

倪珊. 超高压、辐照杀菌对镇江肴肉贮藏期间品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(15): 362–369. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022100276

NI Shan. Effect of Ultra-high Pressure and Irradiation Sterilization on Quality Characteristics of Yao Meat in Zhenjiang during Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(15): 362–369. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022100276

· 贮运保鲜 ·

超高压、辐照杀菌对镇江肴肉贮藏期间品质的影响

倪珊

(扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127)

摘要: 本文研究了超高压、辐照杀菌方式对肴肉贮藏期间的品质特性的影响, 肴肉分别以 550 MPa, 600 s 超高压和 6 kGy 剂量辐照处理, 以未杀菌肴肉作为对照组, 于 4 °C 冷藏条件下, 以 1、10、20、30、40 d 为取样点, 测定各组样品的 pH、硫代巴比妥酸反应物、总挥发性盐基氮、菌落总数、挥发性物质等指标的变化。结果表明: 在贮藏期内, 各处理组的 pH 均呈下降趋势, 对照组 (CK 组) 下降幅度最大, 40 d 时降至最低点 6.48; 各组 TBARS 值、TVB-N 值、菌落总数均呈上升趋势, 辐照组的 TBARS 值始终显著高于另外两组 ($P < 0.05$), 30 d 时, 对照组 (CK 组) 菌落总数为 6.36 lg CFU/g 明显超出国标限值; 高压组和辐照组的挥发性物质种类高于对照组 (CK 组), 高压组的醛类、芳香族类、烃类物质的总含量和占比随着贮藏时间的增加呈上升趋势, 且高于对照组 (CK 组) 的总含量; 而辐照组的醇类、醛类、芳香族类等物质含量及占比均呈下降趋势, 超高压处理对肴肉的挥发性风味物质变化有积极影响。超高压处理肴肉能够有效延长肴肉的货架期, 并保持食品品质特性。

关键词: 镇江肴肉, 超高压, 辐照, 品质, 杀菌方式

中图分类号: TS251.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)15-0362-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022100276



本文网刊:

Effect of Ultra-high Pressure and Irradiation Sterilization on Quality Characteristics of Yao Meat in Zhenjiang during Storage

NI Shan

(College of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

Abstract: The effects of UHP and irradiation sterilisation on the quality characteristics of Yao meat during storage were investigated. Yao meat was treated with 550 MPa, 600 s UHP and 6 kGy irradiation. Among them, unpasteurised Yao meat was used as the control group, under refrigeration at 4 °C. At 1, 10, 20, 30 and 40 d, the pH, thiobarbituric acid reactive substances, total volatile salt nitrogen, total bacterial colony and volatile substances were measured in each group. The results demonstrated that the pH values of all treatment groups showed a decreasing trend during the storage period, with the control group (CK group) showing the greatest decrease, reaching the lowest point of 6.48 at 40 d. The TBARS value, TVB-N value and total bacterial count of all groups increased, and the TBARS value of the irradiated group was always significantly higher than the other two groups ($P < 0.05$). The total number of colonies in the control group (CK group) at 30 d was 6.36 lg CFU/g, which significantly exceeded the national standard limit. The volatile species in the high-pressure and irradiated groups were higher than those in the control group (CK group), and the total content and proportion of aldehydes, aromatics and hydrocarbons in the high-pressure group tended to increase with the increase in storage time and the total content were higher than those in the control group (CK group). In contrast, the content and proportion of alcohols, aldehydes and aromatics in the irradiated group decreased, and the UHP treatment had a positive effect on the change of volatile flavour substances in Yao meat. Therefore, the UHP treatment of Yao meat was effective in extending the shelf life of Yao meat and maintaining the food quality characteristics.

收稿日期: 2022-11-01

作者简介: 倪珊 (1987-), 女, 硕士, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 461482505@qq.com。

Key words: Zhenjiang Yao meat; ultra-high pressure; irradiation; quality; sterilization mode

镇江肴肉作为镇江地区的特色美食,其需求和市场规模随着旅游业的发展逐年增加。作为典型的低温肉制品,肴肉采用常压煮沸的方式进行产品加工,肴肉中心温度为 80~90 ℃,低温的加工方式使肴肉的蛋白质变性适度,从而减少了营养物质如蛋白质、氨基酸等的损失,保留了风味和口感,造就了镇江肴肉的特色^[1-2]。但是肴肉存在保质期短,易变质,不易运输和贮藏等问题。

传统的杀菌方式一般以热杀菌为主,虽能有效杀灭产品中的微生物,但由于处理的温度过高导致食品中热敏性营养物质损失,破坏肴肉的组织状态和风味物质,引起不良理化反应,丧失原有特色^[3]。低温杀菌技术是采用非加热的方法作用于食品,使生物分子的细胞壁、细胞膜等发生不可逆的损伤,从而起到杀菌、钝酶的作用,具有绿色环保、效率高及最大限度保持食品品质的优点^[4-5]。

超高压杀菌是新型低温杀菌技术,主要利用压力对微生物的致死作用,通过影响基因表达、破坏细胞质膜、钝化代谢酶等方式灭菌^[6-7]。超高压杀菌主要通过破坏细胞膜的通透性,使细胞膜的结构破坏,细胞质流失,达到杀灭微生物的目的^[8-9]。有研究表明,345 MPa 超高压处理肠膜明串珠菌 5 min,会降低细胞膜两侧电位梯度,致使细胞壁降解^[10]。此外,超高压杀菌还可以破坏细胞膜结合蛋白。Ritz 等^[11]研究了超高压对鼠伤寒沙门氏菌细胞膜的影响,蛋白电泳显示外层细胞膜的主要和次要蛋白均会减少。目前,该技术已在国内外的食品领域广泛使用。其不仅能够有效降低初始菌数,而且能够在保持感官品质的情况下,延长产品的保质期。王志江等^[12]发现,超高压(487 MPa, 17 min, 26 ℃)处理白切鸡,可保持感官品质,延长保质期至 60 d。Grebol^[13]采用 400 MPa, 10 min 超高压处理切片火腿,处理组 120 d 乳酸菌仍小于 10⁷ CFU/g。

辐射杀菌是利用原子能射线对食品进行辐照处理,通过射线能量破坏微生物细胞核内 DNA,从而引起微生物死亡,延长食品货架期,具有杀菌效果好、操作简单、安全环保等优点^[14]。目前,辐照杀菌技术已应用于烧鸡、烤鸭、酱鸭、盐水鹅等畜禽肉制品上。Kanatt 等^[15]用 2.5 kGy 剂量电子束辐照羊肉馅和鸡腿,可延长保质期至 21 d。Chen 等^[16]发现 10 kGy 剂量辐照辣子鸡,可以保持感官性状,并显著降低病原菌水平。

如何使用杀菌保鲜技术保持肴肉在货架期间的质量,一直是行业关注的问题。镇江肴肉因其加工特性,具有丰富的蛋白质、脂肪和水分,且加工过程多为手工工艺,易造成二次污染,贮运不当极易产生食品质量和安全等问题,对肴肉贮藏期间的品质特性和变化的了解是保证和提高肴肉产品安全和质量的基

础。因此,本研究采用超高压和辐照两种低温杀菌方式处理肴肉,研究了肴肉在贮藏期间理化品质、挥发性物质等食品品质指标的变化,为稳定肴肉产品食用品质及减少安全隐患、延长货架期提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

真空包装肴肉 由镇江某肴肉厂提供;三氯乙酸、硫代巴比妥酸、硼酸、盐酸、甲醇等 均为分析纯,生工生物工程(上海)股份有限公司。

AL204 电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;METTLER-TOLEDO 便携式 pH 计 德国仪表(深圳)有限公司;HH-8 数显恒温水浴锅 国华电器有限公司;721 分光光度计 上海舜宇恒平科学仪器邮箱公司;LDX-50KBS 高压蒸汽灭菌锅 Tomy Digital 生物技术公司;SW-CJ-1F 超净工作台 上海智诚分析仪器公司;SPX-250C 恒温恒湿箱 上海博迅有限公司医疗设备厂;Tace 1300-ISQ 气相色谱-质谱联用仪 美国热电公司;HPP-150-1 型超高压设备 山东蓬能机械科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的处理 未经杀菌的真空包装肴肉,由镇江某肴肉厂提供,共提供三个批次,产品规格为 400 g/袋,箱内放入干冰,生产当天运回实验室,于 4 ℃ 冷藏。

超高压处理组(高压组):由镇江某肴肉厂使用 HPP-150-1 型超高压设备,超高压 550 MPa, 600 s 处理真空包装肴肉后,干冰封箱运回实验室置于 4 ℃ 保存。

辐照处理组(辐照组):某辐照中心使用⁶⁰CO- γ 射线,6 kGy 剂量处理真空包装肴肉后,干冰封箱运回实验室置于 4 ℃ 保存。

对贮藏期间的镇江肴肉取样:以 1、10、20、30、40 d 为取样点,选取未杀菌处理对照组(CK 组)、高压组和辐照组的肴肉样品,分别测定各时间点样品的以下指标。

1.2.2 pH 测定 根据 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品中 pH 值的测定》,准确称取 5.00 g 样品置于烧杯,加入 25 mL 蒸馏水,匀浆 20 s,滤液使用 pH 计测定,每个处理组重复 3 次。

1.2.3 硫代巴比妥酸反应物测定 根据 GB 5009.181-2016《食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定》的分光光度法进行测定。

1.2.4 总挥发性盐基氮测定 根据 GB 5009.228-2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》的微量扩散法进行测定。

1.2.5 菌落总数测定 根据 GB 4789.2-2016《食品微生物学检验 菌落总数测定》进行测定。

1.2.6 挥发性物质测定 参照陈春梅^[17]的方法稍作修改。SPME: 称取 10.0 g 样品, 切成肉丁后装入 200 mL 三角瓶中, 检测前加入 10 μ L 内标溶液(辛酸甲酯-甲醇, 0.34 mL/L), 样品在顶空条件下, 温度 60 $^{\circ}$ C 萃取 40 min。萃取结束后取出萃取针并转移到 GC-MS 系统中, 解析 3 min, 250 $^{\circ}$ C。

GC 条件: 非极性柱 DB-5MS(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m), 载气为高纯氮气(99.999%), 恒流且流量为 1.0 mL/min, 不分流进样。辅助载气为高纯氢气(99.999%), 检测器温度为 280 $^{\circ}$ C, 进样口温度为 250 $^{\circ}$ C。初始温度为 40 $^{\circ}$ C, 保持 1 min, 5 $^{\circ}$ C/min 升温至 100 $^{\circ}$ C, 保持 8 min, 8 $^{\circ}$ C/min 升温至 240 $^{\circ}$ C, 保持 5 min。

MS 条件: 离子源使用电子轰击源, 电子能源为 70 eV, 扫描时间 0.2 s, 检测电压为 500 V, 扫描范围: 33~500 amu。

定性: 参照 NIST 检索谱库, 筛选出检测出的挥发性物质中正逆匹配度 $>$ 800 的挥发性物质。

定量公式:

$$\text{样品质量浓度}(\mu\text{g}/\text{kg}) = \frac{\text{样品峰面积} \times \text{内标浓度}(\text{mg}/\text{mL}) \times \text{内标体积}(\text{mL}) \times 1000}{\text{内标峰面积} \times \text{样品质量}(\text{kg})} \quad \text{式(1)}$$

1.3 数据处理

实验进行 3 次重复, 图表绘制采用 Origin 2018, 统计学分析采用 IBM SPSS Statistics 26, 显著性差异的分析选择 Duncan 法多重比较, 结果表示为平均值 \pm 标准差。显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 肴肉贮藏期间的 pH 变化

不同杀菌方式的镇江肴肉贮藏期间 pH 变化如图 1 所示。肴肉的初始值在 6.76~6.83 之间。随着贮藏时间的增加, 三组的 pH 均呈现下降趋势, 且对照组(CK 组)下降幅度大于杀菌组, 高压组的 pH 在

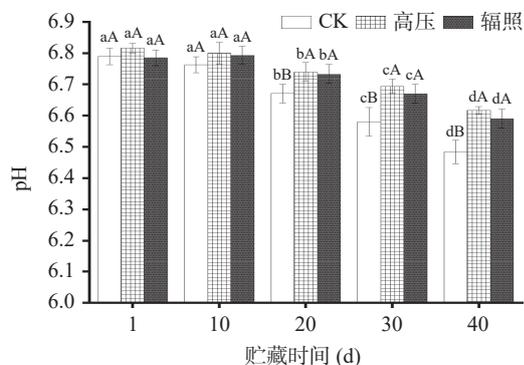


图1 镇江肴肉贮藏期间 pH 变化

Fig.1 Changes in pH values during Zhenjiang Yao meat storage

注: 不同大写字母表示同一时间不同处理组间差异显著 ($P<0.05$), 不同小写字母表示同一处理组不同时间差异显著 ($P<0.05$), 图 2~图 4 同。

整个贮藏期间与辐照组无显著差异 ($P>0.05$)。1~10 d 时, 三组的 pH 差异不显著 ($P>0.05$); 20~40 d 时, 对照组(CK 组)的 pH 较高压处理和辐照处理差异显著下降 ($P<0.05$), 对照组(CK 组)降至最低值 6.48, 三组对比 1 d 均下降显著 ($P<0.05$)。

贮藏期间 pH 的降低主要是由微生物降解糖原产生乳酸、醋酸等物质及蛋白质降解产生胺类等物质造成^[18]。本研究中, 超高压或辐照样品的 pH 均高于对照组(CK 组), 原因可能是超高压会改变蛋白质分子的氢键、离子键、水合作用和疏水相互作用, 进而改变蛋白质的结构^[19-20]; 而辐照可能引起蛋白质结构改变, 致使氨基酸基团暴露^[21]。经超高压和辐照灭菌, 样品中绝大多数微生物被杀死, 加之低温贮藏和真空包装环境, 导致这两组的 pH 相较对照组(CK 组)下降缓慢。对照组(CK 组)的 pH 在贮藏后期发生显著下降 ($P<0.05$), 可能是因为微生物的生长繁殖, 分解了肴肉中的营养成分发酵产酸所致。

2.2 肴肉贮藏期间的 TBARS 的变化

TBARS 是衡量食品脂质氧化的重要指标。不同杀菌方式的肴肉贮藏期间 TBARS 值的变化如图 2 所示。随着贮藏时间的延长, 三组的 TBARS 值整体上呈上升趋势, 且辐照组的 TBARS 值始终显著高于另外两组 ($P<0.05$)。1 d 时, 辐照组与另两组差异显著 ($P<0.05$), 而高压和对照组(CK 组)差异不显著 ($P>0.05$)。40 d 时, 三组间均达到最大值, 且三组间差异显著 ($P<0.05$)。

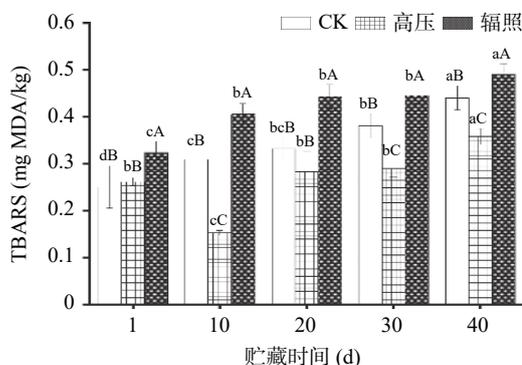


图2 肴肉贮藏期间 TBARS 值的变化

Fig.2 Changes in TBARS values during Yao meat storage

TBARS 值的大小与脂肪分解有关, 它能够反映产品脂肪氧化程度的高低, 其值越高, 说明脂肪经氧化产生的丙二醛等物质越多, 酸败的程度越严重。本研究中, 三组的 TBARS 值在贮藏期内均有升高, 这是由于随着贮藏时间的增加, 三组出现了不同程度的氧化, 次级产物不断增多, 导致 TBARS 增加。李新福^[22]发现, 真空包装培根在贮藏期间 TBARS 值呈上升趋势; 沈旭娇等^[23]研究了 400 MPa 超高压处理后的鸭胸, 随着贮藏时间的增加, TBARS 值呈上升趋势。与本研究结果相符。辐照组的 TBARS 值明显高于另外两组, 是由于辐照处理促进了自由基的生成, 引发自由基链式反应, 使脂肪生成不稳定的氢过

氧化物,经降解形成醛类等物质,促进了脂质的氧化,致使 TBARS 值增加。张明^[24]研究表明,辐照会催化鹅肉产生自由基,加速脂质氧化,提高 TBARS 值。胡鹏等^[25]结果显示,辐照处理会诱导脂质氧化,加速扒鸡的脂肪氧化。综上,至贮藏末期,三组的氧化程度为:高压组<对照组(CK 组)<辐照组,辐照处理促进了脂肪的氧化。

2.3 肴肉贮藏期间的 TVB-N 的变化

TVB-N 值是评价肉质鲜美的理化指标之一,不同杀菌方式肴肉贮藏期 TVB-N 值的变化如图 3 所示。随着贮藏时间的增加,三组的 TVB-N 值均呈现上升趋势。1 d 时,三组间差异不显著($P>0.05$)。10 d 时,对照组(CK 组)TVB-N 值显著上升且和高压及辐照组两组间差异显著($P<0.05$)。随着贮藏时间的延长,对照组呈显著上升趋势,而高压组、辐照组的 TVB-N 值呈缓慢上升趋势,至 40 d 时,对照组(CK 组)的 TVB-N 值达到最大值,为 26.72 mg/100 g,显著高于高压组和辐照组($P<0.05$)。

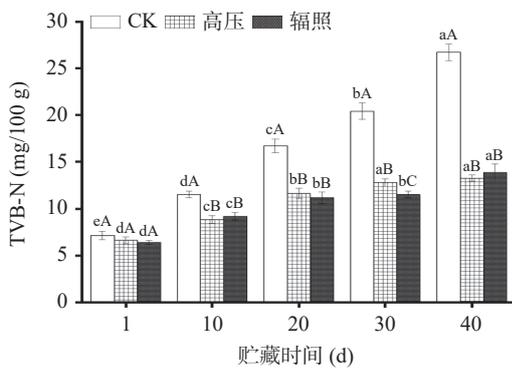


图 3 肴肉贮藏期间 TVB-N 值的变化

Fig.3 Changes in TVB-N values during Yao meat storage

TVB-N 值的变化一般与肉制品自身酶和微生物密切相关。其值越高,说明氨基酸被破坏的越严重。在肴肉加工的过程中,煮制工艺会导致部分酶的失活,随着贮藏时间的增加,肉制品会受到少部分细菌的作用,分解蛋白质产生氨及胺类等物质^[18]。超高压和辐照处理均会抑制微生物的生长繁殖,故高压组和辐照组的 TVB-N 值在整个贮藏期呈缓慢上升趋势。根据 SB/T10294-2012《中华人民共和国国内贸易行业标准 腌猪肉》的规定,TVB-N 值 ≤ 20 mg/100 g 为一级品,TVB-N 值 ≤ 45 mg/100 g 为二级品。在整个贮藏期,三组的值均 <45 mg/100 g,而对对照组(CK 组)在 40 d 时 >20 mg/100 g,高压组和辐照组的 TVB-N 值均 <20 mg/100 g,表明高压组和辐照组能够提高产品的级别。

2.4 肴肉贮藏期间的菌落总数变化

菌落总数是判定食品品质优劣的指标之一。不同杀菌方式肴肉贮藏期菌落总数的变化见图 4。根据 GB2726-2016《食品安全国家标准 熟肉制品》的规定,菌落总数的限制为 ≤ 5 lg CFU/g。由图 4 可知,整个贮藏期,三组的菌落总数均呈现上升趋势,对

对照组(CK 组)与杀菌组差异显著($P<0.05$)。1~10 d 时,对照组(CK 组)上升缓慢,10 d 后,对照组(CK 组)呈快速上升趋势。对照组(CK 组)在 20 d 时菌落总数为 4.96 lg(CFU/g),接近国标限值,在 30 d 时为 6.36 lg(CFU/g)明显超出国标限值,而在整个贮藏期内,高压组和辐照组的菌落总数均呈缓慢上升趋势且在储藏 40 d 时间内未超过国标限值。

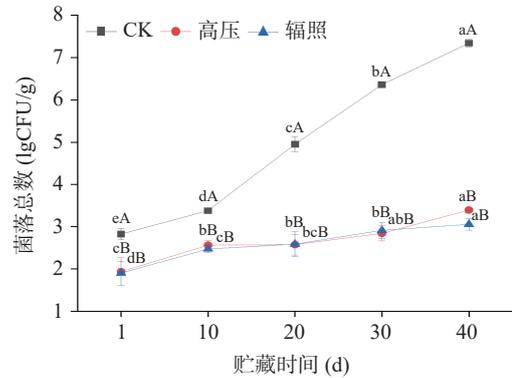


图 4 肴肉贮藏期间菌落总数的变化

Fig.4 Changes in the total number of colonies during the storage period of Yao meat

在 1~10 d 时,CK 组菌落总数的上升是由于微生物在新环境的适应期,因此微生物上升相对缓慢,10 d 之后,微生物开始利用环境中的营养成分,大量生长繁殖,因此呈现快速生长的趋势^[18]。由于高压及辐照处理对肴肉的初始菌落总数起到了控制作用,高压组和辐照组的菌落总数显著低于 CK 组($P<0.05$)。研究显示,超高压处理及辐照处理能够改变微生物内部结构,造成微生物损伤,从而抑制微生物的生长繁殖^[24,26]。在贮藏期内高压组和辐照组的结果明显优于对照组(CK 组)。

2.5 镇江肴肉贮藏期间的挥发性风味物质变化

通过顶空气相色谱-质谱联用(SPME-GC-MS)方法,对比了不同处理组肴肉贮存 1 d 和 40 d 的风味变化见表 1。贮藏期内,共检测挥发性物质 37 种,其中醇类 9 种,醛类 7 种,酚类 2 种,芳香族类 5 种,烃类 11 种,酸类 1 种,酯类 2 种。随着贮藏时间的增加,对照组(CK 组)挥发性物质的种类由 9 种增加到 14 种;高压组由 12 种增加到 16 种;辐照组由 14 种增加到 29 种。高压组和辐照组的挥发性物质种类高于 CK 组,40 d 时三组的挥发性物质种类对比 1 d 时均增多。结合不同处理组肴肉贮存期的风味物质的百分比和含量图 5(A)、(B),在整个贮藏期间,高压组的醛类、芳香族类、烃类物质的总含量呈上升趋势,且高于对照组(CK 组)的总含量;而辐照组的醇类、醛类、芳香族类物质均呈下降趋势。对照组(CK 组)的醛类、烃类占比由 28%、8%上升至 32%、29%,而芳香族类占比由 17%下降至 16%;高压组的醛类、烃类、芳香族类的占比由 34%、18%、19%上升至 40%、26%、20%;辐照组的醛类、芳香族类的占比由 44%、23%下降至 43%、18%,烃类占

表1 肴肉贮藏期间挥发性风味物质的变化(μg/kg)
Table 1 Changes on volatile flavor components in Yao meat during storage (μg/kg)

风味物质名称	CK		高压		辐照	
	1 d	40 d	1 d	40 d	1 d	40 d
醇类						
桉叶油醇	2.47±0.38	13.36±1.35	12.09±1.48	5.80±0.11	20.05±1.67	-
(-)-4-萜品醇	-	-	-	2.80±1.44	-	-
叔十六硫醇	-	-	-	0.22±0.22	-	-
三甲基硅醇	-	-	-	-	-	7.36±0.79
1-十六烷醇	-	-	-	-	-	0.57±0.10
2,4-二甲基环己醇	-	-	-	-	-	0.81±0.07
叔十六硫醇	-	-	-	-	-	0.19±0.03
10-十一炔-1-醇	-	-	-	-	-	0.13±0.02
(-)-蓝桉醇	-	-	-	-	-	0.10±0.010
Σ醇类	2.47±0.38	13.36±1.35	12.09±1.48	8.82±1.56	20.05±1.67	9.16±0.83
醛类						
壬醛	0.61±0.02	6.53±1.32	5.36±1.13	8.69±0.77	9.10±1.09	6.24±0.65
己醛	0.82±0.32	6.90±1.32	6.72±1.07	6.93±1.41	20.32±0.40	-
苯甲醛	-	2.19±0.40	-	6.01±0.30	2.20±0.39	7.35±1.10
庚醛	-	1.85±0.07	-	4.18±0.21	5.51±2.8	3.99±0.67
正辛醛	0.17±0.04	1.9±0.14	2.39±0.85	2.67±0.30	6.92±1.79	12.28±0.67
(Z)-2-壬烯醛	-	0.17±0.02	-	-	-	0.40±0.07
2-十一烯醛	-	-	-	-	-	0.22±0.04
Σ醛类	1.60±0.41	19.54±1.36	14.47±1.23	28.48±1.56	44.05±1.89	30.48±1.68
酚类						
2,4-二叔丁基苯酚	-	0.32±0.08	0.08±0.02	0.10±0.03	-	-
对特辛基苯酚	0.29±0.08	-	-	-	-	-
Σ酚类	0.29±0.08	0.32±0.08	0.08±0.02	0.10±0.03	-	-
芳香族类						
茴香脑	0.96±0.93	-	8.21±1.28	-	14.29±1.15	9.75±1.42
邻异丙基甲苯	-	-	-	-	-	1.45±0.47
1,3-二叔丁基苯	-	-	-	-	7.85±1.63	1.07±0.15
乙基苯	-	-	-	-	-	0.55±0.22
苯	-	9.77±1.08	-	14.54±0.62	-	0.06±0.04
Σ芳香族类	0.96±0.93	9.77±1.08	8.21±1.28	14.54±0.62	22.14±1.70	12.88±1.58
烃类						
右旋萘二烯	-	-	5.39±0.82	-	9.24±0.99	5.98±1.67
2-蒎烯	-	-	-	-	-	0.67±0.06
1,7-十六烷二烯	-	-	-	-	-	0.32±0.07
六甲基环三硅氧烷	0.23±0.19	0.72±0.16	0.94±0.13	6.54±0.11	0.74±0.44	6.55±1.09
3-甲基十一烷	0.11±0.05	0.66±0.12	2.15±1.07	2.36±0.32	1.47±0.47	0.55±0.05
癸烷	0.10±0.04	1.06±1.00	1.78±1.07	2.25±0.61	1.93±1.28	0.76±0.35
十二甲基环六硅氧烷	-	-	2.50±0.25	0.18±0.13	1.81±0.34	-
2-甲基癸烷	-	-	0.50±0.14	0.04±0.01	0.62±0.38	0.06±0.02
十五烷	-	-	-	-	-	0.50±0.09
十一烷	-	-	-	-	-	0.64±0.24
十四烷	-	15.13±1.03	-	7.30±0.38	-	0.25±0.02
Σ烃类	0.44±0.21	17.57±1.05	7.87±1.08	18.67±0.73	12.81±1.32	16.28±1.72
酸类						
乙酸	-	0.31±0.41	-	-	-	-
Σ酸类	-	0.31±0.41	-	-	-	-
酯类						
己酸-2-苯乙酯	-	-	-	-	-	1.73±0.33
乙酸松油酯	-	-	-	-	-	0.29±0.04
Σ酯类	-	-	-	-	-	2.02±0.36

注: -表示未检出。

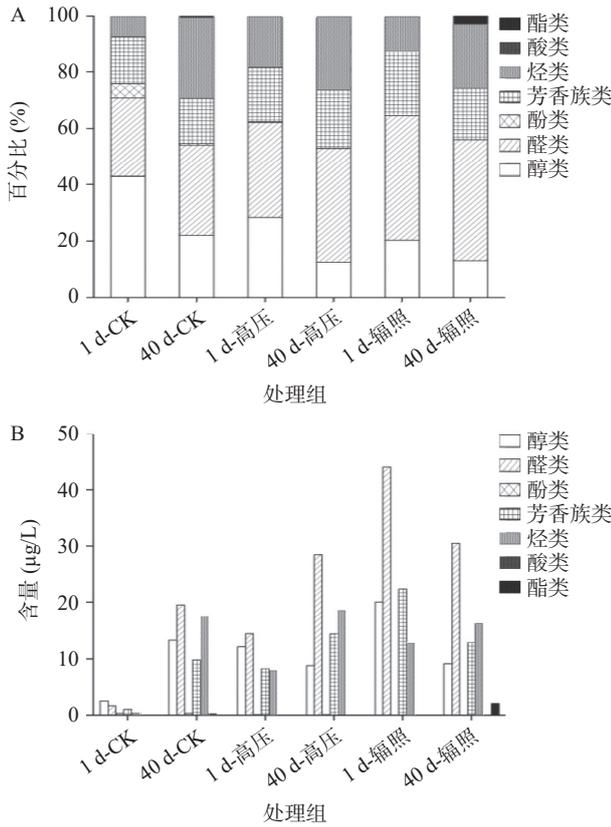


图 5 肴肉贮藏期间风味物质的百分比图、含量图

Fig.5 Percentage and content of flavor substances during Yao meat storage

比由 13% 上升至 23%。对照组(CK 组)至 40 d 时出现了酸类物质: 乙酸。

肴肉特殊的风味是其重要的指标之一。醛类化合物在肴肉的风味中具有特殊作用, 它们可以在加工贮藏过程或者微生物的生长过程中生成, 直链醛主要来源于不饱和脂肪酸氧化而成的过氧化物裂解, 支链醛则来自氨基酸降解的脱氨、脱酸反应^[27]。如己醛是亚油酸的氧化产物, 具有干草香味; 庚醛、壬醛均来自脂肪酸的氧化降解, 庚醛具有脂蜡气味, 类似果香气味; 壬醛具有油脂气味和甜橙气息; 正辛醛具有甜橙香气; 苯甲醛微有安息香等^[28]。赵改名等^[29]研究表明, 醛类化合物是金华火腿的重要挥发性化合物, 且其中己醛、戊醛、苯甲醛等含量较高。田怀香等^[30]研究表明, 醛类化合物是金华火腿重要的风味化合物, 具有重要贡献作用。贮藏期内, 高压组和对照组的己醛、庚醛、壬醛、正辛醛和苯甲醛等醛类物质的含量均呈上升趋势, 而辐照组的己醛、庚醛、壬醛等呈现下降趋势, 40 d 时高压组和对照组的醛类物质总含量均呈现上升趋势, 而辐照组的醛类下降, 这可能是因为生成的醛快速转化为酸或者酯化成醇^[31]。醛类物质不仅是肉制品的重要风味来源, 而且还能进一步降解产生新的风味物质^[17], 醛类物质的含量增加对产品的风味变化有积极的影响, 对肴肉产品香味的形成有重要作用。

醇类物质可能来源于微生物代谢、脂肪物质氧

化、氨基酸降解等^[32], 贮藏期内, 高压组、辐照组的醇类总含量呈现下降趋势, 对照组的醇类物质的总含量呈现上升趋势, 这可能是由于微生物的生长繁殖所致^[22]。不饱和醇的风味阈值较低, 对风味存在贡献, 丰富了肴肉风味。如桉叶油醇具有清凉的草药和樟脑气息^[33]。

烃类物质主要来源于烷氧自由基的断裂和香料, 如右旋萜二烯有类似鲜花的清淡香气, 呈甜橙和柑橘类风味; 2-蒎烯具有松脂气味等^[34]。本研究中, 高压组在贮藏 40 d 烃类物质的含量及占比均高于对照组(CK 组)和辐照组, 烃类化合物可以作为醛类风味物质的前体物质, 对肉制品风味的变化起到基底作用, 有助于肴肉特殊风味的形成^[27]。罗玉龙等^[35]研究表明烷烃和烯烃相互协同对肉制品整体风味有重要贡献。

镇江肴肉的挥发性风味是多种风味物质共同作用的结果, 各工艺导致蛋白质、脂质水解等形成了丰富的氨基酸和脂肪酸, 加之辅料的添加, 进而形成了镇江肴肉特殊的风味。在 40 d 时, 对照组(CK 组)检测到了乙酸, 它是肴肉腐败的标志, 也是酸味和刺激性气味的来源。这可能也是对照组(CK 组)pH 下降的原因。与上文 pH 的变化情况相符。

不同处理组的肴肉贮藏期间风味物质的主成分分析(PCA)如图 6。各样本点分散, 说明各处理组的

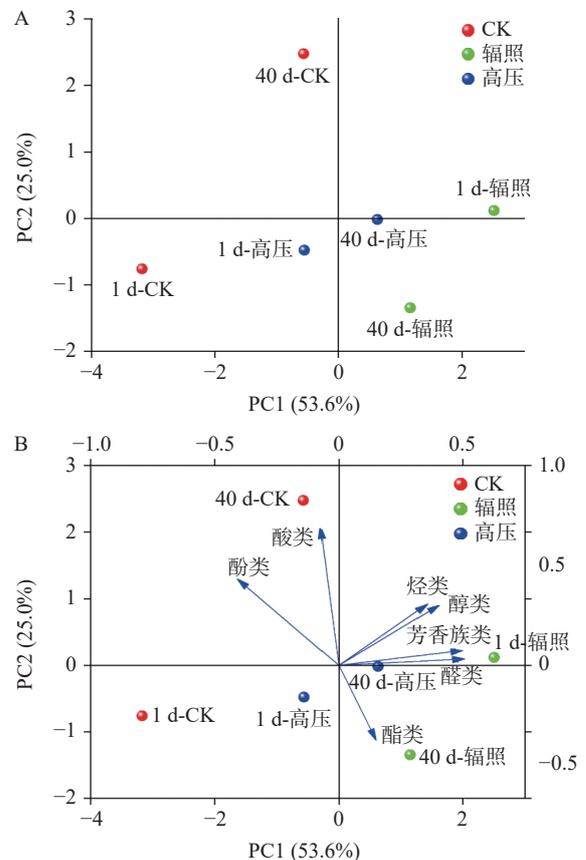


图 6 肴肉贮藏期间风味物质的 PCA 图

Fig.6 PCA diagram of flavor substances during Yao meat storage

样品能够被很好地区分,这表明杀菌处理对肴肉贮藏期间的风味特征有很大的影响。箭头对应的原始变量投影到水平和垂直方向上的值,可以体现该变量与 PC1 和 PC2 的相关性。投影值的大小反映了该原始变量在 PC1、PC2 上的载荷系数的大小,载荷系数越大,则该变量对该 PC 影响相对越大。由图 6 可知,醛类、芳香族类、醇类、烃类在 PC1 上的载荷系数较大(投影长度大),且为正向,即醛类、芳香族类、醇类、烃类对 PC1 影响较大。酸类、酚类在 PC2 上载荷系数较大(投影长度大),即酸类、酚类对 PC2 有较大影响。根据各样本点的投影大小,可得到各样本点 PC1 的得分,值越大(投影长度大),则该样本点的 PC1 得分越高,即 1 d-辐照>40 d-辐照>40 d-高压>1 d-高压>40 d-CK>1 d-CK。40 d-高压位于右上方的第一象限,其中醛类、芳香族类、醇类、烃类是与其最为相关的挥发性物质;40 d-辐照位于右下方象限,酯类是与其最相关的挥发性物质;40 d-CK 位于左上方象限,其中酸类、酚类是与其相关的挥发性物质。综上,超高压处理对肴肉贮存期间的风味变化有积极的影响。

3 结论

本文研究了超高压和辐照对镇江肴肉贮藏期间的品质特性的变化。在贮藏期内,各处理组的 pH 均呈下降趋势,且 CK 组下降幅度大于杀菌组,40 d 时降至最低点;各组 TBARS 值、TVB-N 值、菌落总数均呈上升趋势,辐照组的 TBARS 值始终显著高于另外两组($P<0.05$),30 d 时,CK 组菌落总数为 $6.36 \lg$ CFU/g 明显超出国标限值;高压组和辐照组的挥发性物质种类高于 CK 组,高压组的醛类、芳香族类、烃类物质的总含量和占比随着贮藏时间的增加呈上升趋势,且高于 CK 组的总含量;而辐照组的醇类、醛类、芳香族类等物质含量及占比均呈下降趋势,40 d 时对照组(CK 组)出现腐败标志物:乙酸,超高压处理对肴肉的挥发性风味物质变化有积极影响。综上,经超高压处理(550 MPa)处理 10 min 的肴肉总体优于 CK 组和辐照组,不仅保持了肴肉的食品品质特性,还有效延长产品的货架期。

参考文献

[1] 王东. 水晶肴肉的改良制法[J]. 四川烹饪, 2005(5): 33. [WANG D. Improved preparation method of crystal meat[J]. Sichuan Cuisine, 2005(5): 33.]

[2] 李大龙, 李海宾, 刘尔卓, 等. 速冻型肴蹄肘加工关键辅料配比研究[J]. 肉类工业, 2015(1): 21-23. [LI D L, LI H B, LIU E Z, et al. Study on the proportion of key auxiliary materials in processing of quick-frozen Yao hoof elbow[J]. Meat Industry, 2015(1): 21-23.]

[3] SAMELIS J, KAKOURI A, REMENTZIS J. Selective effect of the product type and the packaging conditions on the species of lactic acid bacteria dominating the spoilage microbial association of cooked meats at 4 degrees C[J]. Food Microbiology, 2000, 17(3): 329-340.

[4] NIELSEN H, ZEUTHEN P. Growth studies of spoilage and

pathogenic bacteria in vacuum-packed Bologna-type sausage produced with NaCl or mixed NaCl and KCl[J]. Food Microbiology, 1986, 3(2): 151-155.

[5] POTHAKOS V, SNAUWAERT C, VOS P D, et al. Psychrotrophic members of *Leuconostoc gasicomitatum*, *Leuconostoc gelidum* and *Lactococcus piscium* dominate at the end of shelf-life in packaged and chilled-stored food products in Belgium[J]. Food Microbiology, 2014, 39(may): 61-67.

[6] LI L, ZOU D, RUAN L, et al. Evaluation of the biogenic amines and microbial contribution in traditional Chinese sausages[J]. Frontiers in Microbiology, 2019, 10: 872.

[7] BENEDITO J, CAMBERO M I, ORTUNO C, et al. Modeling and optimization of sensory changes and shelf-life in vacuum-packaged cooked ham treated by E-beam irradiation[J]. Radiation Physics & Chemistry, 2011, 80(3): 505-513.

[8] SHIMADA S, ANDOU M, NAITO N, et al. Effects of hydrostatic pressure on the ultrastructure and leakage of internal substances in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 1993, 40(1): 123-131.

[9] SMELT J. Recent advances in the microbiology of high pressure processing[J]. Trends in Food Science & Technology, 1998, 9(4): 152-158.

[10] KALCHAYANAND N, FRETHERM C, DUNNE P, et al. Hydrostatic pressure and bacteriocin-triggered cell wall lysis of *Leuconostoc mesenteroides*[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2002, 3(1): 33-40.

[11] RITZ M, FREULET M, ORANGE N, et al. Effects of high hydrostatic pressure on membrane proteins of *Salmonella typhimurium*[J]. International Journal of Food Microbiology, 2000, 55(1-3): 115-119.

[12] 王志江, 何瑞琪, 蒋爱民, 等. 超高压处理白切鸡在冷藏过程中微生物和品质的变化[J]. 食品与机械, 2010(2): 43-46. [WANG Z J, HE R Q, JIANG A M, et al. Changes of microbe and quality of white cut chicken under ultra-high pressure during cold storage[J]. Food & Machinery, 2010(2): 43-46.]

[13] N GRÉBOL. Commercial use of high hydrostatic pressure in sliced cooked ham in Spain[J]. Progress in Biotechnology, 2002, 19: 385-388.

[14] 青莉芳, 魏敏, 杨平华, 等. γ 辐照食品灭菌的机理及微生物检测[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(5): 3. [QING L F, WEI M, YANG P H, et al. Mechanism and microbiological detection of γ -irradiated food sterilization[J]. Food Research and Development, 2016, 37(5): 3.]

[15] KANATT S R, RAO M S, CHAWLA S P, et al. Shelf-life extension of convenience meat products sold in Indian supermarkets by radiation processing[J]. Radiation Physics & Chemistry, 2010, 79(12): 1259-1263.

[16] CHEN Q, CAO M, CHEN H, et al. Effects of gamma irradiation on microbial safety and quality of stir fry chicken dices with hot chili during storage[J]. Radiation Physics & Chemistry, 2016, 127: 122-126.

[17] 陈春梅. 超声波辅助炖煮羊肉汤的工艺优化及风味分析[D]. 扬州: 扬州大学, 2021. [CHEN C M. Optimization of the technology and flavor analysis of the stewed sheep meat soup with ultrasonic-assisted stewing[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021.]

[18] 肖香. 肴肉微生物多样性与特定腐败菌控制机制研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2013. [XIAO X. Bacterial diversity and inhibitory mechanism of antibacterial plant extracts against specific spoilage

- organism in Yao meat[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2013.]
- [19] 王章存, 徐贤. 超高压处理对蛋白质结构及功能性质影响[J]. *粮食与油脂*, 2007(11): 10-12. [WANG Z C, XU X. Effects of ultra-high pressure treatment on protein structure and functional properties[J]. *Cereals & Oils*, 2007(11): 10-12.]
- [20] 李仁杰, 廖小军, 胡小松, 等. 超高压对蛋白质的影响[J]. *高压物理学报*, 2014, 28(4): 498-506. [LI R J, LIAO X J, HU X S, et al. Effects of ultra-high pressure on proteins[J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2014, 28(4): 498-506.]
- [21] 顾可飞, 陈志军. 电子束辐照对氨基酸与蛋白质结构的影响[J]. *辐射研究与辐射工艺学报*, 2019, 37(2): 35-42. [GU K F, CHEN Z J. Effect of electron beam irradiation on amino acid and protein structure[J]. *Journal of Radiation Research and Radiation Processing*, 2019, 37(2): 35-42.]
- [22] 李新福. 培根加工及贮藏过程中腐败菌变化、鉴定及控制[D]. 无锡: 江南大学, 2019. [LI X F. Changes, identification and control of spoilage microorganisms during bacon processing and storage[D]. Wuxi: Jiannan University, 2019.]
- [23] 沈旭娇, 徐幸莲, 周光宏. 超高压处理对南京盐水鸭货架期的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(4): 250-254. [SHEN X J, XU X L, ZHOU G H. Effect of ultra-high pressure treatment on shelf-life of Nanjing salted duck[J]. *Food Science*, 2013, 34(4): 250-254.]
- [24] 张明. 两种辐照方式对盐水鹅品质和微生物的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2019. [ZHANG M. Effects of two irradiation methods on quality and microorganism of brine geese[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2019.]
- [25] 胡鹏, 王守经, 汝医, 等. 电子束辐照处理对扒鸡脂肪氧化的影响[J]. *中国食物与营养*, 2011, 17(12): 26-28. [HU P, WANG S J, RU Y, et al. Effect of electron beam irradiation on fat oxidation of braised chicken[J]. *Food and Nutrition in China*, 2011, 17(12): 26-28.]
- [26] 韩衍青. 应用超高压技术延长低温火腿的货架期[D]. 南京: 南京农业大学, 2011. [HAN Y Q. Application of high pressure treatment to improve the preservation of cooked ham[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.]
- [27] 潘晓倩, 周慧敏, 李素, 等. 卤牛肉贮藏过程中气味活性化合物变化及异味分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(22): 240-248. [PAN X Q, ZHOU H M, LI S, et al. Changes of odor active compounds and odor analysis of braised beef during storage[J]. *Food Science*, 2021, 42(22): 240-248.]
- [28] 孙宗保, 李国权, 邹小波. 镇江肴肉香味活性成分加工过程中的变化研究[J]. *食品与发酵工业*, 2010, 36(2): 180-183. [SUN Z B, LI G Q, ZOU X B. Study on the changes of aromatic active ingredients in Zhenjiang cuisine meat during processing[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2010, 36(2): 180-183.]
- [29] 赵改名, 柳艳霞, 田玮, 等. 金华火腿中挥发性风味物质形成过程及变化规律研究[J]. *食品与发酵工业*, 2007(5): 120-125. [ZHAO G M, LIU Y X, TIAN W, et al. Study on the formation and variation of volatile flavor substances in Jinhua ham[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2007(5): 120-125.]
- [30] 田怀香, 王璋, 许时婴. GC-O 法鉴别金华火腿中的风味活性物质[J]. *食品与发酵工业*, 2004(12): 117-123. [TIAN H X, WANG Z, XU S Y. Identification of flavor active substances in Jinhua ham by GC-O method[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2004(12): 117-123.]
- [31] SUN W, ZHAO Q, ZHAO H, et al. Volatile compounds of Cantonese sausage released at different stages of processing and storage[J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(2): 319-325.
- [32] 龙卓珊. 广式腊肠风味形成机理及贮藏期变化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010. [LONG Z S. Analysis of Chinese Cantonese sausage flavor formation mechanism and variation during storage[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010.]
- [33] 龚姚谦, 刘红梅, 罗凤莲, 等. 加工工艺对芷江鸭挥发性风味成分的影响[J]. *食品与机械*, 2020, 36(7): 194-200. [GONG Y Q, LIU H M, LUO F L, et al. Effect of processing technology on volatile flavor components of Zhijiang duck[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(7): 194-200.]
- [34] 吕佳玮, 刘亚琼, 路瑶, 等. 原料预处理对柿子酒发酵过程中挥发性风味物质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(12): 61-69. [LÜ J W, LIU Y Q, LU Y, et al. Effect of raw material pretreatment on volatile flavor substances during persimmon wine fermentation[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(12): 61-69.]
- [35] 罗玉龙, 靳志敏, 刘夏炜, 等. 肉制品中香味物质形成原因研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(2): 254-258. [LUO Y L, JIN Z M, LIU X W, et al. Research progress on the formation causes of aroma substances in meat products[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2015, 41(2): 254-258.]