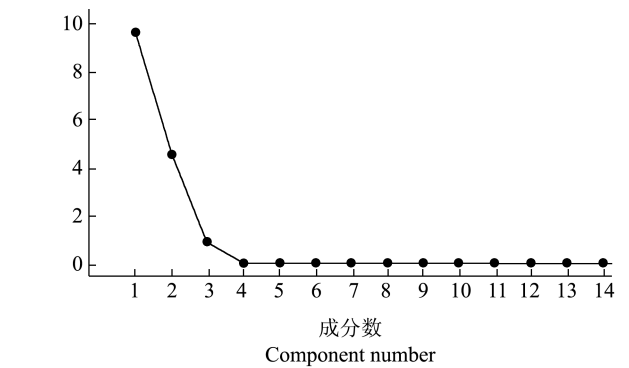


图 5 主成分分析碎石图

Fig.5 Principal component analysis macadam

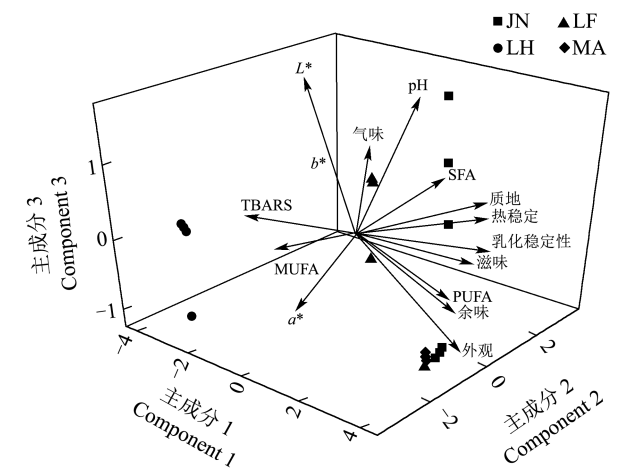


图 6 主成分分析散点图

Fig.6 Principal component analysis scatter

由图 6 可知，4 种市售鸭肝酱在第 1 主成分得分相差较小，其中 LF、LH 鸭肝酱位置靠近，JN、MA 鸭肝酱位置靠近，说明其品质相似。LF、LH 鸭肝酱位于第 2 主成分的负值区，JN、MA 鸭肝酱位于正值区，4 种市售鸭肝酱被第 2 主成分明显区分，并且质地、气味、 a^* 值、SFA 对 4 种市售鸭肝酱品质的影响较大，这一结果与相关性分析相吻合。

表 5 相关矩阵的特征值和累计贡献率

Table 5 Eigenvalues and cumulative contribution rate of correlation matrix

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
F_1	9.57	63.92	63.82
F_2	4.52	30.13	93.95

表 6 主成分特征向量

Table 6 Eigenvectors of principal components

变量	指标	主成分	
		F_1	F_2
X_1	外观	0.10	0.03
X_2	质地	0.09	0.16
X_3	气味	0.02	-0.20
X_4	滋味	0.11	0.02
X_5	余味	0.10	-0.03
X_6	L^*	-0.07	0.10
X_7	a^*	0.01	-0.22
X_8	b^*	-0.06	0.15
X_9	pH	0.07	-0.05
X_{10}	TBARS	-0.11	-0.03
X_{11}	乳化稳定性	-0.10	0.12
X_{12}	热稳定性	0.11	0.06
X_{13}	SFA	0.04	0.22
X_{14}	MUFA	-0.10	0.04
X_{15}	PUFA	0.10	-0.05

表 7 4种市售鸭肝酱品质评分

Table 7 Quality grading of four kinds of commercially available duck liver sauce

组别	主成分得分		
	F_1	F_2	F
LF	-3.09	34.14	8.80
LH	-3.05	28.57	7.04
JN	-0.01	32.75	10.45
MA	-0.43	35.13	10.92

在主成分分析的基础上，由综合得分模型（式6）计算4种市售鸭肝酱品质评价得分，并依据评分大小见表7，结果发现，4种市售鸭肝酱评定结果中，JN、MA的综合得分最高，分别为10.45、10.92；LF、LH鸭肝酱的综合得分最小，分别为8.8、7.04，MA鸭肝酱的综合得分最高。因此，主成分分析表明4种市售鸭肝酱中，MA鸭肝酱品质较优。

3 结论

对4种市售鸭肝酱的色差、乳化稳定性、热稳定性、pH、TBARS和游离脂肪酸进行测定并通过主成分分析法建立品质评价模型。结果表明，MA鸭肝酱乳化稳定性为90.47%，热稳定性为86.26%，显著高于LF鸭肝酱和LH鸭肝酱（ $P<0.05$ ），并且TBARS值为3.5 mg MDA/kg，说明MA鸭肝酱脂肪氧化程度较低，这可能得益于其配方中的红酒和亚硝酸钠抗氧化作用。值得注意的是，MA鸭肝酱的PUFA含量为7.94 mg/g，具有较好的营养价值。在感官评价方面，MA鸭肝酱的评分高达4.2，这与其在色泽（ a^* 值10.41）、质地、气味等方面的相互印证。通过主成分分析构建的鸭肝酱品质评价模型为 $F=(0.64F_1+0.3F_2)/0.94$ ，比较4种鸭肝酱综合评分，MA鸭肝酱的综合得分最高，达到10.92，JN鸭肝酱次之，得分为10.45。相关性分析和主成分分析表明质地、气味、 a^* 值和SFA是影响鸭肝酱品质的关键性指标。利用主成分分析法构建的市售鸭肝酱品质评价模型实用性较强，对后续结合仪器和感官指标评价鸭肝酱品质具有一定参考价值。

参考文献

[1] SEUNGJAE L, KYOUNGHOON K, YONSUK K, et al. Biological activity from the gelatin hydrolysates of duck skin by-products [J]. Process Biochemistry, 2012, 47(7): 1150-1154.

[2] 姜英杰, 贡汉坤, 东方, 等. 新型鸭肝酱的研制[J]. 中国调味品, 2016, 41(12): 81-83, 87.

[3] 程秋菊. 鸭肝中卵磷脂的分离提取工艺研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2013.

[4] 张玉青, 谢章斌, 邓泽元, 等. 风味鸭肝酱的研制[J]. 中国调味品, 2012, 37(10): 57-59, 68.

[5] 贺峰, 王海东, 姜其华, 等. 几种风味鸭肝酱加工工艺的试验研究[J]. 农产品加工(学刊), 2009, 12: 33-34.

[6] 李志方, 姚芳, 王正云, 等. 鸭肝调味酱常温下贮藏稳定性的研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(1): 33-35, 44.

[7] LEGAKO J, DINH T, MILLER M, et al. Effects of USDA beef quality grade and cooking on fatty acid composition of neutral and polar lipid fractions [J]. Meat Science, 2015, 100: 246-255.

[8] 钱祥羽. 扬州盐水鹅品质评价模型的建立及加工工艺优化[D]. 扬州: 扬州大学, 2018.

[9] 孟祥忍, 高子武, 王恒鹏, 等. 主成分分析法构建循环卤煮牛肉挥发性风味强度评价模型[J]. 食品与机械, 2022, 38(10): 29-36.

[10] 程珂萌, 付晶晶, 潘道东, 等. 低温风干工艺下酱鸭加工过程中品质特性变化规律研究[J]. 核农学报, 2017, 31(8): 1537-1545.

[11] SAEHUN M, YOUNGLIM K, CHOONGIL K, et al. Development of reduced-fat mayonnaise using 4αGTase-modified rice starch and xanthan gum [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2009, 44(5): 400-407.

- [12] NIKZADE V, TEHRANI M M, SAADATMAND T M. Optimization of low-cholesterol-low-fat mayonnaise formulation: Effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 28(2): 344-352.
- [13] GB 5009.237-2016,食品pH值的测定[S].
- [14] SEBAHATTIN S T, AYLA S, FATMA I. Effect of pomegranate peel extract on lipid and protein oxidation in beef meatballs during refrigerated storage [J]. Meat Science, 2016, 116: 126-132.
- [15] 刘姝韵,王桂瑛,谷大海,等.五种云南火腿游离脂肪酸含量比较分析[J].食品与发酵工业,2019,45(2):207-213.
- [16] 张洪亚,张雯,周亚男,等.线性标度法在香菇豆酱感官评定中的应用[J].食品工业,2016,37(5):192-194.
- [17] GUO Y C, HUANG J C, SUN X B, et al. Effect of normal and modified atmosphere packaging on shelf life of roast chicken meat [J]. Journal of Food Safety, 2018, 38(5): e12493.
- [18] 李汴生,顾苗青,阮征,等.市售烤鸡翅产品的品质评价[J].现代食品科技,2015,31(2):232-239,217.
- [19] 刘霞,邢佳雨,冯敬雯,等.红葡萄酒辅助呈色作用研究进展[J].中国酿造,2023,42(11):9-14.
- [20] 赵昊,宋晶晶,于佳俊,等.不同产区葡萄酒多酚物质抗氧化活性差异及相关性分析[J].食品与发酵工业,2021,47(6):84-91.
- [21] 曹昕琪,马传国,杨瑞楠,等.8种市售蛋黄酱理化指标检测及分析[J].中国油脂,2023,48(4):124-131.
- [22] 王颂萍,钟强,杨欣悦,等.多酚抑制脂肪氧化的作用机理及其在肉制品中应用的研究进展[J].食品工业科技,2022,43(10): 417-425.
- [23] 吕经秀,张新笑,李蛟龙,等.热处理对肉品脂质氧化的影响研究进展[J].肉类研究,2022,36(2):53-58.
- [24] ZANARDI E, BATTAGLIA A, GHIDINI S, et al. Lipid oxidation of irradiated pork products [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(7): 1301-1307.
- [25] 张艳霞,谢成民,周纷,等.两种养殖模式大黄鱼肌肉营养价值评价及主体风味物质差异性分析[J].食品科学,2020,41(8):220-227.
- [26] CARLA D M, FEDERICA B, GIAMPIERO S, et al. Physical and structural properties of extra-virgin olive oil based mayonnaise [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 764-770.
- [27] NIE W, CAI K Z, LI Y Z, et al. Study of polycyclic aromatic hydrocarbons generated from fatty acids by a model system [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(7): 3548-3554.
- [28] 江新业,宋焕禄.部分家禽肉肌肉内脂肪及脂肪酸含量的测定与分析[J].无锡轻工大学学报,2004,5:26-28.
- [29] GHERIAN C, HOLSONBAKE T B, GOEGER M P. Fatty acid composition and egg components of specialty eggs [J]. Poultry Science, 2002, 81(1): 30-33.
- [30] 赵佳,邢青斌,陆颖,等.不同肉类食物中脂肪酸组成[J].卫生研究,2018,47(2):6.
- [31] 王君文,韩旭,李田甜,等.乳化剂稳定乳液的机理及应用研究进展[J].食品科学,2020,41(21):303-310.
- [32] 帅雨桐,黄业传,何元琪,等.分子动力学模拟加热对肌动蛋白结构及酚类物质吸附的影响[J].肉类研究,2021,35(3):8-13.
- [33] 徐婷婷,李静,阚丽娇,等.不同脂肪酸组成的食用油热氧化稳定性研究[J].食品工业科技,2013,34(24):93-97.
- [34] 黄静,王正荣,杨德春,等.色彩营销研究:回顾与展望[J].外国经济与管理,2018,40(10):40-53.
- [35] 刁小琴,王莹,贾瑞鑫,等.动物性脂肪对肉品风味影响机制研究进展[J].肉类研究,2022,36(3):45-51.