

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80430

冷冻条件对预制红烧牛肉水分及风味的影响

杨淑莹 查恩辉 张 硕 何 珊

(锦州医科大学食品与健康学院, 辽宁 锦州 121000)

摘要: [目的] 保留预制红烧牛肉感官品质及营养物质。 [方法] 以熟制新鲜红烧牛肉为对照组, 采用电子鼻、固相微萃取气相色谱质谱联用仪 (SPME-GC-MS) 和低场核磁共振探究冷冻条件 (-20°C 冷冻 24 h, -80°C 速冻 1, 3, 5 h) 对预制红烧牛肉水分及风味的影响。 [结果] 冷冻温度越低, 水分和风味物质损失越少。对照组, -20°C 冷冻 24 h 组, -80°C 速冻 1, 3, 5 h 组中分别检出 51, 45, 50, 49, 47 种挥发性风味物质。 -80°C 速冻 1 h 组在水分含量和挥发性风味物质种类上与对照组最为接近。电子鼻主成分分析 (PCA) 显示, -80°C 速冻 1 h 组的风味与对照组的接近。 [结论] 建议生产企业选择 -80°C 速冻 1 h 为预制红烧牛肉的冷冻条件, 以保持产品品质。

关键词: 预制红烧牛肉; 冷冻; 水分; 挥发性风味物质

Effect of freezing conditions on moisture and flavor of pre-cooked braised beef

YANG Shuying ZHA Enhui ZHANG Shuo HE Shan

(School of Food and Health, Jinzhou Medical University, Jinzhou, Liaoning 121000, China)

Abstract: [Objective] To retain the sensory quality and nutrients of pre-cooked braised beef. [Methods] The effect of freezing conditions (-20°C for 24 h, -80°C for 1, 3, 5 h) on the moisture and flavor of pre-cooked braised beef is studied by electronic nose, SPME-GC-MS, and low-field nuclear magnetic resonance. [Results] As the freezing temperature is lower, the moisture and flavor lose less. 51, 45, 50, 49, and 47 volatile flavor substances are detected in the control group, -20°C freezing group for 24 h, and -80°C quick-freezing group for 1, 3, and 5 h, respectively. The braised beef frozen at -80°C for 1 h is the closest to the control group in terms of moisture content and volatile flavor substances. Electronic nose principal component analysis (PCA) shows that the flavor of the braised beef frozen at -80°C for 1 h is similar to that of the control group. [Conclusion] It is suggested that the production enterprises should choose to maintain the product quality of pre-cooked braised beef by freezing it at -80°C for 1 h.

Keywords: pre-cooked braised beef; frozen; moisture; volatile flavor substance

牛肉不仅味道醇厚, 更因其卓越的营养价值而备受推崇^[1], 其含有丰富的铁、锌、磷等矿物质, 对人体的免疫系统和生长发育起至关重要作用。牛肉中的营养成分也极易被人体吸收利用, 对能量代谢和神经系统健康等有积极作用。近年来, 预制食品加工已成为一个迅速崛起的食品加工新领域^[2], 牛肉预制菜进入了消费者的视线, 并成为现代快节奏生活中不可或缺的美味佳肴。

市场调查数据表明, 越来越多的消费者开始注意到并尝试购买牛肉预制菜, 其中尤以预制红烧牛肉产品最受欢迎。真空低温烹饪技术在相对较低的温度下精准控

制烹饪温度, 不仅有效保障了食品的安全卫生, 还能够防止肌肉蛋白的过度变性, 从而极大地保留了食物的原始风味、质感和营养成分^[3]。孟祥忍等^[4]研究指出, 经过真空低温烹饪技术处理的牛肉产品, 其营养成分更易被人体吸收。在牛肉预制菜的保存与运输过程中, 冷冻技术占据着举足轻重的地位。这种技术通过运用接近或低于冰点的低温环境, 旨在优化食品的加工与贮藏特性^[5]。在食品工业领域, 常见的冷冻方法包括空气冻结法、间接接触冻结法和直接接触冻结法等^[6]。空气冻结法具有设备结构简单、操作便捷的优点, 但其耗时较长且冰晶大小难

基金项目: 辽宁省教育厅基本科研课题(重点项目)(编号: LJKZ0802)

通信作者: 查恩辉(1979—), 女, 锦州医科大学教授, 博士。E-mail: 919338361@qq.com

收稿日期: 2024-05-09 改回日期: 2025-01-03

以精确控制,这可能导致肉制品的微观结构受损,进而引发水分流失和营养价值的降低^[7]。相比之下,快速冻结技术能够促进高成核率,使肉制品中形成小冰晶,从而最大限度地减少对肉制品质地的损害^[8-9],进而提高肉制品的品质。

为了确保预制红烧牛肉在保存与运输过程中品质的稳定,生产企业必须不断探索和优化冷冻技术。周雪延^[10]研究表明,特定的冰温条件对于维持酱牛肉在贮藏期间的感官指标、品质指标和微生物指标有显著影响。毕永昭等^[11]研究表明,−80℃冻结能使手抓羊肉快速达到共晶点,最大限度保持其新鲜品质。林国荣等^[12]揭示了肉制品冻结速率与冰晶生成之间的关系,即冻结速率越高,最大冰晶生成区域越快,冰晶生成越细,对肉制品组织结构的破坏也越小。因此,冻结方式对于红烧牛肉的品质保持具有重要影响。

研究拟以预制红烧牛肉为研究对象,对比−20℃冷冻24h的慢速冻结和−80℃快速冻结对产品水分分布、挥发性风味物质的影响,寻找最接近新鲜红烧牛肉品质的冷冻条件,从而最大限度地保持菜肴的韧性、咀嚼感、脆度和色彩等感官品质以及营养物质的完整性,旨在为预制红烧牛肉的贮藏提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

牛腩肉、红烧酱油、料酒、黄豆酱、食盐、葱、姜、香料、蒜等:市售。

1.1.2 主要仪器设备

真空封口机:FS001-300型,浙江苏泊尔股份有限公司;

超低温冰箱:MDF-U53V型,松下电器有限公司;

电子分析天平:M4-AL204型,兰州中西仪器有限公司;

冰箱:BCD-258WLDPN型,海尔集团有限公司;

电热恒温水浴锅:DK-98-1型,上海精密仪器仪表公司;

电磁炉:C21-WK2102型,广东美的生活电器制造有限公司;

电子鼻:PEN3型,申贝科学仪器有限公司;

固相微萃取萃取头:75 μm CAR/PDMS SPME型,德国默克公司;

光纤支架:57330-U SPME型,德国默克公司;

电热偶:WRNTE型,上海西仪自动化仪表有限公司;

气相色谱—质谱联用仪:GC 6800型,江苏天瑞仪器股份有限公司;

低场核磁共振仪:NMI20-040型,苏州纽迈分析仪器

有限公司。

1.2 方法

1.2.1 真空低温熟制牛肉的制备 将2 000 g牛腩肉切成约3 cm×3 cm×3 cm的肉块,以牛肉质量为基础,加入15%料酒,10.11%红烧酱油,15.46%黄豆酱,0.91%混合香料,1.14%食盐,0~4℃下腌制12 h。将腌制好的样品放入高温蒸煮铝箔袋中,加2 L冷水,为了便于真空包装,将装有调味后样品的铝箔袋置于−20℃冰箱冷冻6 h成固体状态,抽真空塑封,样品于80℃水浴锅中熟制7 h。

1.2.2 冷冻处理 将熟制后的样品平均分成5份,其中一份为对照组,其他4份样品分别于−20℃冷冻24 h,−80℃冷冻1,3,5 h。

1.2.3 复热处理 将不同冷冻条件下处理后的样品气蒸复热20 min,复热后进行指标测定。

1.2.4 水分迁移的测定 参考孙慧琳等^[13]的方法。低场核磁共振仪参数:磁体温度32℃,质子共振频率21 MHz^[14]。选择CPMG脉冲序列,SF1=22 MHz,O1=911.887 4 kHz,P1=15 μs,P2=30 μs,τ=150 μs,TD=90 016,Echo Cnt=3 000,NS=8,TR=1 000,RG1=30, RG2=3,每组样品做3个平行。

1.2.5 电子鼻分析 参考Cassens等^[15]的方法并稍作修改。将处理好的肉样置于烧杯中,用封口膜紧密封闭。电子鼻仪器参数:载气使用空气,流速500 mL/min,进样量2.5 mL,每次清洗时间120 s,数据检测时间60 s。挥发性成分通过10种高度灵敏的金属氧化物探测器检测。电子鼻传感器类别及性能见表1。

表1 电子鼻传感器类型及性能

Table 1 Types and performance of electronic nose sensors

传感器名称	性能描述
W1C	芳香类、苯类化合物
W5S	氮氧化物
W3C	芳香类、氨类化合物
W6S	氢化物
W5C	短链烷烃芳香类化合物
W1S	甲基类化合物
W1W	无机硫化物
W2S	醇类、醛酮类化合物
W2W	芳香类、有机硫化物
W3S	长链烷烃类化合物

1.2.6 固相微萃取及GC-MS分析 参考Tan等^[16]的方法并稍作修改。称取10.00 g肉样分别置于顶空进样瓶中。固相微萃取条件:进样口温度250℃,将萃取头插入进样口老化30 min后,插入顶空进样瓶中加热萃取30 min,插入气相进样口,250℃解析5 min。GC条件:使用HP-5色

谱柱 (60 m×0.25 mm, 0.25 μm); 载气为氦气, 流速 0.8 mL/min, 不分流模式, 进样口温度 250 °C。梯度升温程序: 40 °C 保持 3 min, 以 3 °C/min 升温至 100 °C, 以 5 °C/min 升温至 230 °C, 保持 20 min。MS 条件: 电子电离源; 离子源温度 230 °C; 电离能量 70 eV; 接口温度 250 °C; 质量扫描范围(*m/z*)20~400。定性分析: 使用气质联用仪数据分析软件对数据进行处理, 并在 NIST 17 谱库中进行检索和匹配, 最终选择匹配度>80% 的物质。定量分析: 采用面积归一化法进行定量。

1.2.7 数据分析 采用 Multi Exp Inv Analysis 软件、Win Muster 软件和 Chem Analys 软件对低场核磁、电子鼻、GC-MS 数据进行分析, SPSS 26 进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 对预制红烧牛肉水分迁移的影响

低场核磁共振(LF-NMR)用于肉与肉制品水分研究, 主要采用横向弛豫时间(T_2)来表示水分^[17]。冷冻条件对预制红烧牛肉水分分布情况如图 1 所示, 横向弛豫时间 T_2 峰面积比的变化见表 2、表 3。

表 2 不同冷冻条件下预制红烧牛肉横向弛豫时间 T_2 峰面积比的变化[†]

Table 2 Changes in peak area ratio of transverse relaxation time T_2 of pre-cooked braised beef under different freezing conditions

冷冻条件	$P_{21}/\%$	$P_{22}/\%$	$P_{23}/\%$
对照组	3.48±0.15 ^c	92.43±0.45 ^a	4.09±0.12 ^d
-20 °C—24 h	5.09±0.12 ^a	85.22±0.67 ^d	9.69±0.21 ^a
-80 °C—1 h	4.02±0.05 ^b	91.45±0.49 ^{ab}	4.53±0.33 ^d
-80 °C—3 h	3.98±0.04 ^b	90.67±0.89 ^{bc}	5.35±0.45 ^c
-80 °C—5 h	3.57±0.03 ^c	89.91±0.92 ^c	6.52±0.20 ^b

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 不同速冻时间下预制红烧牛肉横向弛豫时间 T_2 峰面积比的变化[†]

Table 3 Changes in peak area ratio of transverse relaxation time T_2 of pre-cooked braised beef at different quick-freezing times

速冻时间/h	$P_{21}/\%$	$P_{22}/\%$	$P_{23}/\%$
1	4.02±0.05	91.45±0.49	4.53±0.33 ^c
3	3.98±0.04	90.67±0.89	5.35±0.45 ^b
5	3.57±0.03	89.91±0.92	6.52±0.20 ^a

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

由图 1 可知, 不同冷冻条件下各出现 3 个波峰, 第 1 个波峰出现在 0.1~1.0 ms, 为与大分子紧密结合的结合水 (T_{21}); 第 2 个波峰出现在 10~100 ms, 为不易流动水 (T_{22}),

分布在肌原纤维内部; 第 3 个波峰出现在 100~300 ms, 为自由水 (T_{23}), 即分布在肌原纤维细胞外间隙能自由流动的水。不易流动水 (T_{22}) 的峰面积最大, 表明牛肉中的水分主要为不易流动的水。与对照组相比, -20 °C 冷冻组不易流动水占比减小了 7.8%, -80 °C 速冻 1, 3, 5 h 组不易流动水占比分别减少了 1.06%, 1.90%, 2.73%, 这是因为冻结过程中, 冰晶会破坏肌肉组织的物理结构, 导致不易流动水向自由水迁移。但 -80 °C 速冻条件下, 冰晶较小, 分布均匀, 对肌肉组织破坏较小, 牛肉中的水分损失较小。综上, -80 °C 速冻组的保水效果优于 -20 °C 冷冻组的, 而冷冻时间对 -80 °C 速冻组的不易流动水含量无显著性差异。

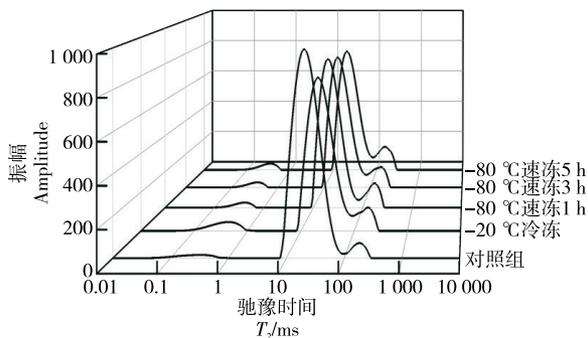


图 1 不同冷冻条件下水分组成分析

Figure 1 Analysis of water composition under different freezing conditions

2.2 对预制红烧牛肉水分含量的影响

由图 2 可知, 对照组水分含量最高, -20 °C 冷冻 24 h 处理组水分含量最低, 其他 3 组水分含量相似, 比较接近对照组。说明 -80 °C 速冻组的保水性更好, 在保持红烧牛肉食用品质上具有一定优越性。MRI 图中的变化与横向弛豫时间 T_2 的变化基本一致, 即冻结速度越慢, 时间越长, 失水越多, 保水性越差。

2.3 对预制红烧牛肉风味的影响

在电子鼻主成分分析图中, 每个椭圆代表在相同条件下的一个数据收集点, 一般来说, 当总贡献率为 75%~

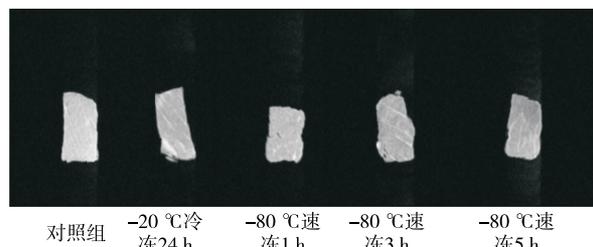


图 2 不同冷冻条件下核磁共振成像分析

Figure 2 Magnetic resonance imaging analysis under different freezing conditions

85%时,该方法的有效性显著。由图3可知,总贡献率为99.20%,第一主成分区(PC1)贡献率为94.83%,第二主成分区(PC2)贡献率为4.37%。-20℃冷冻24h组与对照组距离最远,说明该组风味与对照组相差较大;-80℃速冻1h组与对照组部分重叠,该组风味更接近对照组;-80℃速冻1h组更好地保持了红烧牛肉原有的风味。

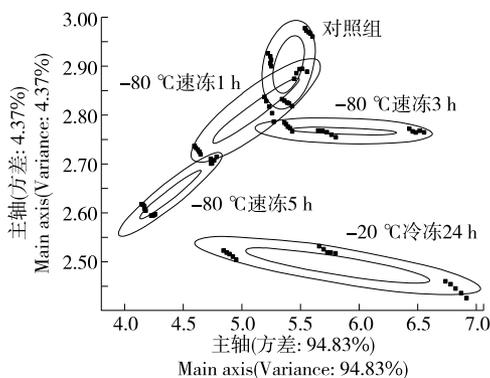


图3 不同冷冻条件下PCA分析图

Figure 3 PCA under different freezing conditions

2.4 对预制红烧牛肉挥发性风味物质的影响

由表4可知,红烧牛肉中共检出62种挥发性风味物质,主要涵盖了醛类、酮类、烷烃类、醇类、酸类以及酯类化合物。对照组中检出51种挥发性风味物质,-20℃冷冻组的挥发性风味物质种类减少至45种。-80℃速冻1h组的挥发性风味物质为50种;速冻时间延长至3h时,挥发性风味物质种类减少至49种;速冻时间延长至5h时,挥发性风味物质进一步减少至47种。

由图4可知,各组挥发性风味物质中醛类化合物含量占据主导地位,说明冷冻条件对红烧牛肉中各类挥发性风味物质含量影响显著。-80℃速冻1h组的品质与对照组最为接近,可能归因于速冻有效抑制了冰晶的形成和生长,从而减小了对肌肉组织的机械破坏作用,维持了更好的风味与品质。这与Wang等^[18]的研究结果一致。而鲁珺等^[19]研究表明,冷冻过程中,当样品组织处于低于玻璃化转变温度时,其呈现的部分玻璃化状态对细胞结构具有保护作用,这可能与-80℃速冻条件下红烧牛肉品质更优的现象相关。

表4 不同冷冻条件下红烧牛肉中挥发性风味物质分析[†]

Table 4 Analysis of volatile flavor substances in braised beef under different freezing conditions

种类	化合物名称	相对含量/%				
		对照组	-20℃冷冻	-80℃速冻1h	-80℃速冻3h	-80℃速冻5h
醛类	戊醛	0.24±0.04	—	0.28±0.08	0.81±0.21	0.45±0.08
	己醛	18.38±0.82	16.35±1.02	15.45±0.91	14.89±1.01	15.62±0.15
	庚醛	1.58±0.15	1.65±0.05	2.68±0.78	1.65±0.09	1.97±0.62
	2-庚烯醛	0.86±0.12	0.75±0.06	—	—	—
	苯甲醛	14.59±1.35	10.31±1.37	13.85±2.55	14.58±0.03	16.86±0.95
	辛醛	12.88±0.63	9.10±0.56	13.35±2.26	16.85±0.98	11.67±1.88
	苯丙醛	0.46±0.13	0.45±0.09	2.64±1.01	0.44±0.02	0.61±0.32
	(E)-2-辛烯醛	0.85±0.05	1.24±0.34	—	—	—
	壬醛	22.39±1.50	17.81±0.64	18.10±1.90	16.21±1.48	20.41±2.25
	3-甲硫基丙醛	1.25±0.09	—	1.35±0.02	1.90±0.92	1.33±0.04
	癸醛	2.19±0.32	2.39±0.35	2.55±0.08	5.31±1.39	2.52±0.06
	甲基肉桂醛	0.90±0.12	—	0.77±0.08	0.82±0.15	1.86±0.36
	(E)-2-癸烯醛	—	1.03±0.15	0.06±0.01	0.87±0.10	—
	5-羟基噻吩-2-羰基醛	—	3.56±1.07	—	—	—
	(E)-2-庚烯醛	0.76±0.12	0.77±0.09	2.25±0.64	0.77±0.09	—
	酮类	2-庚酮	0.12±0.04	—	0.06±0.03	0.13±0.06
2-甲基-3-辛酮		—	1.71±0.64	0.02±0.01	0.08±0.02	—
4-氯苯丁酮		0.03±0.01	0.04±0.02	0.07±0.02	0.03±0.01	0.06±0.02
2,3-辛二酮		2.52±0.06	2.74±0.34	1.75±0.26	2.55±0.08	1.24±0.28
1-(乙酰氧基)-2-丙酮		0.04±0.01	0.06±0.03	0.04±0.01	0.08±0.02	0.05±0.01
2-十三烷酮		0.10±0.01	—	0.06±0.03	0.10±0.01	0.08±0.02
丁酮		0.24±0.05	0.27±0.10	0.08±0.01	0.27±0.07	0.15±0.11

续表 4

种类	化合物名称	相对含量/%				
		对照组	-20 °C 冷冻	-80 °C 速冻 1 h	-80 °C 速冻 3 h	-80 °C 速冻 5 h
酮类	3 羟基-2-丁酮	0.31±0.06	0.34±0.02	—	—	—
	2-戊酮	—	0.18±0.03	0.15±0.09	0.30±0.19	0.15±0.01
烷烃类	石竹烯	0.03±0.01	—	0.08±0.02	0.03±0.01	0.06±0.04
	6-甲基十八烷	0.27±0.02	0.29±0.10	1.55±0.60	0.26±0.04	1.11±0.80
	1,3-二叔丁基苯	—	2.92±0.60	0.07±0.01	0.75±0.21	0.07±0.01
	十四烷	0.86±0.04	0.74±0.18	1.20±0.51	0.84±0.04	1.10±0.05
	十五烷	0.21±0.02	—	1.48±0.56	0.20±0.08	—
	2,6,10-三甲基十四烷	0.46±0.05	0.43±0.09	—	—	0.41±0.04
	柠檬烯	3.60±0.01	3.18±0.71	3.59±0.05	2.98±0.54	3.59±0.08
	醇类	己醇	0.05±0.01	1.39±0.16	2.90±1.89	0.06±0.01
	戊醇	0.04±0.01	1.31±0.21	1.44±0.56	0.04±0.01	0.97±0.80
	异丁醇	—	0.31±0.15	0.10±0.04	2.48±0.72	0.14±0.06
	壬醇	0.13±0.02	—	—	—	0.22±0.04
	庚醇	0.11±0.03	0.20±0.14	—	—	0.64±0.42
	3-甲基-3-庚醇	0.16±0.03	—	0.51±0.26	0.18±0.04	0.42±0.21
	二甲基硅炔二醇	1.14±0.02	5.37±1.40	0.24±0.11	1.15±0.04	0.56±0.57
	苯甲醇	0.05±0.01	0.06±0.03	0.35±0.21	0.05±0.01	0.25±0.18
	2-乙基乙醇	—	—	0.02±0.01	0.81±0.16	—
	1-戊醇	0.04±0.01	0.06±0.03	0.31±0.42	0.04±0.01	0.22±0.15
	辛醇	0.09±0.03	—	0.08±0.01	—	—
	1-辛烯-3-醇	4.98±0.02	5.72±1.58	4.21±1.35	4.99±0.07	6.59±1.49
	甲硫醇	0.05±0.01	0.06±0.02	0.19±0.10	0.05±0.01	0.14±0.08
	2-癸烯-1-醇	—	0.01±0.01	—	—	—
	2-甲基-3 呋喃硫醇	0.81±0.05	0.97±0.26	1.53±0.60	0.83±0.06	1.32±0.36
	糠硫醇	0.02±0.01	—	0.07±0.03	0.02±0.01	—
酸类	反-2-壬烯酸	0.99±0.05	0.96±0.06	0.07±0.02	0.96±0.09	0.39±0.49
	己酸	—	0.51±0.07	0.53±0.04	0.52±0.08	0.54±0.02
	辛酸	0.44±0.02	0.74±0.10	—	—	—
	壬酸	0.38±0.04	—	0.07±0.01	0.36±0.04	0.20±0.15
	2-乙基己酸	0.25±0.05	—	0.22±0.02	0.21±0.04	0.25±0.05
酯类	己酸 2-丙烯酯	0.77±0.04	0.75±0.05	—	—	—
	庚酸烯丙酯	1.35±0.04	1.36±0.07	1.05±0.27	1.36±0.10	1.15±0.25
	乙酸芳樟酯	0.20±0.05	—	0.19±0.04	0.17±0.02	0.17±0.04
	十六酸乙酯	—	0.20±0.07	—	—	—
	6-乙基-3-辛酯	0.96±0.07	1.04±0.08	0.97±0.05	0.92±0.05	1.21±0.34
其他类	5-甲氧基噻唑	0.15±0.03	0.16±0.10	—	—	0.12±0.06
	二甲基三硫醚	0.11±0.03	0.31±0.19	1.16±0.61	0.10±0.01	0.08±0.02
	2-戊基-呋喃	0.55±0.02	—	0.08±0.01	0.53±0.03	0.75±0.25
	茴香脑	0.07±0.01	—	0.06±0.01	0.39±0.19	0.06±0.01
	二烯丙基二硫化物	—	0.21±0.07	0.14±0.08	0.09±0.01	0.14±0.10

† —表示未检出。

2.4.1 醛类化合物 醛类化合物源自脂肪的氧化过程,其阈值极低,带有浓郁的脂肪香气,是赋予肉类独特风味的标志性成分。研究^[20]表明,醛类在塑造肉类风味方面具有不可或缺的重要性,是风味构成的基石。由图4可知,对照组和-80℃速冻组样品中均检出戊醛、3-甲基丙醛和甲基肉桂醛3种重要的醛类化合物,而-20℃冷冻组中未检出这3种醛类物质。-80℃速冻1h组中戊醛含量与对照组的相近,表明速冻技术能在短时间内有效保持醛类化合物的含量和风味。

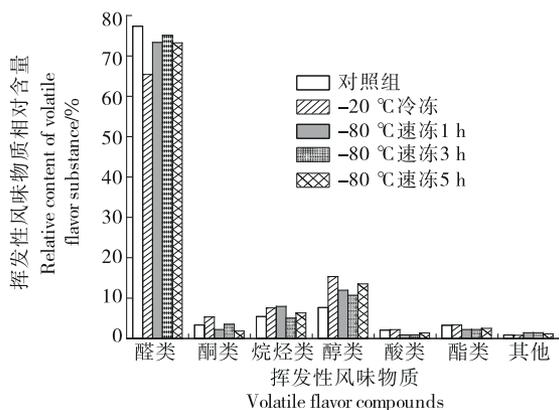


图4 不同冷冻条件下挥发性风味物质含量

Figure 4 Content of volatile flavor substances under different freezing conditions

2.4.2 醇类化合物 在肉类中,脂质在脂肪氧合酶和氢过氧化酶的作用下会降解亚油酸,这一过程是肉类中醇类化合物形成的主要机制^[21]。有研究^[22]表明,不饱和醇因其特有的蘑菇味和类金属味,且阈值相对较低,会对肉品的风味构成产生显著影响。在醇类物质检测中,对照组和-80℃速冻组中均存在3-甲基-3-庚醇,而-20℃冷冻组中未检出该物质。

2.4.3 烷烃类化合物 烷烃类化合物源自脂肪酸的烷氧自由基裂解,其含量受前体脂肪酸链的影响显著。尽管烷烃类化合物因阈值较高而对肉品直接风味贡献不大,但其在增加肉品的整体风味体验上发挥着不可或缺的作用^[23]。

2.4.4 酯类化合物 酯类化合物的形成机制主要是游离脂肪酸与脂类氧化产生的醇类之间发生的化学反应^[24]。这类化合物在较低阈值下便能显著地为肉品增添愉悦的果香和花香。特别地,由短链脂肪酸生成的酯类往往赋予肉品典型的果味;而长链脂肪酸生成的酯类则带来浓郁的油脂香气^[25]。

2.4.5 酸类化合物 酸类化合物主要源自脂肪酸甘油酯和磷脂的加热氧化或酶解过程。普遍而言,酸类化合物的阈值相对较高,且在肉品中的含量有限,同时挥发性较

低。因此,其对肉品整体风味的贡献相对较小。

3 结论

冷冻温度越低,红烧牛肉中水分含量和风味物质含量损失越少。-80℃速冻1,3,5h组的水分含量与对照组的相接近。对照组中检出51种挥发性风味物质,-20℃冷冻24h组中检出45种挥发性风味物质,-80℃速冻1,3,5h组中分别检出50,49,47种挥发性风味物质。电子鼻PCA分析结果显示,-80℃速冻1h组的风味与对照组的接近。建议生产企业选择产品冷冻条件为-80℃速冻1h。

参考文献

- [1] 孙志涛. 不同中式牛肉烹饪工艺对营养价值的影响研究[J]. 中国食品工业, 2022(19): 102-105.
SUN Z T. Study on the influence of different cooking techniques of Chinese beef cooking techniques on nutritional value[J]. China Food Industry, 2022(19): 102-105.
- [2] 孔秋莲, 郑琦, 颜伟强, 等. 电子束辐照结合食品添加剂对牛肉饼微生物及感官品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2024, 43(8): 128-139.
KONG Q L, ZHENG Q, YAN W Q, et al. Effect of electron beam irradiation combined with food additives on the microbial and sensory qualities of beef Patties[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2024, 43(8): 128-139.
- [3] CHIAN F M, KAUR L, ASTRUC T, et al. Shockwave processing of beef brisket in conjunction with sous vide cooking: effects on protein structural characteristics and muscle microstructure[J]. Food Chemistry, 2021, 343: 128500.
- [4] 孟祥忍, 王恒鹏, 谢静, 等. 真空低温烹饪对牛肉微观结构与理化性质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(9): 152-158.
MENG X R, WANG H P, XIE J, et al. Effects of vacuum-low temperature cooking on microstructure and physicochemical properties of beef[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(9): 152-158.
- [5] 孙国皓. 食品冷冻技术研究现状及进展[J]. 食品安全导刊, 2021(12): 177-179.
SUN G H. Research status and progress of food freezing technology[J]. China Food Safety Magazine, 2021(12): 177-179.
- [6] 胡瑞. 基于肉表面湿度调控的物理场协同速冻/解冻典型生鲜肉品质提升研究[D]. 无锡: 江南大学, 2023: 1-2.
HU R. Research on physical field coordination of quick-freezing/thawing typical fresh meat quality improvement based on meat surface humidity regulation[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2023: 1-2.
- [7] LEYGONIE C, BRITZ T J, HOFFMAN L C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: review[J]. Meat Science, 2012, 91(2): 93-98.
- [8] SANZ P D, OTERO L. Emerging technologies for food

- processing[M]. America: Academic Press, 2005: 627-652.
- [9] CHENG L N, SUN D W, ZHU Z W, et al. Emerging techniques for assisting and accelerating food freezing processes: a review of recent research progresses[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 57(4): 769-781.
- [10] 周雪廷. 不同贮藏温度及包装方式对酱牛肉品质和货架期的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2023: 18-49.
- ZHOU X T. Effects of different storage temperatures and packaging methods on the quality and shelf life of soy sauce beef[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2023: 18-49.
- [11] 毕永昭, 罗瑞明. 不同冻结方式对手抓羊肉微观结构、水分迁移及品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2023, 23(10): 146-156.
- BI Y Z, LUO R M. Effect of microstructure, water distribution and quality changes of hand grab mutton with different freezing methods[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2023, 23(10): 146-156.
- [12] 林国荣, 曾令楨. 冷冻方式对鲍鱼品质与理化性质的影响[J]. *食品工业*, 2023, 44(1): 182-186.
- LIN G R, ZENG L Z. Effects of freezing methods on quality and physicochemical properties of abalone[J]. *The Food Industry*, 2023, 44(1): 182-186.
- [13] 孙慧琳, 代媛媛, 孟兰奇, 等. 牛肉低温储藏过程中水分迁移与蛋白质氧化的相关性研究[J]. *保鲜与加工*, 2021, 21(5): 28-33, 46.
- SUN H L, DAI Y Y, MENG L Q, et al. Correlation research between water migration and protein oxidation of beef under cryopreservation[J]. *Storage and Process*, 2021, 21(5): 28-33, 46.
- [14] 张骏龙. 肉糜热诱导凝胶形成过程中水合特征变化规律研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2017: 8-9.
- ZHANG J L. Study on changes of hydration characteristics in the process of heat-induced gel formation of minced meat[D]. Jinzhou: Bohai University, 2017: 8-9.
- [15] CASSENS A M, ARNOLD A N, MILLER R K, et al. Impact of elevated aging temperatures on retail display, tenderness, and consumer acceptability of beef[J]. *Meat Science*, 2018, 146: 1-8.
- [16] TAN C K, SELAMAT J, JAMBARI N N, et al. Muscle and serum metabolomics for different chicken breeds under commercial conditions by GC-MS[J]. *Foods*, 2021, 10(9): 2 174.
- [17] 王廷敏, 谢安国, 付淑亚, 等. 基于低场核磁—近红外二维相
关光谱技术研究加热温度对牛肉水分的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(20): 288-293.
- WANG T M, XIE A G, FU S Y, et al. Effect of heating temperature on beef moisture by two-dimensional correlation spectroscopy based on low-field nuclear magnetic resonance and near-infrared spectroscopy[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(20): 288-293.
- [18] WANG H, LUO Y K, SHI C, et al. Effect of different thawing methods and multiple freeze-thaw cycles on the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2015, 24(2): 153-162.
- [19] 鲁珺, 余海霞, 杨水兵, 等. 液氮速冻对银鲳鱼品质及微观结构的影响[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(4): 210-216, 94.
- LU J, YU H X, YANG S B, et al. Effects of cryogenic freezing by liquid nitrogen on the quality and microstructure of silver Pomfret (*Pampus argenteus*) [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(4): 210-216, 94.
- [20] CROSS C K, ZIEGLER P. A comparison of the volatile fractions from cured and uncured meat[J]. *Journal of Food Science*, 1965, 30(4): 610-614.
- [21] MA Q L, HAMID N, BEKHIT A D, et al. Evaluation of pre-rigor injection of beef with proteases on cooked meat volatile profile after 1 day and 21 days post-mortem storage[J]. *Meat Science*, 2012, 92(4): 430-439.
- [22] WETTASINGHE M, VASANTHAN T, TEMELLI F, et al. Volatiles from roasted byproducts of the poultry-processing industry[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(8): 3 485-3 492.
- [23] 王春青, 李学科, 张春晖, 等. 不同品种鸡肉蒸煮挥发性风味成分比较研究[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(1): 208-215.
- WANG C Q, LI K K, ZHANG C H, et al. Comparison of volatile compounds in different kinds of cooked chicken meat [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(1): 208-215.
- [24] AI J. Headspace solid phase microextraction. Dynamics and quantitative analysis before reaching a partition equilibrium[J]. *Analytical Chemistry*, 1997, 69(16): 3 260-3 266.
- [25] 秦琛强, 杨卫芳, 吕学泽, 等. 北京油鸡煲汤过程中鸡汤的风味变化[J]. *肉类研究*, 2021, 35(10): 25-32.
- QIN C Q, YANG W F, LÜ X Z, et al. Change in the flavor of Beijing-you chicken broth during cooking[J]. *Meat Research*, 2021, 35(10): 25-32.