

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90073

卤制工艺对湘味卤牛肉品质和风味的影响

Effect of marinated process on the quality and flavor of Hunan flavor marinated beef

庾坤^{1,2} 赵良忠^{1,2} 尹世鲜³ 刘斌斌³ 舒敏¹

YU Kun^{1,2} ZHAO Liang-zhong^{1,2} YIN Shi-xian³ LIU Bin-bin³ SHU Min¹

(1. 邵阳学院食品与化学工程学院, 湖南 邵阳 422000; 2. 豆制品加工与安全控制

湖南省重点实验室, 湖南 邵阳 422000; 3. 劲仔食品集团股份有限公司, 湖南 岳阳 414000)

(1. College of Food Science and Chemical Engineering, Shaoyang University, Shaoyang,

Hunan 422000, China; 2. Key Laboratory of Bean Products Processing and Safety Control,

Shaoyang, Hunan 422000, China; 3. Jinzi Food Group Co., Ltd., Yueyang, Hunan 414000, China)

摘要:目的:提升湘味卤牛肉品质、改进卤制工艺。方法:研究了脉冲卤制、真空卤制、微压卤制、传统卤制 4 种卤制工艺过程中牛肉品质和风味的变化规律。结果:随卤制时间延长,各卤制工艺牛肉的 NaCl 含量、烹煮损失率逐渐增加;色差 L^* 值逐渐降低;咀嚼性、硬度、弹性先增加后降低;脉冲卤制、真空卤制、微压卤制、传统卤制感官评价最高得分分别为 89.6, 85.2, 86.1, 83.6, 达到最高得分所需卤制时间分别为 2.7, 3.0, 3.0, 4.0 h, 其中脉冲卤制感官评分最高, 达至最高得分所需时间最少;在最高感官得分时, 脉冲卤制牛肉的烹饪损失率为 23.18%, 低于微压卤制与传统卤制 ($P < 0.05$), 咀嚼性、硬度和弹性分别为 5.15, 11.21 N 和 0.782 mm, 优于另外 3 种卤制工艺 ($P < 0.05$); 脉冲卤制牛肉的肌肉组织破坏程度最低, 肌纤维间隙最大;脉冲卤制牛肉中月桂醛、桂酸乙酯、丁香酚等湘味卤制特征风味物质相对含量最高, 为 12.3%。结论:脉冲卤制最适合湘味卤牛肉生产, 可有效提升湘味卤牛肉卤制效率、出品率与食用品质。

关键词:湘味卤牛肉; 卤制工艺; 品质; 微观结构; 风味变化

Abstract: Objective: This study aimed to provide a theoretical support for enhancing the quality of Hunan flavor marinated beef and improve the marinated process. Methods: The laws of beef quality and flavor change during pulse marinated, vacuum mari-

nated micro pressure marinated and traditional marinated were investigated. Results: The NaCl content and percentage loss from cooked increased gradually in each marinated process beef with increased marinated time. The chromatic difference L^* value decreased gradually, and the chewiness, hardness, elasticity increased first and then decreased. The sensory evaluation found the highest score and the time required to reach the highest score of pulse marination, vacuum marination, micro pressure marination and traditional marination were 89.6, 85.2, 86.1, 83.6, and 2.7 h, 3.0 h, 3.0 h, 4.0 h, respectively. Pulse marination had the highest sensory evaluation and the shortest time was required to reach the highest score. At the highest sensory score, the loss ratio of cooked was 23.18% in pulse marinated beef, which was lower than that of micro pressure marinated and traditional marinated ($P < 0.05$), and the chewability, hardness and elasticity were 5.15 N, 11.21 N and 0.782 mm, respectively, and these was superior to those of the other three marinated beef ($P < 0.05$). Muscle fiber bundles of pulse marinated beef were the least disruption in muscle tissue and the greatest gap between muscle fibers. The relative content of characteristic aroma compounds included Hunan flavor such as lauraldehyde, ethyl laurate and eugenol was highest at 12.3% in pulse marinated beef. Conclusions: Pulse marination is most suitable for Hunan flavor marinated production and can effectively improve the yield and food quality.

Keywords: Hunan flavor marinated beef; marinated process; quality; microstructure; flavor change

基金项目:湖南省研究生科研创新项目(编号: CX20201188); 湖南省科技创新计划资助(编号: 2022NK2039); 湖南省自然科学基金项目(编号: 2021JJ40514)

作者简介:庾坤, 男, 邵阳学院在读硕士研究生。

通信作者:赵良忠(1962—), 男, 邵阳学院教授, 硕士。

E-mail: sys169@163.com

收稿日期:2022-02-10

湘味卤牛肉是中国卤菜之都武功地区的一种传统酱卤肉制品, 其卤汁采用 20 多种药食同源的原料与牛大骨熬制, 预处理后的牛肉在卤汁中多次浸渍热卤^[1]。目前企业多用传统卤制工艺, 存在生产效率低(卤制时间 4~

6 h)、卤制技巧性强、科学性差、原辅料损失率高、香辛料特征成分挥发损失大等问题,限制了湘味卤牛肉产品工业化和标准化^[2]。

现阶段,适用于湘味卤牛肉需浸渍热卤的特性而改良的卤制工艺主要有脉冲卤制、真空卤制、微压卤制等。其中,脉冲卤制通过真空、微压、冷卤、热卤交替实现快速卤制^[3]。李海涛等^[4]利用脉冲卤制设备将湘味休闲豆干卤制时长由 8 h 缩短至 80 min。伍涛等^[5]发现传统卤制的卤汁、豆干中的 N(ϵ)羧甲基赖氨酸与 N(ϵ)羧乙基赖氨酸含量均高于脉冲卤制,脉冲卤制有良好的安全性。顾思远^[6]与高帮君^[7]分别以牛肉与鸭腿肉为原料,对其真空低温卤制工艺进行研究,结果发现真空卤制可提高出品率,改善产品食用品质。郭昕等^[8]发现,加压与常压相比可提高猪肉腌制速率,促进腌制液吸收。而目前不同卤制工艺对卤牛肉制品品质和风味变化影响的研究国内尚属于空白。

研究拟以牛腿肉为原料,对脉冲卤制、真空卤制、微压卤制与传统卤制在卤制过程中牛肉的感官品质、NaCl 含量、质构特性、色差、烹煮损失率、微观结构、挥发性风味成分变化进行系统分析比较,旨在为湘味卤牛肉制品卤制工艺选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

广能牛腿肉、盐、酱油、卤料以及配料;湖南邵阳步步高超市;

基准 NaCl、AgNO₃、K₂CrO₄、C₂O₄H₁₄O₄、乙醇、戊二醛、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠;分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

脉冲卤煮机:FYLZ-1 型,北京康得利机械设备制造有限公司;

物性测定仪:LS-5 型,美国 AMETEK 公司;

便携式色差仪:CR-400 型,日本柯尼卡美能达公司;

扫描电镜:TESCAN MIRA4 型,捷克泰思肯有限公司;

固相微萃取装置:57330-U 型,德国 Supelco 公司;

气相色谱质谱联用仪:7890A-5975C 型,美国 Agilent 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

(1) 脉冲卤制工艺流程:

新鲜牛肉→焯水(95 ℃,8 min)→切块定型(2.5 cm×3.0 cm×4.0 cm)→放入卤制罐→吸入热卤汁→真空卤制(-50 kPa,80 ℃,19 min)→回收热卤汁→吸入冷卤汁→

真空冷却(-50 kPa,15 ℃,4 min)→回收冷卤汁→吸入热卤汁→微压卤制(50 kPa,95 ℃,19 min)→循环该过程→产品

(2) 真空、微压、传统卤制工艺流程:

新鲜牛肉→焯水(95 ℃,8 min)→切块定型(2.5 cm×3.0 cm×4.0 cm)→放入卤制罐→吸入热卤汁→真空卤制(-50 kPa,80 ℃)/微压卤制(50 kPa,95 ℃)/传统卤制(常压,95 ℃)→产品

真空卤制、微压卤制、传统卤制,每 30 min 取样测相关指标,脉冲卤制根据工艺特性每 23 min 取样测相关指标。

1.2.2 水分测定 按 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》执行。

1.2.3 盐度(氯化物)测定 按 GB 5009.44—2016《食品安全国家标准 食品中氯化物的测定》执行。

1.2.4 质构测定 参照李海涛等^[4]的方法。

1.2.5 色差测定 参照伍涛等^[5]的方法。

1.2.6 烹煮损失率 参照 Wang 等^[9]的方法,称取卤制前后牛肉的质量,按式(1)计算烹煮损失率。

$$c = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——烹煮损失率,%;

m_1 ——卤制前牛肉质量,g;

m_2 ——卤制后牛肉质量,g。

1.2.7 扫描电镜 参照闫晓晶^[10]的方法稍作修改,将牛肉顺着肌纤维方向切成 2 mm×2 mm×5 mm 肉块,置于质量分数 2.5%戊二醛中固定 48 h 后用 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液清洗,再用蒸馏水清洗,采用体积分数为 25%,50%,70%,95%,100%乙醇梯度脱水 1 h,共 2 次,再经冷冻干燥挥去溶剂,喷金,用 TESCAN MIRA4 型扫描电镜观察。

1.2.8 挥发性风味物质测定 参照苑冰冰^[11]的方法稍作修改,对卤制后的牛肉进行挥发性风味物质测定。使用顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用法测定。

将牛肉切碎混匀后,称取 2 g 置于 20 mL 萃取瓶中,密封,置于 85 ℃金属浴,磁力搅拌速度 500 r/min,平衡 20 min 后,插入萃取针萃取 30 min。萃取针使用前,在气质进样口活化 20 min(250 ℃)。

GC 条件:HP-5MS 色谱柱(60 m×250 μm,0.25 μm)。进样口温度 250 ℃,气质接口温度 250 ℃,载气流速 1.5 mL/min,分流比 4:1;升温程序:初始 50 ℃,保持 1 min,以 5 ℃/min 升温到 100 ℃保持 2 min;4 ℃/min 升温到 180 ℃保持 3 min;5 ℃/min 升温到 250 ℃保持 5 min。

MS 条件:电子电离源;电子能量 70 eV;离子源温度

230 ℃;四级杆温度 150 ℃;采用全扫描方式;质量扫描范围 m/z 35~550。

挥发性风味物质采用 NIST 17 质谱库检索匹配,采用峰面积归一化法进行相对定量。

1.2.9 相对气味活度(ROAV)值 参照张锦程等^[12]的方法,按式(2)计算牛肉挥发性风味物质的 ROAV 值。风味物质阈值参照文献^[13]。

$$V_i = \frac{C_i}{C_{\max}} \times \frac{T_{\max}}{T_i} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

V_i ——ROAV 值;

C_i ——牛肉某一风味物质相对含量, %;

C_{\max} ——牛肉风味物质中贡献最大物质的相对含量, %;

T_i ——该风味物质的香气阈值;

T_{\max} ——牛肉风味物质中贡献最大物质的香气阈值。

牛肉中所有挥发性风味物质 ROAV 值 ≤ 100 , 某物质 ROAV 值越大, 则该物质对整体风味贡献度越大。ROAV 值 ≥ 1 的为关键风味物质, $0.01 \leq \text{ROAV 值} \leq 1.00$ 为修饰风味物质, ROAV 值 < 0.01 为潜在风味物质。

1.2.10 感官品质 参照 GB 2726—2016 标准采用百分制制定评分细则, 根据评分细则对卤牛肉进行感官评分, 感官评分细则见表 1。

1.3 数据处理与分析

使用 SPSS 25 进行数据显著性分析, Origin 2018 对数据进行绘图处理。

表 1 卤牛肉感官评分标准表

Table 1 Sensory scoring standard of stewed beef

评价指标	评价标准	分值/分
色泽 (20 分)	色泽均匀, 呈红黑色	15~20
	色泽较不均匀, 呈暗红或较浅	7~14
	色泽不均, 呈暗黑色或浅淡	1~6
风味 (20 分)	肉香味浓郁, 无牛肉腥气, 香辛料味醇厚	15~20
	肉香味较浓郁, 较淡牛肉腥气, 香辛料较淡	7~14
	肉香味较淡, 牛肉腥气较重, 香辛料味过淡	1~6
滋味 (30 分)	卤味、肉味醇厚, 回味十足, 咸味适中, 无异味	21~30
	卤味、肉味较醇厚, 回味较足、咸味较重或较轻, 无异味	11~20
	卤味、肉味不足、咸味过重或过轻, 有异味	1~10
质地 (30 分)	表面规则平整, 软硬适中, 咀嚼性良好	21~30
	表面规则较平整, 口感略硬或较软, 咀嚼性一般	7~14
	表面不规则, 口感过硬或过软, 难以咀嚼或不耐咀嚼	1~6

2 结果与分析

2.1 对牛肉的 NaCl 含量与感官评分的影响

由图 1 可知, 各卤制工艺牛肉中的 NaCl 含量随卤制时间延长, 逐渐增长 ($P < 0.05$), 在 3 h 时, 脉冲卤制 NaCl 含量最高, 说明其 NaCl 传质速率最快; 感官评分在一定时间内, 随 NaCl 含量增加而增加, 当 NaCl 含量接近 0.94 g/100 g 时, 因口感偏咸, 感官评分降低; 脉冲、真空、微压、传统卤制分别在 2.7, 3.0, 3.0, 4.0 h 时, 感官评分达至最高, 分别为 89.6, 85.2, 86.1, 83.6 分, 其中, 脉冲卤制产品感官评分最高, 达到最高感官评分所需时间最短, 与卤牛肉中 NaCl 含量的变化规律一致。原因可能是, 卤制过程中, NaCl 依靠卤汁和牛肉之间 NaCl 浓度差产生传质动力^[14], 但传质驱动力受卤制温度、压力、牛肉微观结构、蛋白质变性程度、水分迁移等影响^[15]。脉冲卤制通过真空和微压交替, 使卤制环境呈现高压与低压周期性循环, 产生流体动力学、机械变形和毛细管力等作用, 促进卤汁吸收和 NaCl 传质^[16-17]。真空卤制通过降低卤制压力, 使牛肉向外疏张, 增加肌纤维束之间的间隙, 减小传质阻力, 利于 NaCl 传质^[18]。微压卤制通过增加卤制压力而增加细胞膜渗透性与分子运动速度^[19], 协助卤汁快速渗入牛肉内部, 加快 NaCl 传质。传统卤制仅由温度与浓度产生传质驱动力, 经长时间卤制后, 蛋白质降解堵住肌纤维束间隙, 增加传质阻力, NaCl 传质最慢, 所需卤制时间最长。

2.2 对牛肉质构特性的影响

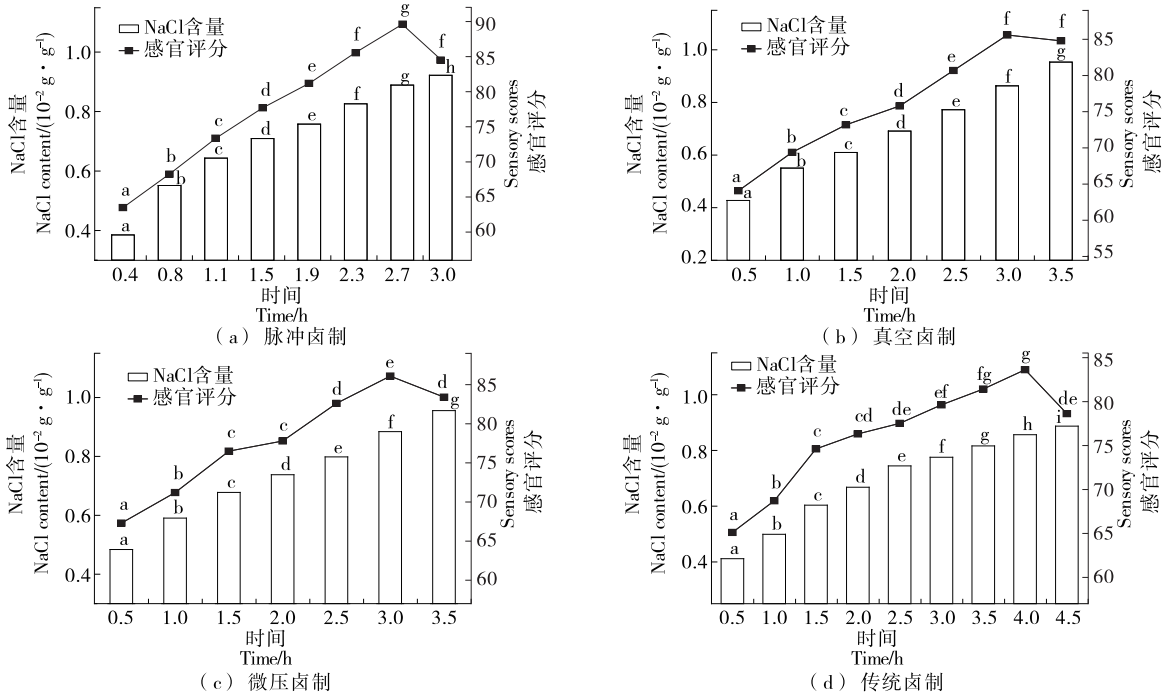
由图 2 可知, 真空卤制、微压卤制、传统卤制牛肉的咀嚼性、硬度、弹性在 1.5 h 前显著增加, 随后降低, 脉冲卤制在 1.9 h 前显著增加, 随后降低 ($P < 0.05$)。这与赵家艺等^[20]的研究结果相似。在最高感官评分时, 脉冲卤制牛肉的咀嚼性、硬度、弹性显著高于另外 3 种卤制工艺 ($P < 0.05$)。原因可能是, 卤制前期维持肌肉组织内部结构的氢键、疏水键等被打断, 蛋白质高级结构被破坏, 肌球蛋白变性收缩, 肌肉间水分流失, 导致肌纤维收缩, 使得牛肉硬度上升, 咀嚼性增加, 热溶性胶原蛋白变性成为凝胶, 弹性上升^[21]。随卤制时间延长, 肌纤维结构遭到破坏, 肌丝结构弱化, 胶原蛋白凝胶交联降低, 逐渐溶出^[22], 使得牛肉嚼性、硬度、弹性下降。但质构特性适当降低, 可使牛肉软糯, 有助于感官品质提升, 而脉冲卤制, 因卤制时间短, 且结合冷却阶段, 在最佳感官评分时, 肌纤维结构、胶原蛋白凝胶等不会被过度破坏, 质构特性能适当降低但不被过度破坏, 而优于另外 3 种工艺; 传统卤制与微压卤制则因卤制温度较高, 牛肉结构破坏严重, 质构特性较差。

2.3 对牛肉色差的影响

由图 3 可知, 随卤制时间延长, 各卤制工艺牛肉 L^* 值均显著降低 ($P < 0.05$), 与丁波等^[23]研究结果相似。在最高感官评分时, 脉冲卤制 L^* 值(22.87)与传统卤制 L^*

值(22.42)接近,且低于真空卤制与微压卤制 L^* 值,说明脉冲卤制 2.7 h 可与传统卤制 4 h 的效果接近。4 种工艺牛肉的 a^* 值先增大后降低,原因可能是卤制前期,卤汁中色素少量吸附于牛肉表面,以及牛肉中肌红蛋白转化为亮红色的氧合肌红蛋白^[24],使牛肉表面向红色偏移,

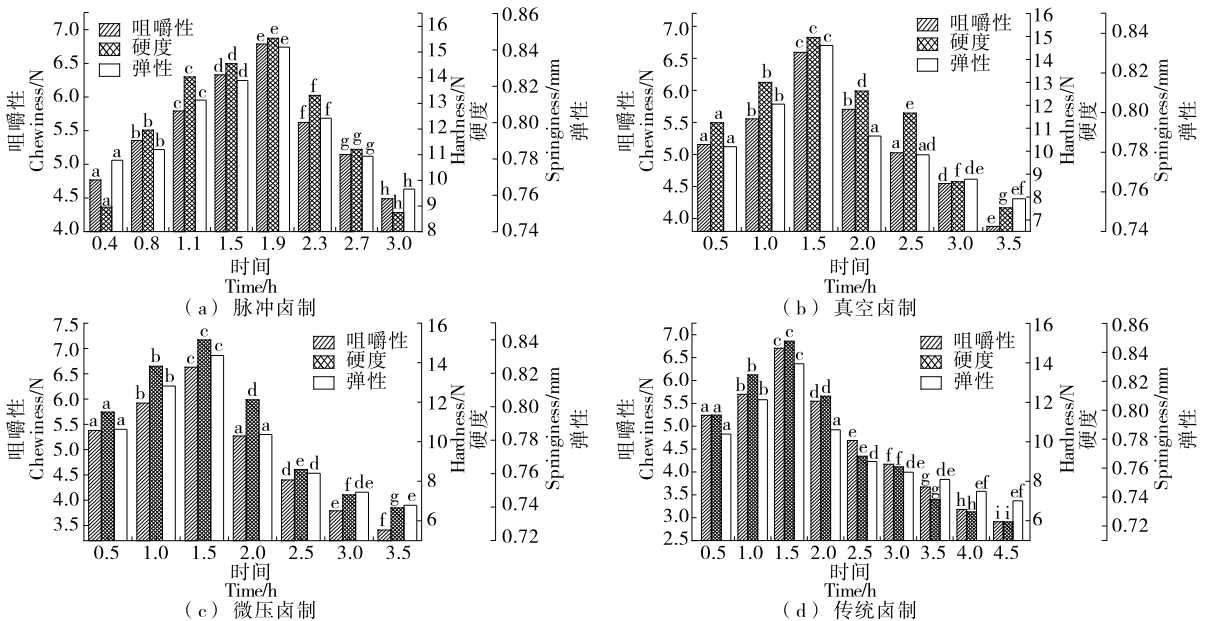
a^* 值增大;随卤制时间延长,卤汁不断向牛肉中渗透,氧合肌红蛋白逐渐氧化为褐色的高铁肌红蛋白, a^* 值降低。而 b^* 值先增大后降低,说明卤制过程中,随着牛肉内部汁液流出,卤汁不断渗入,牛肉表面由逐渐黄色向蓝色偏移,颜色不断加深。



小写字母不同表示同种工艺不同时间点差异显著 ($P < 0.05$)

图 1 卤制工艺对牛肉的 NaCl 含量与感官评分的影响

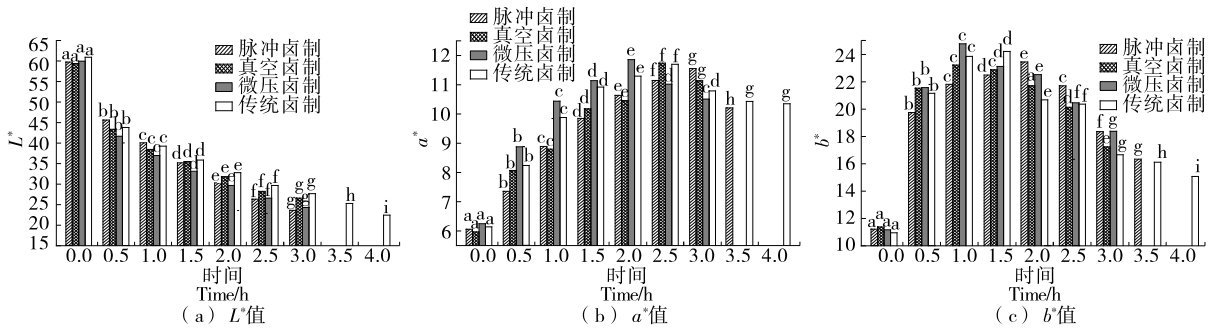
Figure 1 Effects of different marinated processes on NaCl content and sensory scores of beef



小写字母不同表示同种工艺不同时间点差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 卤制工艺对牛肉质地特性与感官评分的影响

Figure 2 Effects of different marinated processes on texture characteristics of beef



小写字母不同表示同种工艺不同时间点差异显著 ($P < 0.05$)

图3 卤制工艺对牛肉色差的影响

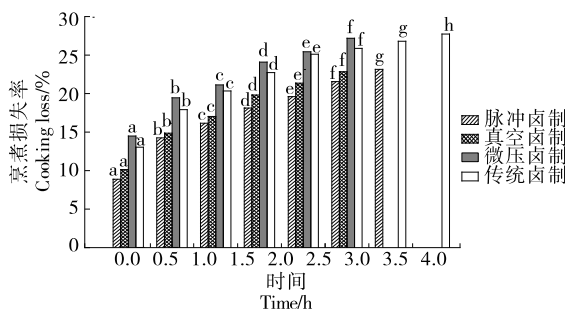
Figure 3 Influence of different marinated processes on color difference of beef

2.4 对牛肉烹煮损失率的影响

由图4可知,牛肉在各卤制工艺卤制过程中,烹煮损失率随卤制时间延长逐渐增加。在最高感官评分时,脉冲卤制与真空卤制烹煮损失率分别为23.12%,22.86%,显著低于微压卤制与传统卤制 ($P < 0.05$),其得率相对较高。原因可能是,卤制过程中,牛肉有水分流失、脂肪融化、蛋白质溶解、肌肉碎解等现象,其中水分流失是烹煮损失率增大的主要因素。卤制加热时,蛋白质受热变性,水溶性蛋白溶解^[25],肌原纤维蛋白变性收缩,引起肌束收缩,导致细胞受挤压,细胞膜破损,水分流出;同时导致肌动蛋白、肌球蛋白结构疏张,疏水基团暴露,肌肉保水性进一步降低^[26]。而蛋白质变性速率与温度成正比,温度越高水分损失越快,所以脉冲卤制与真空卤制烹煮损失率低于另外2种工艺,与彭子宁^[22]的结果相似。

2.5 对牛肉微观结构的影响

图5为各卤制工艺及焯水后的牛肉(空白对照)放大200倍与1万倍下的微观结构。由图5(a)可知,脉冲卤制工艺的牛肉肌纤维束完整性最接近空白对照组,肌纤维束轮廓较完整,肌纤维束之间间隙保留较好,微压卤制和传统卤制由于卤制温度高,肌纤维束破坏严重,肌原纤维出现小片化,传统卤制肌纤维束还出现了团块结构裂解现象,与陈美玉^[27]的研究结果相似。由图5(b)可知,从



小写字母不同表示同种工艺不同时间点差异显著 ($P < 0.05$)

图4 卤制工艺对牛肉蒸煮损失率的影响

Figure 4 Effect of different marinated processes on cooking loss rate of beef

空白对照到传统卤制,牛肉肌纤维表面平整度逐渐降低,小型碎片化结构逐渐增多,表面间隙逐渐减少被小型碎片化结构掩盖,而脉冲卤制破坏程度较低,使得牛肉质构特性优于其他工艺,烹饪损失率更低,卤汁渗透更快,传统卤制肌纤维表面破坏最严重,导致质构特性显著劣于其他工艺,卤汁渗透最慢。

2.6 对牛肉中挥发性风味成分的影响

由表2可知,脉冲、真空、微压、传统卤制工艺的牛肉,分别检出62,59,68,71种物质,分别累计占峰总面积的95.83%,88.17%,94.76%,89.56%。其中,微压卤制与传统卤制多出物质主要是烷烃类物质,这些物质阈值高,对风味影响小。

由表3可知,脉冲卤制与真空卤制 ROAV 值最高4种物质均为桂酸乙酯、丁香酚、月桂醛、草蒿脑,其 ROAV 值分别为100.00,67.89,29.48,10.10与100.00,52.16,22.36,9.61。微压卤制 ROAV 值最高4种物质为桂酸乙酯、丁香酚、月桂醛、桉叶油素,其 ROAV 值分别为100.00,70.14,35.29,13.85。传统卤制 ROAV 值最高4种物质为桂酸乙酯、丁香酚、辛醛、月桂醛,其 ROAV 值分别为100.00,96.56,10.17,8.61。因此,认定桂酸乙酯、丁香酚、月桂醛3种物质为湘味卤制特征风味物质,其在脉冲、真空、微压、传统卤制中相对含量分别为0.70%,7.92%,3.68%;0.85%,7.39%,3.39%;0.58%,6.78%,3.65%;0.43%,6.99%,0.66%。显然,脉冲卤制与真空卤制在特征风味物质相对含量上更高,原因可能是高温环境中特征风味物质易挥发。

醇类物质主要由脂肪氧化分解产生的饱和醇类和来自香辛料中的不饱和醇类组成,对卤肉制品风味有贡献的是具有果味的不饱和醇类。其中芳樟醇和桉叶油素被认为是醇类物质中重要风味活性物质^[28],这两种物质相对含量上微压卤制 > 真空卤制 > 脉冲卤制 > 传统卤制。

醛类、酮类物质阈值低,是肉香味的特征化合物,由肉类脂肪与氨基酸氧化降解、香辛料风味物质溶出产生,使卤肉制品整体风味浓郁、协调^[29]。3-羟基-2-丁酮是酮

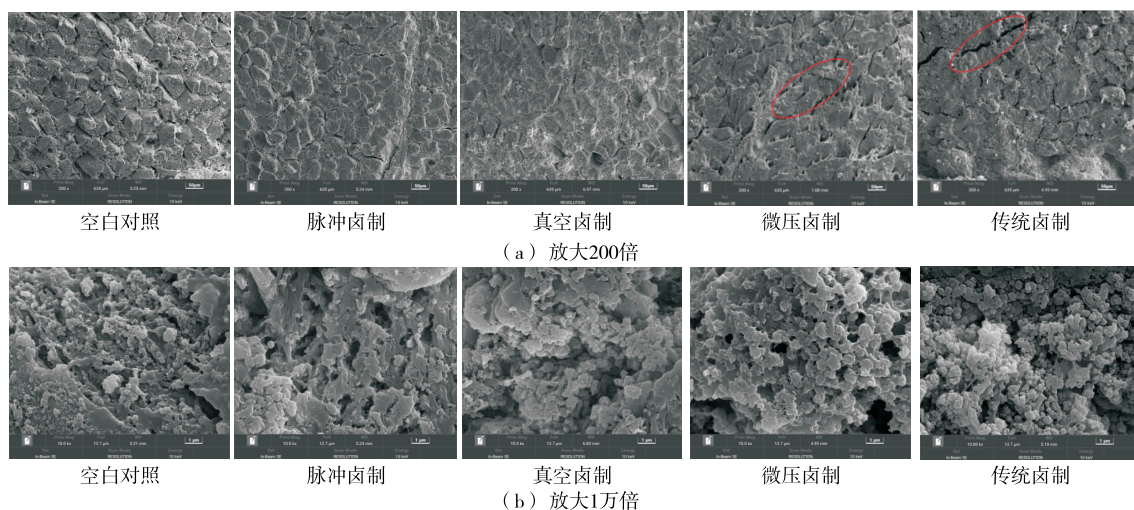


图 5 卤制工艺牛肉的微观结构

Figure 5 Microstructure of beef with different marinated processes

表 2 卤制工艺牛肉中挥发性成分的种类和相对含量

Table 2 Types and relative contents of volatile components in beef prepared by different marinated processes

化合物	种类				相对含量/%			
	脉冲卤制	真空卤制	微压卤制	传统卤制	脉冲卤制	真空卤制	微压卤制	传统卤制
醇类	6	9	7	8	7.11	11.29	19.63	2.89
醛类	17	16	16	15	26.77	13.90	27.12	42.04
酮类	9	9	10	9	6.02	3.19	3.43	8.97
酯类	7	6	6	7	2.76	2.74	2.43	3.89
酚类	3	3	3	2	8.04	7.52	6.87	7.14
醚类	3	3	3	3	40.45	47.52	27.69	11.01
烯炔类	6	6	6	4	1.73	0.77	1.60	1.54
烷烃类	11	7	17	23	2.95	1.24	5.99	12.08
合计	62	59	68	71	95.83	88.17	94.76	89.56

表 3 卤制工艺牛肉中挥发性成分的组成及相对含量[†]

Table 3 Composition and relative content of volatile components in beef with different marinated processes

类别	名称	相对含量/%				ROAV 值				
		脉冲卤制	真空卤制	微压卤制	传统卤制	脉冲卤制	真空卤制	微压卤制	传统卤制	
醇类	芳樟醇	0.36	0.31	0.61	0.13	0.81	0.58	1.66	0.48	
	异龙脑	0.27	0.26	0.35	0.28					
	松油烯醇	1.09	1.21	1.91	0.24	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	
	甲位松油醇		2.05	2.96						
	硬脂醇			0.50	0.19					
	桉叶油素		5.00	6.10	13.39	0.58	4.29	4.31	13.85	0.81
	1-辛烯-3-醇	0.24	0.23	0.22	0.38	0.01	<0.01	0.01	0.01	
	三甲基苯甲醇			0.19						
	正辛基-1-月桂醇			0.44						
	月桂醇		0.15							
	1-癸醇				0.73					
	邻叔丁基环己醇				0.26					
	十六醇				0.29					

续表 3

类别	名称	相对含量/%				ROAV 值				
		脉冲卤制	真空卤制	微压卤制	传统卤制	脉冲卤制	真空卤制	微压卤制	传统卤制	
醛类	壬醛	1.33	1.08	1.94	1.04	0.29	0.19	0.50	0.36	
	枯茗醛	0.16	0.12	0.15		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	大茴香醛	1.27	1.12	1.08		1.09	0.79	1.12		
	肉桂醛	4.41	3.11	1.43	1.80	0.38	0.22	0.15	0.25	
	2-苯基-2-丁烯醛	0.13		0.11						
	α -甲基肉桂醛	0.24	0.22	0.29	0.25					
	茴香基丙醛			0.52						
	月桂醛	3.68	3.39	3.65	0.66	29.48	22.36	35.29	8.61	
	十一醛		0.78	0.12	0.16		0.39	0.09	0.16	
	十六醛	10.99		13.37	25.12					
	硬脂烷醛	0.26	1.74	0.68	1.16					
	己醛	2.24	0.94	0.92	1.46	4.27	1.47	2.11	4.53	
	辛醛	0.32	0.18	0.35	0.51	3.92	1.82	5.17	10.17	
	苯甲醛	0.27	0.71	2.09	3.46	0.01	0.03	0.11	0.24	
	庚醛	0.19	0.10	0.17	0.33	0.05	0.02	0.06	0.15	
	反-2-辛烯醛		0.06				<0.01			
	戊醛		0.07							
	α -亚乙基-苯乙醛		0.17							
	对甲基苯甲醛		0.11							
	对叔丁基苯丙醛				2.85					
	对甲氧基苯甲醛				1.37					
	十五醛	0.48		0.25	1.66					
	异丁醛	0.43			0.21	9.21			7.33	
异戊醛	0.26									
反-2-十二烯醛	0.11									
酮类	环戊基乙酮		0.11	0.19	0.33					
	小茴香酮	1.93	1.44	1.86	0.61	0.03	0.02	0.04	0.02	
	右旋樟脑	0.11	0.09	0.11		<0.01	<0.01	<0.01		
	胡椒基丙酮	0.15		0.19						
	胡椒酮			0.10						
	对甲氧基苯丙酮	0.64	0.55	0.16	1.18					
	2',3',4'-三甲氧基苯乙酮	0.38	0.31	0.21	0.42					
	3-羟基-2-丁酮		0.23	0.20	2.59		0.04	0.05	0.90	
	2,5-辛二酮	0.28		0.25	0.30	0.95		1.03	1.66	
	2,5-己二酮		0.26							
	苯乙酮	0.15	0.12			<0.01	<0.01			
	甲基庚烯酮		0.08	0.16						
	甲位松油醇	2.15								
	丙酮				2.41					
	2,3-丁二酮	0.23			0.87	0.12			0.76	
	可艾酮				0.26					
	桂酸乙酯	0.70	0.85	0.58	0.36	100.00	100.00	100.00	100.00	
	乙酸丁香酚酯	0.55	0.53	0.35	0.34					
	甲氧基肉桂酸乙酯	0.98	0.65	0.41	1.25					
	酯类	甲酸香茅酯	0.24	0.46	0.67					
		邻苯二甲酸-1-丁酯-2-异丁酯			0.32	0.29				
		棕榈酸甲酯	0.05	0.06	0.10		<0.01	<0.01	<0.01	
		邻苯二甲酸二乙酯	0.16	0.19						

续表 3

类别	名称	相对含量/%				ROAV 值			
		脉冲卤制	真空卤制	微压卤制	传统卤制	脉冲卤制	真空卤制	微压卤制	传统卤制
酯类	ε-十五内酯				0.48				
	邻苯二甲酸二异丁酯	0.08			0.15				
	黄葵内酯				0.95				
酚类	丁香酚	7.92	7.39	6.78	6.99	67.89	52.16	70.14	96.56
	甲基丁香酚	0.05	0.09	0.01		<0.01	<0.01	<0.01	
	2,6-二叔丁基对甲酚		0.04	0.08	0.22				
	香芹酚	0.07							
醚类	草蒿脑	8.84	10.21	7.20	1.61	10.10	9.61	9.93	3.00
	2-正戊基呋喃	0.59	0.54	0.68	1.13	0.84	0.64	1.17	2.63
	茴香脑	31.02	36.77	19.81	8.27	2.66	2.60	2.05	1.15
烯类	柠檬烯	0.52	0.32	0.40	0.23	0.04	0.02	0.04	0.03
	2,4-二甲基-1-庚烯	0.68		0.16		0.01		<0.01	
	γ-松油烯	0.15	0.08	0.21					
	甲位水芹烯		0.08				<0.01		
	α-松油烯		0.08						
	1,4-桉叶素			0.14					
	苯乙烯	0.09			0.14				
	紫罗兰炔	0.06	0.05	0.07	0.26				
	对伞花炔	0.23	0.16	0.62	0.91	0.01	0.01	0.04	0.08
	十一烷	0.17		0.13	0.14				
	2,6-二甲基十一烷		0.07	0.21					
	4-甲基十二烷			0.08	0.14				
3,5-二叔丁基甲苯			2.43						
正十六烷	0.23		0.38	0.21	<0.01		<0.01	<0.01	
2,3,4-三甲基正己烷			0.48						
异癸烷			0.07	0.23					
4-甲基壬烷			0.08	0.24					
十四烷	0.21	0.36	0.20	0.28	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
正十五烷	0.43	0.42	0.34	0.63					
正十七烷	0.14	0.17	0.16	0.20					
正十八烷			0.08	0.63					
正十九烷	0.35		0.07						
烷烃类	2,6-二甲基-壬烷	0.18		0.41	0.66				
	3,3-二甲基己烷	0.24	0.09	0.36	0.88				
	4-甲基-癸烷			0.14	0.29				
	十二烷		0.05		2.15				
	癸烷	0.25	0.08	0.37	1.14				
	2,3-二甲基己烷	0.12							
	1,2-环氧十八烷	0.63			1.93				
	5-甲基壬烷				0.16				
	正二十七烷				0.25				
	3-甲基己烷				0.54				
	5-(2-甲基丙基)壬烷				0.29				
	3,5-二甲基辛烷				0.26				
	二十八烷				0.19				
	十三烷				0.50				
	1,2,4-三甲基环己烷				0.14				

† 表中空白表示未检出或低于 0.01%。

类物质中重要风味贡献物质,脉冲卤制仅检出其前体物质 2,3-丁二酮,可能是因为美拉德反应程度较低。在月桂醛、大茴香醛、肉桂醛、小茴香酮等物质相对含量上脉冲卤制>真空卤制>微压卤制>传统卤制,这些物质主要来源于香辛料,对卤肉制品卤味形成有十分重要的影响^[30],说明脉冲卤制不仅可加快 NaCl 传质,还利于香辛料特征成分保留。

酯类物质相对含量较少,易挥发,具有风味叠加效应,促进卤肉制品整体风味协调,湘味特征风味物质桂酸乙酯相对含量上真空卤制>脉冲卤制>微压卤制>传统卤制。

酚类和醚类物质主要来源于香辛料,对酱卤肉制品香味贡献具有较大作用,其中丁香和小茴香的特征风味物质丁香酚与草蒿脑相对含量上真空卤制与脉冲卤制较高,这两种物质可增加卤牛肉风味层次感^[31]。

烯炔类物质阈值较低,易氧化分解,生成含羰基类、醇类或低分子烃类风味成分^[32],是肉制品风味成分之一,脉冲卤制在柠檬烯相对含量上较其他工艺高。饱和烷烃类物质阈值较高,对风味贡献小,合成杂环化合物后具有致癌性^[33]。传统卤制由于高温长时间卤制,饱和烷烃类物质相对含量与种类高于另外 3 种工艺。

综上,在香辛料特征风味物质上,真空卤制与脉冲卤制相对含量较高,湘味卤制特征风味物质上脉冲卤制相对含量最高。

3 结论

通过对脉冲卤制、真空卤制、微压卤制与传统卤制过程中的湘味卤牛肉品质和风味变化研究可知,脉冲卤制最适合湘味牛肉生产,其 NaCl 传质与色差 L^* 值变化最快,卤制所需的时间最短,产品的感官评分最高,质构特性良好,产品肌肉纤维保留完整,香料风味成分保留率高,生产时间短,肌纤维间隙最完整,产品复原度高;真空卤制与微压卤制也可用于湘味牛肉生产,但在最高感官评分点时,二者质构特性低于脉冲卤制;烹煮损失率真空卤制低于脉冲卤制低于微压卤制;微观结构被破坏程度高于脉冲卤制;湘味卤制特征风味物质相对含量上低于脉冲卤制。而传统卤制在特征风味物质相对含量、质构特性、烹煮损失率、NaCl 传质均劣于另外 3 种工艺。脉冲卤制用于湘味卤牛肉生产中,能有效改善传统卤制弊端,提升卤制效率与食用品质,降低特征风味物质挥发与卤制原辅料损失,提高出品率。

参考文献

[1] 王建国. 铸造“中国卤菜之都”[J]. 湖南农业, 2017(3): 6-7.
WANG Jian-guo. Casting "China's pickle capital"[J]. Hunan agriculture, 2017(3): 6-7.
[2] 魏瑶, 邓力, 李静鹏, 等. 酱卤猪肉煮制过程中品质变化动力学

研究[J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(2): 77-83, 102.
WEI Yao, DENG Li, LI Jing-peng, et al. Study on the dynamics of quality changes in the process of sauce and braised pork cooking[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2021, 57(2): 77-83, 102.
[3] 赵良忠, 李海涛, 江振桂, 等. 食品卤制装置: CN207948872U[P]. 2018-10-12.
ZHAO Liang-zhon, LI Hai-tao, JIANG Zhen-gui, et al. Food brine plant: CN207948872U[P]. 2018-10-12.
[4] 李海涛, 赵良忠, 范柳, 等. 休闲豆干真空脉冲卤制工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(17): 173-179.
LI Hai-tao, ZHAO Liang-zhon, FAN Liu, et al. Optimization of vacuum pulse marinating technology for leisure dried tofu[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(17): 173-179.
[5] 伍涛, 彭希林, 赵良忠, 等. 湘派豆干及卤汁在卤制过程中的变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(19): 146-154.
WU Tao, PENG Xi-lin, ZHAO Liang-zhon, et al. Variation law of Xiangpai dried tofu and brine during marinating process[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(19): 146-154.
[6] 顾思远. 低温慢卤牛肉的开发及其保藏研究[D]. 成都: 成都大学, 2020: 56-57.
GU Si-yuan. Studies on development and preservation of pasteurized slow-boiled beef [D]. Chengdu: Chengdu University, 2020: 56-57.
[7] 高帮君. 酱卤鸭腿真空低温卤制工艺优化及品质研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021: 24-25.
GAO Bang-jun. Study on the optimization of vacuum cryogenic and low-temperature marinating technology and quality of braised duck leg[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2021: 24-25.
[8] 郭昕, 黄峰, 张春江, 等. 静态变压腌制技术对猪肉品质的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(11): 2 229-2 240.
GUO Xin, HUANG Feng, ZHANG Chun-jiang, et al. Effects of pressure varied static brining on pork quality[J]. Chinese Scientia AgriculturaSinica, 2015, 48(11): 2 229-2 240.
[9] WANG Zhen-yu, XU Wei-wei, KANG Ning, et al. Microstructural, protein denaturation and water holding properties of lamb under pulse vacuum brining[J]. Meat Science, 2016, 113: 132-138.
[10] 闫晓晶. 高压静电场对牛肉成熟过程中品质变化的影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021: 35-36.
YAN Xiao-jin. Effects of high voltage electrostatic field on quality changes of beef during aging[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Thesis, 2021: 35-36.
[11] 苑冰冰. 香辣酱牛肉工艺配方优化及不同辣椒对其品质与贮藏特性影响研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019: 59.
YUAN Bing-bing. Study on process formulation optimization of spiced beef with paprika and the effect of different paprika on its quality and storage characteristics[D]. Changchun: Jilin University, 2019: 59.
[12] 张锦程, 余佶, 麻成金, 等. GC-MS 结合 ROAV 分析评价加工工艺对藤茶香气成分的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(12): 20-

- 25, 31.
ZHANG Jin-cheng, YU Ji, MA Cheng-jing, et al. Analysis of volatile aroma components of *Ampelopsis grossedentata* tea with different processing technology based on GC-MS combined with ROAV[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(12): 20-25, 31.
- [13] 范海默特. 化合物嗅觉阈值汇编[M]. 北京: 科学技术出版社, 2015: 7.
HELMET Leo-van. Compilation of olfactory thresholds of compounds[M]. Beijing: Science and Technology Press, 2015: 7.
- [14] 郭丽媛, 刘登勇, 徐幸莲, 等. 猪肉腌制过程中的传质动力学研究[J]. *食品科学*, 2015, 36(1): 31-36.
GUO Li-yuan, LIU Deng-yong, XU Xing-lian, et al. Mass transfer dynamics during wet-curing of pork[J]. *Food Science*, 2015, 36(1): 31-36.
- [15] HANSEN Christian L, BERG Frans-van-der, RINGGAARD Steffen, et al. Diffusion of NaCl in meat studied by ^1H and ^{23}Na magnetic resonance imaging [J]. *Meat Science*, 2008, 80(3): 851-856.
- [16] ITO A P, TONON R V, PARK K J, et al. Influence of process conditions on the mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotically dehydrated mango slices [J]. *Drying Technology*, 2007, 25(10): 1769-1777.
- [17] DENG Y, ZHAO Y Y. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji) [J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 85: 84-93.
- [18] DEUMIER François, TRYSTRAM Gilles, COLLIGNAN Antoine, et al. Pulsed vacuum brining of poultry meat: Interpretation of mass transfer mechanisms[J]. *Journal of Food Engineering*, 2003, 58(1): 85-93.
- [19] YISSLEEN Nuñez-Mancilla, MARIO Perez-Won, ANTONIO Vega-Gálvez, et al. Modeling mass transfer during osmotic dehydration of strawberries under high hydrostatic pressure conditions[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2011, 12(3): 338-343.
- [20] 赵家艺, 马梦斌, 李亚蕾, 等. 加热温度对酱卤牛肉质构特性及水分分布的影响[J]. *肉类研究*, 2020, 34(7): 18-21.
ZHAO Jia-yi, MA Meng-bin, LI Ya-lei, et al. Effect of reheating temperature on texture properties and moisture distribution of sauced beef[J]. *Meat Research*, 2020, 34(7): 18-21.
- [21] 陈跃文, 刘飞建, 祁立波, 等. 真空低热烹饪对鲟鱼肉物性品质及微观结构的影响[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(6): 114-121.
CHEN Yue-wen, LIU Fei-jian, QI Li-bo, et al. Effect of low temperature vacuum heating on physical quality and microstructure of sturgeon meat[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(6): 114-121.
- [22] 彭子宁. 低温烹煮技术下的酱卤制品品质及风味研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2020: 37.
PENG Zi-ning. Study on the quality and flavor of sauce stewed products under low-temperature cooking technology [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2020: 37.
- [23] 丁波, 代安娜, 顾利, 等. 卤制过程中牦牛肉品质的变化规律[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(9): 171-175.
DING Bo, DAI An-na, GU Li, et al. Study on yak meat quality changes in the process of marinating[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(9): 171-175.
- [24] KING N J, WHYTE R. Does it look Cooked? a review of factors that influence cooked meat color [J]. *Journal of Food Science*, 2006, 71(4): 31-40.
- [25] BELL J W, FARKAS B E, CHALE S A. Effect of thermal treatment on moisture transport during steam cooking of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) [J]. *Journal of Food Science*, 2001, 66(2): 307-313.
- [26] PULGAR José-sánchez-del, ANTONIO Gázquez, JORGE Ruiz-Carrascal. Physico-chemical, textural and structural characteristics of sous-vide cooked pork cheeks as affected by vacuum, cooking temperature, and cooking time [J]. *Meat Science*, 2012, 90(3): 828-835.
- [27] 陈美玉. 基于水分迁移及肌原纤维蛋白特性研究真空低温加热对牛肉品质的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2021: 47-48.
CHEN Mei-yu. Effect of water migration and the structural change of myofibril proteins on beef quality during sous-vide cooking [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021: 47-48.
- [28] ZANG Ming-wu, WANG Lan, ZHANG Zhe-qi, et al. Comparison of volatile flavor compounds from seven types of spiced beef by headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry (HS-SPME-GC-OMS) [J]. *Food Science and Technology Research*, 2020, 26(1): 25-37.
- [29] CHRIS Kerth. Determination of volatile aroma compounds in beef using differences in steak thickness and cook surface temperature [J]. *Meat Science*, 2016, 117: 27-35.
- [30] 屠明亮. 循环卤煮对卤牛肉、卤汤品质特性及风味物质变化规律的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2021: 35.
TU Ming-liang. Effects of circular stewing on quality characteristics and flavor Components of stewed beef and stewed soup [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021: 35.
- [31] LI Hai, LI Xia, ZHANG Chun-hui, et al. Flavor compounds and sensory profiles of a novel chinese marinated chicken [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(5): 1618-1626.
- [32] 顾明月. 香辛料包循环煮制对扒鸡挥发性风味物质的影响[D]. 渤海: 渤海大学, 2019: 43.
GU Ming-yue. Effect of circulating cooking of spices packet on volatile flavor of braised chicken [D]. Bohai: Bohai University, 2019: 43.
- [33] 林菊, 马阳阳, 黄昊龙, 等. 热加工肉制品中多环芳烃的检测技术研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(21): 282-289.
LIN Ju, MA Yang-yang, HUANG Hao-long, et al. Research progress on detection technology of polycyclic aromatic hydrocarbons in heat-processed meat products [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(21): 282-289.