

吴婧娇, 田欢, 黄峰, 等. 老汤卤制与定量卤制酱牛肉的品质差异 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(22): 43–51. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023010178

WU Jingjiao, TIAN Huan, HUANG Feng, et al. Quality Difference between Aged Brine Marinated and Quantitative Marinated Beef [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(22): 43–51. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023010178

· 研究与探讨 ·

老汤卤制与定量卤制酱牛肉的品质差异

吴婧娇^{1,2}, 田欢^{1,2}, 黄峰^{2,3}, 韩东², 景晓亮⁴, 贾伟⁴, 张春晖^{2,3,*}

(1. 宁夏大学食品与葡萄酒学院, 宁夏银川 750021;

2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 农业部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193;

3. 中国农业科学院西部农业研究中心, 新疆昌吉 831100;

4. 江苏超悦农业发展有限公司, 江苏泰兴 225400)

摘要: 为研究不同卤制方式酱牛肉的品质差异, 分析老汤卤制和定量卤制条件下, 酱牛肉的感官评定、色泽、剪切力、质构、水分分布、呈味核苷酸以及游离氨基酸等指标的变化, 确定不同卤制方式对酱牛肉品质的影响。结果表明: 两种卤制方式中, 定量卤制酱牛肉的感官评分高于老汤卤制。与老汤卤制的酱牛肉相比, 定量卤制酱牛肉色泽较佳, 剪切力和硬度较小 ($P<0.05$), 定量卤制的酱牛肉水分含量高且水分分布均匀。在主要呈味物质中, 定量卤制酱牛肉中 5'-AMP、5'-IMP 和 5'-GMP 的含量均显著高于老汤卤制酱牛肉 ($P<0.05$), 说明其鲜味强度大于传统卤制酱牛肉。定量卤制和老汤卤制酱牛肉的总游离氨基酸含量分别为 475.60 和 274.66 mg/100 g。由此可见, 定量卤制酱牛肉相比老汤卤制可明显提升产品品质, 这对酱卤肉制品产业升级具有重要推动作用。

关键词: 老汤卤制, 定量卤制, 酱牛肉, 品质

中图分类号: TS251.6⁺¹

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)22-0043-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023010178

本文网刊:



Quality Difference between Aged Brine Marinated and Quantitative Marinated Beef

WU Jingjiao^{1,2}, TIAN Huan^{1,2}, HUANG Feng^{2,3}, HAN Dong², JING Xiaoliang⁴, JIA Wei⁴, ZHANG Chunhui^{2,3,*}

(1. School of Food and Wine, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Comprehensive Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China;

3. Western Agricultural Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji 831100, China;

4. Jiangsu Chaoyue Agricultural Development Co., Ltd., Taixing 225400, China)

Abstract: This study aimed to analyze the quality differences of sauced beef with aged brine and quantitative marinating methods by evaluating sensory characteristics, color, shear force, texture, moisture distribution, taste nucleotides, and free amino acids. Results showed that quantitative marinated beef received a higher score in sensory evaluation than aged brine marinated beef. Additionally, quantitative marinated beef had better color, lower shear force and hardness compared to aged brine marinated beef ($P<0.05$). It also had a higher moisture content and more even moisture distribution. The quantitative marinating method resulted in higher levels of 5'-AMP, 5'-IMP, and 5'-GMP in the beef sauce, which enhanced its umami intensity ($P<0.05$). Moreover, the total free amino acid content was higher in quantitative marinated beef (475.60 mg/100 g) than aged brine marinated beef (274.66 mg/100 g). These findings suggested that the use of quantitative marinating method can significantly improve the quality of marinated beef products and promote the industry's advancement.

Key words: aged brine marinating; quantitative marinating; sauced beef; quality

收稿日期: 2023-02-02

基金项目: 新疆维吾尔自治区畜牧产业技术体系资助。

作者简介: 吴婧娇 (2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 畜产品加工, E-mail: 2941206070@qq.com。

* 通信作者: 张春晖 (1971-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 畜产品加工, E-mail: 18910165989@163.com。

我国的肉制品加工食品多种多样,其中酱卤肉制品因其滋味鲜美,佐食和零食功能兼备、能适应聚会、聚餐等各种场合而受到消费者的广泛欢迎,成为了肉制品消费市场主流产品。酱牛肉作为酱卤肉制品的典型代表,具有丰富的营养成分和诱人的风味,能够起到补中益气、滋养脾胃的效果^[1],对人体的健康具有很重要的作用。冬季食用酱牛肉还有暖胃驱寒的功效,是最好的滋补品之一。优质酱牛肉呈现酱红色而且色泽较鲜艳,肉中还含有少量牛筋呈透明微黄色,肉质紧实,切片也不会出现松散的情况,切面呈豆沙色,色泽诱人,酱香浓郁,咸淡适中^[2]。

老汤卤制是将生牛肉预煮去血水后在卤汤中调配卤制,冷却后为成品,其瓶颈问题是生产方式落后、加工损耗高、效益低、产品质量差异较大,不能实现工业化、规模化生产^[3]。针对酱卤肉制品加工过程中存在的关键共性问题,团队前期创新性突破了酱卤肉制品现代卤制技术的开发与应用,先后开展了原料肉品质控制技术、定量卤制与风味增益技术、组合脱水干燥等食品装备的研发,实现了传统工艺的流程再造,克服了传统工艺的不足。肉制品在加工制作过程中的一个重要工艺环节就是滚揉腌制,它不仅能使肉制品呈现良好的色泽,还可以提高肉制品的口感、风味^[4]。定量卤制通过原料肉与卤制液的精确调制完成卤煮。其生产效率高,可实现酱牛肉的工业化、标准化生产^[5]。关于定量卤制的研究目前主要集中在加工工艺优化以及香气组成方面,如温莉娟^[6]利用定量卤制技术确定了卤牛肉的最佳加工工艺参数,同时确定了不同温度下的牛肉的最佳货架期。孙圳等^[7]研究结果表明,与传统卤制相比,定量卤制能更好地促进炖鸡风味活性物质的产生及释放。然而,除香气外,酱卤牛肉的品质特性(嫩度、滋味等)也是影响消费者购买与否的重要因素,但现在对于定量卤制肉制品的品质研究较少,对提升酱卤肉工业化生产品质缺乏理论参考。因此,本文以酱牛肉为研究对象,旨在研究老汤卤制与定量卤制酱牛肉的品质差异,从感官评定、色泽、剪切力、质构、水分、呈味核苷酸以及游离氨基酸等方面分析定量卤制工艺对酱牛肉品质提升效果。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

酱牛肉 江苏超悦农业发展有限公司;腺苷酸、鸟苷酸和肌苷酸标准品、氨基酸混合标准品、Waters AccQ-Tag 化学试剂包 北京萃锋科技有限公司;甲醇、磷酸 色谱纯,广州恒科生物技术有限公司。

BSA423S 电子天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;TA-XT2i 质构仪 英国 Stable Micro System 公司;T10 高速组织匀浆机 德国 IKA 公司;C- LM3B 数显式肌肉嫩度仪 南农畜牧技术(北京)有限公司;PEN3 便携式电子鼻 德国 Airsense 公司;CM-700D 便携式色差仪 柯尼卡美能达(日本)公

司;MesoMR23-060H-I 低场核磁共振仪及成像系统

上海纽迈电子科技有限公司;KQ-500B 超声波清洗机 昆山市超声仪器有限公司;Agilent 1260 高效液相色谱系统 杭州瑞析科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 酱牛肉加工工艺

1.2.1.1 老汤卤制酱牛肉加工工艺 原料→解冻(4℃)、修整→预煮(10 min,去血沫)→煮制(100℃, 50 min,浸泡 1 h)→冷却→老汤 1→成品(预煮→煮制→(老汤 1)→冷却→过滤→老汤 2→样品)。

1.2.1.2 定量卤制酱牛肉加工工艺 原料→解冻(4℃)、修整→卤制液定量调配腌制(0~4℃, 12 h)→一次烤制风味固化(90℃, 30 min)→蒸制熟化生香(100℃, 45 min)→二次烤制风味增益(130~145℃, 40 min)→调味油雾化喷涂风味强化→成品。

1.2.2 感官评定 感官评定参考黄艳梅^[8]的方法,邀请 30 位食品专业的学生,其中男、女生各 15 名,按照表 1 感官评分标准进行感官评定。

表 1 酱牛肉的感官评分标准
Table 1 Sensory scoring standards for sauced beef

评分项目	评分内容	分值(分)
色泽	色泽很差,暗淡,均匀性差	1~5
	色泽较差,无光泽,均匀一致性差	6~10
	色泽较好,光泽度不够,基本均匀一致	11~15
	色泽良好,有光泽,均匀一致	16~20
滋味	滋味差,咸淡不适或有异味	1~5
	滋味较差,咸淡略有欠缺	6~10
	滋味较好,咸淡适中	11~15
	咸淡适中,滋味诱人	16~20
香气	几乎无香气,散发蒸煮味	1~5
	香味过于单薄或有其他异味	6~10
	香味稍弱,卤肉香味较纯正,无异味	11~15
	香气浓郁,具有卤香特有的香气,无其他异味	16~20
适口性	无嚼劲,过于软或过于硬,几乎无汁液	1~5
	嚼劲差,很软或很硬,汁液很少	6~10
	稍有嚼劲,软硬度略有欠缺,汁液较少	11~15
	有嚼劲,软硬适中多汁性好	16~20
可接受性	不可接受	1~5
	可接受性差	6~10
	可接受	11~15
	接受性强	16~20

1.2.3 色泽的测定 色泽的测定参考李银等^[9]的方法,采用 CM-700d 型色差计分别记录酱牛肉的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。肉的色泽可以通过 L^* 、 a^* 、 b^* 进行衡量^[10]。通过 L^* 、 a^* 、 b^* 又可以衍生出一些其他色差评估值,例如 C^* 和 h^* ^[11]。 C^* 代表饱和度,反映肉色的鲜艳程度, h^* 指色调色,是评价肉色的综合指标^[12]。色差计在使用前须进行校准。

1.2.4 剪切力和质构的测定 酱牛肉冷却结束后,使用取样器沿着肌纤维方向取下肉样,取样过程中避开

结缔组织,用 C-LM3B 型数显式肌肉嫩度仪测定其剪切力^[13]。

质构的测定参考 Ribeiro 等^[14]的方法并适当修改。肉样切成 1.5 cm×1.5cm×0.5 cm 小块,采用 TPA 压缩测试模式。参数为:探头型号为 P36,探头测前下降速度 2.0 mm/s,测试速度 1.0 mm/s,测后探头回程速度 2.0 mm/s,探头两次测定间隔 5 s,压缩变形率为 40%,剪切感应力 5.0 g;自动触发类型。产品的质构评价指标选取全质构指标中的硬度、回复性、弹性、内聚性和咀嚼性,每个处理的样品平行测定 6 次。

1.2.5 水分组成的测定 参考 Wang 等^[15]的方法,采用低场核磁共振测定样品中水分的弛豫时间,将样品放置在圆柱形核磁管中,并插入射频线圈中。用脉冲序列 CPMG 测定酱牛肉的弛豫时间。主频 22 MHz,90°脉冲时间 16 μs;180°脉冲时间 33 μs;扫描重复次数设置为 4 次。

1.2.6 ¹H 质子密度成像的测定 参考谢小雷等^[16]的方法进行测定,采用低场核磁共振成像系统自旋回波成像序列对样品进行 ¹H 质子密度成像。将酱牛肉样品放入永磁场射频线圈中心,进行成像检测试验。参数为:重复时间 2000 ms,重复次数 4 次,纵向弛豫时间 20 ms。

1.2.7 5'-核苷酸的测定 标准品制备:准确称取 5'-腺苷酸(5'-AMP)、5'-鸟苷酸(5'-GMP)和 5'-肌苷酸(5'-IMP)标准品各 50 mg,使用超纯水定容至 50 mL,此时,标准溶液的浓度为 1.0 mg/mL,然后将标准溶液稀释成不同浓度(0.25、0.5、1、2.5、5、7.5、10 mg/100 mL)的混标。

样品处理参考 Roseiro 等^[17]的方法并作适当修改。取 5.00 g 绞碎的酱牛肉样品,加入 15 mL 5%的经预冷的高氯酸溶液,用高速分散器在冰浴条件下均质(10000 r/min,2×20 s),离心(4 ℃,10000 r/min,10 min)后取上清液,再用 10 mL 同浓度的高氯酸溶液洗涤沉淀物,并在相同条件下进行二次离心,合并两次操作后的上清液。使用 KOH 溶液将上清液 pH 调节至 6.5,使用一级水定容至 50 mL,溶液过 0.45 μm 水相滤膜后,于 HPLC 进样分析。

HPLC 主要参数参考 Li 等^[18]并作适当修改。色谱柱的型号为 Intersil ODS-3(4.6×250 mm),柱温设定为 30 ℃。流动相:流动相 A 为甲醇,流动相 B 为 0.050% 磷酸。流动相经 0.45 μm 滤膜过滤后,在室温下进行超声脱气 30 min。流速设定为 1.0 mL/min,进样量为 10 μL,等梯度洗脱。紫外检测波长为 260 nm。定量分析峰面积。

1.2.8 游离氨基酸的测定 AccQ-Fluor 衍生试剂配制参考韩粉丽等^[19]的方法。

1.2.8.1 柱前衍生 将氨基酸混合标准品进行稀释,半胱氨酸稀释至 0.05、0.125、0.25、0.5、0.75、1.25 μmol/L,其余 16 种氨基酸稀释至 0.1、0.25、

0.5、1、1.5、2、2.5 μmol/L,从氨基酸混合标准品稀释液中准确移取 10 μL 注入进样瓶,涡旋使其混合,加入 70 μL AccQ-Fluor Buffer 到衍生管中,再将现配的 AccQ-Fluor 衍生剂,在涡旋状态下吸取 20 μL 加到衍生管中,并保持涡旋混合 10 s,于室温下放置 1 min,置于 55 ℃ 烘箱内加热 10 min,取出后即可进样。

1.2.8.2 色谱条件 参考顾伟钢等^[20]的方法,色谱柱的型号为 Nova-PakTM C₁₈ 柱;柱温设定为 37 ℃;紫外检测波长为 248 nm;进样量为 10 μL;流速为 1.0 mL/min,流动相 A:将 AccQ-Tag Eluent A 按 1:10 (v/v)用超纯水稀释而得;流动相 B:乙睛(色谱纯);流动相 C:超纯水;洗脱条件如表 2 所示。

表 2 流动相梯度洗脱程序
Table 2 Program of gradient elution

时间(min)	φ(A, %)	φ(B, %)	φ(C, %)
0	100	0	0
18	95	5	0
19	91	9	0
29.5	83	17	0
35	0	60	40
38	100	0	0
47	100	0	0

1.2.8.3 样品中游离氨基酸的测定 称取 5 g 经搅碎的肉样,加入 20 mL 超纯水,在冰浴条件下,于 10000 r/min 匀浆 3 次(每次 10 s,间隔 10 s)后,加入 20 mL 5%(v/v)三氯乙酸(TCA)水溶液,使其混合均匀,于 4 ℃ 冰箱中放置 12 h;用定性滤纸过滤,先用 4 mol/L KOH 将滤液 pH 调至 6.0,后用超纯水定容至 50 mL,溶液经 0.45 μm 滤膜过滤后,在 4 ℃、10000 r/min 下离心 10 min,上清液经 0.45 μm 滤膜过滤后,移取所得的滤液 10 μL,按照柱前衍生的操作方法处理后,采用 RP-HPLC 仪器,测定酱牛肉样品中游离氨基酸的含量。

1.2.9 TAV 和 EUC 的计算方法 滋味活性值(TAV)使用以下公式计算:

$$TAV = C/T$$

式中,C 是滋味物质的浓度(mg/100 g);T 是滋味物质的阈值(mg/100 g)。

其中,5'-AMP、5'-IMP 和 5'-GMP 的阈值分别为 50、25.5、12.5 mg/100 g^[21]。TAV 可用于判定某个化合物在某一滋味体系中的贡献^[22]。

谷氨酸钠(味精)的浓度可以通过等鲜浓度值(equivalent umami concentration, EUC)来确定^[23]。它是衡量 5'-核苷酸与谷氨酸钠盐滋味活性的氨基酸类(谷氨酸,天冬氨酸)整体对食品特有鲜味的贡献^[24]。它们之间的关系用下述方程表示:

$$Y = \sum a_i b_i + 1218(\sum a_i b_i) (\sum a_i b_i)$$

式中:Y 表示 EUC,单位为 10⁻² g MSG/g; a_i 表

示鲜味氨基酸(Glu或Asp)的浓度(10^{-2} g/mL); b_i 表示鲜味氨基酸相对于MSG的相对鲜度系数(Glu为1; Asp为0.077); a_j 表示呈味核苷酸(5'-AMP、5'-IMP、5'-GMP)的浓度(10^{-2} g/mL); b_j 表示呈味核苷酸相对于IMP的相对鲜度系数(5'-AMP为0.18、5'-IMP为1、5'-GMP为2.3); 1218是协同作用常数。

1.3 数据处理

指标测定均为3次平行结果。 $P<0.05$ 表示差异显著。采用IBM SPSS Statistics 25.0软件进行数据分析,采用Origin 8.0软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同卤制方式酱牛肉的感官评定

感官评定是评价酱卤肉制品的重要指标之一,可以直观反映酱卤肉制品的综合水平^[25]。酱卤肉制品最重要的感官特性是色泽、香气、滋味、适口性和整体可接受性^[26]。两种卤制方式酱牛肉的感官评定如图1所示。色泽是重要的感官特性之一,与老汤卤制酱牛肉相比,定量卤制酱牛肉色泽更佳,可能是因为酱牛肉经过滚揉,使盐类物质在腌制过程中的分布更加均匀^[27],使色泽的感官评价较高。同时,滚揉后酱牛肉的气味和滋味方面的感官得分也高于老汤卤制酱牛肉,其整体可接受性更高。可能是因为酱牛肉经过滚揉处理后,滚揉使肌纤维发生断裂,肉质变得松散,促进了腌制液的渗入,提高了其风味和滋味,其组织状态、适口性也有所提升,改善了产品的品质,杨秋丽等^[28]采用真空滚揉技术生产制作腊板鹅,提升了鹅肉品质。杨永华^[29]采用定量卤制的方法制作出的牛肉干的感官评价高于传统卤制。

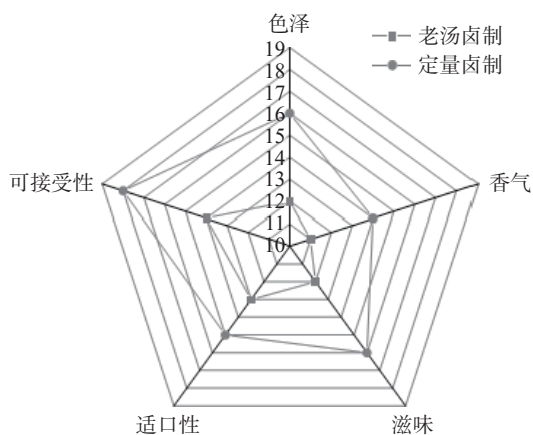


图1 不同卤制方式酱牛肉的感官评定

Fig.1 Sensory evaluation of sauced beef in different marinating methods

2.2 不同卤制方式酱牛肉的色泽

肉色是肉重要的感官评价指标之一,同时也是衡量肉新鲜度和卫生状况的指标之一,是消费者评价肉制品的重要依据^[30]。 a^* 值越高,说明肉样色泽越好。 b^* 值越高,说明肉样色泽越差^[31]。由图2可以看出,亮度方面,老汤卤制酱牛肉高于定量卤制酱牛肉($P<0.05$),在滚揉腌制过程中,随着滚揉里程的增大,

酱牛肉肌纤维蛋白发生降解,形成黏性基质,肌肉细胞中进入大量的水,进而改变了肉的反射历程,从而引起 L^* 值的下降。同时,由于机械作用引起肌原纤维断裂,使酱牛肉对光的吸收能力增强,表现出较低的 L^* 值。王兆明^[32]研究滚揉腌制过程中兔肉色泽的变化,随着滚揉里程的增加,兔肉 L^* 值呈下降趋势,与本实验结果一致。红度值和黄度值的结果说明,定量卤制酱牛肉色泽较好($P<0.05$)。此外,定量卤制酱牛肉的 C^* 值较高,说明其肉色鲜艳。色差值结果表明:与老汤卤制酱牛肉相比,定量卤制酱牛肉色泽较好。

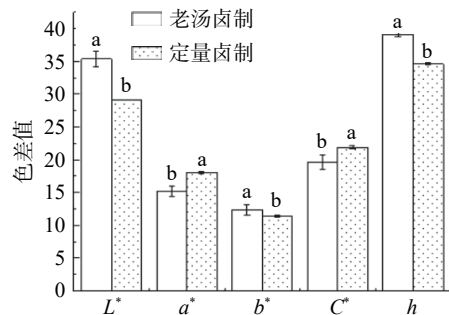


图2 不同卤制方式酱牛肉的色差值

Fig.2 Color difference value of sauced beef in different marinating methods

注:不同小写字母表示具有显著性差异, $P<0.05$ 。

2.3 不同卤制方式酱牛肉的剪切力和质构特性

剪切力是衡量肉制品品质的重要指标,是消费者评价肉制品优劣及影响消费的重要因素^[33]。肉的嫩度是导致产品被消费者接受与否的最主要原因。剪切力越小,表示肉的嫩度越大。由表3可以看出,老汤卤制酱牛肉的剪切力显著高于定量卤制酱牛肉($P<0.05$)。一般而言,肉品中含水量越丰富,嫩度越高。一方面因为定量卤制酱牛肉滚揉过程中通过对肉施以机械作用,使肌肉结构趋于松弛肌,再进行重复翻滚、碰撞和跌落等机械运动,肉块与肉块、肉块与机械之间产生挤压、摩擦和冲击等物理性作用力,削弱了肌纤维强度,甚至发生断裂,进而发生肌纤维之间间隙增大、结合力有所减小,肌原纤维小片化程度增加,最终导致剪切力下降,致使肌肉肌纤维强度被削弱甚至发生断裂,迫使剪切力降低;另一方面,滚揉腌制可能加速了内源性蛋白酶的释放与重新分布,

表3 不同卤制方式酱牛肉的质构特性

Table 3 Texture characteristics of sauced beef in different marinating methods

指标	老汤卤制	定量卤制
剪切力(N)	33.63±0.78 ^a	26.14±0.21 ^b
硬度(g)	8385.20±170.62 ^a	7167.80±198.01 ^b
回复性(%)	19.64±0.56 ^a	20.07±0.04 ^b
弹性(%)	64.84±1.81 ^b	75.60±2.03 ^a
内聚性	0.45±0.01 ^a	0.50±0.06 ^a
咀嚼性(g)	2247.01±71.53 ^b	3207.10±40.12 ^a

注:同行不同小写字母表示具有显著性差异, $P<0.05$;表6~表7同。

使其可以更有效地与肌原纤维蛋白结合, 促进 Z 线降解, 达到提高肉制品嫩度的作用^[34]。胡鹏等^[35]研究表明, 滚揉处理通过加快羊肉肌原纤维蛋白的降解速度, 来改善羊肉的嫩度, 腌制滚揉工艺提高腌制效率的同时也改善了产品的品质。

通常用质构剖面分析结果评价肉类的质地品质特性^[36]。质构在很大程度上反映了肉的口感和总体可接受度, 能更科学、更准确地说明肉制品的物性特征。硬度是指使肉发生形变所需要的力, 是食品保持特有形状的内部结合力, 反映肉的感官品质。由表 3 可知, 老汤卤制酱牛肉的硬度显著大于定量卤制酱牛肉($P<0.05$), 与剪切力结果一致。滚揉腌制后大量水分进入肉块, 对酱牛肉的质构具有明显的改善作用。回复性是指第一次压缩过程中肉样回弹的能力, 内聚性是指肉样抵抗牙齿咀嚼表现出来的内部收缩力。两种卤制方式酱牛肉的回复性和内聚性无显著差异($P>0.05$)。弹性是指牙齿研磨肉样的力度, 老汤卤制酱牛肉显著小于定量卤制酱牛肉($P<0.05$)。咀嚼性越大表明肉样的质构保持得越好, 因此, 定量卤制酱牛肉优于老汤卤制酱牛肉($P<0.05$)。上述质构的分析说明, 定量卤制酱牛肉的口感较老汤卤制酱牛肉更好, 主要是因为老汤卤制品加工过程中, 牛肉中的水分和蛋白质损失严重, 造成牛肉的肌肉纤维收缩, 从而致使老汤卤制酱牛肉的硬度显著高于定量卤制酱牛肉, 且弹性和咀嚼性较低。

2.4 不同卤制方式酱牛肉的水分组成

不同卤制方式下的酱牛肉, 经过核磁共振信号数据联合迭代重建反演得到 T_2 反演图谱, 如图 3 所示。反演图谱中显示有 3 个峰, 代表酱牛肉的三种不同水分状态, 从左到右依次为结合水、不易流动水和自由水, 它们的横向弛豫时间分别为 0.1~1 ms

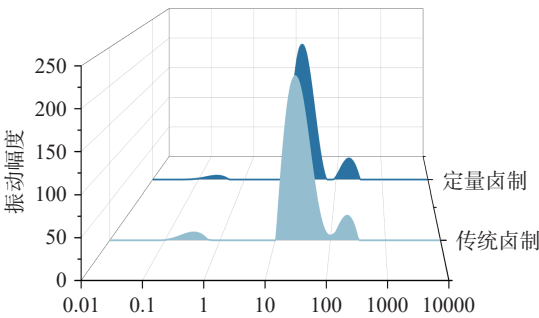


图 3 不同卤制方式酱牛肉的核磁共振波谱

Fig.3 Nuclear magnetic resonance spectroscopy of sauced beef in different marinating methods

(T_{21})、1~100 ms(T_{22})、100~1000 ms(T_{23}), T_2 反演图谱中三个峰依次为结合水、不易流动水和自由水^[37], 不同水分的含量具有不同的峰积分面积大小。从表 4 中可以看出, 两种卤制方式中酱牛肉的不易流动水含量最高, 占据了总水分的主体, 且定量卤制酱牛肉的水分含量高于老汤卤制酱牛肉。定量卤制酱牛肉水分含量高可能与定量卤制过程中的注射滚揉工艺有关, 盐水注射是定量卤制加工中非常重要的工序, 可以加快腌制液的渗透, 缩短生产周期、降低生产成本^[38]。使用滚揉技术能够加速肉中盐水的渗透^[39]。韩玲^[40]采用盐水注射腌制技术, 得到风味独特、多汁性好的酱卤牦牛肉。

2.5 不同卤制方式酱牛肉 H 质子密度成像结果

通过低场核磁共振成像技术可将所检测到肉样的氢质子信号转换为氢质子密度图谱。图像中红色区域越多, 表明 H 质子密度越高, 则代表该部分含水率越高; 蓝色区域越多, 则代表该部分 H 质子密度越低, 即含水率越低^[41]。如图 4 所示, 定量卤制组酱牛肉图像呈现较多的红色和黄色, 而老汤卤制组仅存零星的黄色, 呈较多的蓝色, 说明与老汤卤制酱牛肉相比, 定量卤制酱牛肉水分含量高且水分分布均匀。Dolata 等^[42]采用核磁共振成像技术, 研究盐水注射滚揉对腊肉中水分分布情况的影响, 从 H 质子密度成像证实, 随着肉样滚揉时间的延长, 盐水的结合及其在肉中的均匀分布增加, 与本实验结果类似。滚揉技术已经被证明可以有效地增加肉的持水性^[43]。

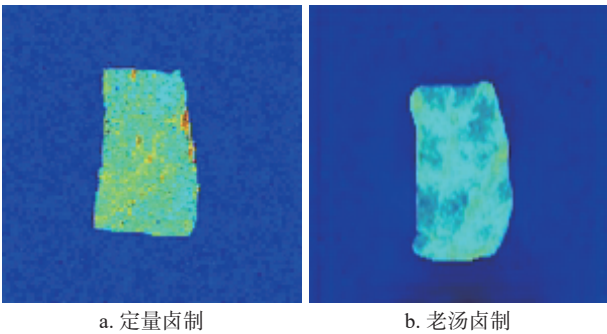


图 4 不同卤制方式酱牛肉 H 质子密度成像图

Fig.4 H proton density imaging of sauced beef in different marinating methods

2.6 不同卤制方式酱牛肉呈味核苷酸分析

核苷酸是肉中主要呈鲜的物质之一, 5'-腺苷酸(5'-AMP)、5'-鸟苷酸(5'-GMP)和 5'-肌苷酸(5'-IMP)通常被认为是肉中的增味剂, 5'-GMP 和 5'-IMP 有助

表 4 不同卤制方式酱牛肉中 3 种状态水峰积分面积

Table 4 Three-state water peak integral area in sauced beef under different marinating methods

不同卤制方式	峰面积			
	结合水 A_{21}	不易流动水 A_{22}	自由水 A_{23}	总峰积分面积A
老汤卤制	110.92±19.47 ^b	3351.57±194.71 ^b	303.40±6.84 ^b	3765.89±182.08 ^b
定量卤制	138.33±21.02 ^a	3785.44±160.45 ^a	541.58±40.67 ^a	4465.35±180.11 ^a

注: 同列不同小写字母表示具有显著性差异, $P<0.05$ 。

于强化鲜味, 5'-AMP 起到甜味增强剂的作用^[44]。本研究测定了两种卤制方式酱牛肉中主要呈味核苷酸的含量, 呈味核苷酸标准化合物高效液相色谱图见图 5, 不同卤制方式酱牛肉中 3 种主要呈味核苷酸测定结果见表 5。

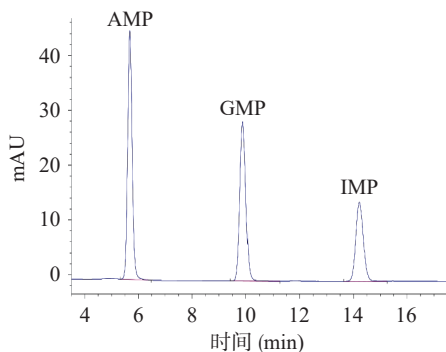


图 5 呈味核苷酸标准混合物高效液相色谱图

Fig.5 HPLC chromatogram of standard compounds of flavor nucleotides

表 5 呈味核苷酸标准化合物曲线方程

Table 5 Standard compound curve equation for flavored nucleotides

呈味核苷酸	标准曲线	决定系数 R^2
5'-AMP	$Y=52.909X-1.5329$	0.9999
5'-GMP	$Y=44.455X-1.5006$	0.9999
5'-IMP	$Y=28.06X-1.4791$	0.9997

由表 6 可以看出, 两种卤制方式加工下的酱牛肉中, 5'-IMP 的含量显著 ($P<0.05$) 高于 5'-AMP 和 5'-GMP 的含量, 这是由于 5'-IMP 主要存在于动物性食品中, 而 5'-GMP 是植物性食品如菌类食品中的主要呈鲜物质, 5'-AMP 则主要是通过 ATP 降解生成, 含量较低^[45]。在两种卤制方式酱牛肉中, 定量卤制酱牛肉的 TAV 值较大, 说明定量卤制酱牛肉的鲜味强度大于老汤卤制酱牛肉, 相似的结果也在陈旭华^[5]研究中发现, 定量卤制比传统酱卤可以保留更多的核苷酸成分, 使产品滋味更好。

表 6 不同卤制方式酱牛肉中 3 种核苷酸的含量

Table 6 Contents of three nucleotides in different marinating methods of sauced beef

呈味核苷酸	味道阈值 (mg/100 g)	含量(mg/100 g)		滋味活性值TAV	
		老汤卤制	定量卤制	老汤卤制	定量卤制
5'-AMP	50	7.88 ± 0.07^b	10.20 ± 0.02^a	0.16	0.20
5'-GMP	12.5	7.06 ± 0.02^b	8.06 ± 0.04^a	0.56	0.64
5'-IMP	25.5	26.60 ± 0.12^b	35.33 ± 0.21^a	1.04	1.39

此外, 鲜味氨基酸如谷氨酸钠和核苷酸之间具有协同作用, 可增强肉的鲜味^[46]。如 5'-IMP 可与丙氨酸、甘氨酸、丝氨酸等甜味氨基酸产生协同作用, 增强肉的鲜味。呈味核苷酸中虽然 5'-AMP 的 TAV 小于 1, 但其在低浓度时具有甜味, 与 5'-IMP 之间可以产生协同作用使肉鲜味增强。

2.7 不同卤制方式酱牛肉游离氨基酸组成

氨基酸标准品的反相高效液相色谱图如图 6 所示。

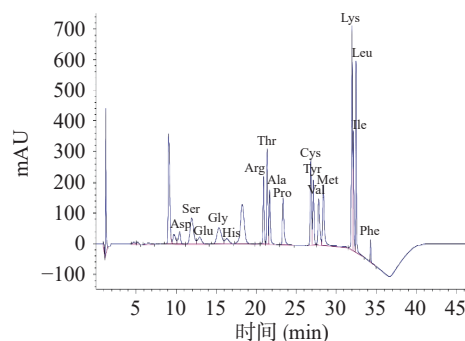


图 6 氨基酸标准品的反相高效液相色谱图

Fig.6 Reversed-phase high performance liquid chromatogram of amino acid standard

17 种游离氨基酸的含量和 TAV 值如表 7 所示, 按照滋味类型, 分为鲜、甜、苦、无味氨基酸。游离氨基酸的来源主要有两个: 一是牛肉蛋白质肌肉经组织水解酶、氨肽酶的降解作用生成游离氨基酸, 二是在煮制过程中使用的香辛料、添加剂等。老汤卤制酱牛肉的鲜、甜味氨基酸总量为 $181.12 \text{ mg}/100 \text{ g}$, 定量卤制酱牛肉的鲜、甜味氨基酸总量为 $297.36 \text{ mg}/100 \text{ g}$, 这主要是由于老汤卤制在卤制过程中, 游离氨基酸等呈味物质不断溶出, 从而导致老汤卤制酱牛肉

表 7 不同卤制方式酱牛肉游离氨基酸组成

Table 7 Composition of free amino acids in different marinating methods

游离氨基酸	含量(mg/100 g)		滋味活性值TAV		呈味特点
	老汤卤制	定量卤制	老汤卤制	定量卤制	
Asp(天冬氨酸)	18.33 ± 0.65^b	29.85 ± 1.02^a	0.18	0.30	鲜味
Ser(丝氨酸)	26.69 ± 4.41^b	39.08 ± 6.54^a	0.18	0.26	甜味
Glu(谷氨酸)	35.41 ± 2.91^b	47.79 ± 1.90^a	1.18	1.59	鲜味
Gly(甘氨酸)	14.21 ± 1.33^b	25.51 ± 0.77^a	0.11	0.20	甜味
His(组氨酸)	2.19 ± 0.14^b	4.89 ± 0.63^a	0.11	0.24	苦味
Arg(精氨酸)	0.09 ± 0.03^b	2.02 ± 0.15^a	0.02	0.04	苦味
Thr(苏氨酸)	51.19 ± 1.29^b	85.37 ± 2.58^a	0.20	0.33	甜味
Ala(丙氨酸)	35.29 ± 4.56^b	69.76 ± 1.99^a	0.59	1.16	甜味
Pro(脯氨酸)	3.90 ± 0.64^b	11.71 ± 1.36^a	0.01	0.04	无味
Cys(半胱氨酸)	3.35 ± 1.41^b	5.67 ± 0.08^a	—	—	无味
Tyr(酪氨酸)	24.27 ± 2.69^b	49.40 ± 1.22^a	—	—	苦味
Val(缬氨酸)	2.42 ± 0.49^b	6.84 ± 0.36^a	0.06	0.17	苦味
Met(甲硫氨酸)	3.30 ± 1.79^b	7.88 ± 2.30^a	0.11	0.26	苦味
Lys(赖氨酸)	14.89 ± 1.66^b	38.81 ± 0.94^a	0.30	0.77	无味
Ile(异亮氨酸)	1.31 ± 0.47^b	2.80 ± 0.16^a	0.01	0.03	苦味
Leu(亮氨酸)	6.93 ± 1.28^b	7.69 ± 1.52^a	0.04	0.04	苦味
Phe(苯丙氨酸)	30.89 ± 3.36^b	40.53 ± 3.78^a	0.34	0.45	苦味
小计(鲜、甜味)	181.12 ± 15.15^b	297.36 ± 14.80^a	2.44	3.84	
小计(苦味)	71.40 ± 10.25^b	122.05 ± 10.12^a	0.69	1.23	
小计(无味)	22.14 ± 3.71^b	56.19 ± 2.38^a	0.31	0.81	
总计	274.66 ± 29.11^b	475.60 ± 27.30^a	3.44	5.88	

注: “—”表示未查到阈值和未计算TAV值。

中游离氨基酸含量低于定量卤制,而定量卤制酱牛肉在制作过程中通过低温真空滚揉和蒸制实现无老卤,且避免反复卤煮导致的挥发性风味物质和滋味物质的溶出。定量卤制酱牛肉中游离氨基酸总量是传统卤制酱牛肉的 1.73 倍。

一般 TAV 值大于 1 时,该成分对样品滋味有贡献。在两种卤制方式检测出来的 17 种氨基酸中,仅鲜、甜味氨基酸(谷氨酸和丙氨酸)的 TAV 值大于 1,说明其对酱牛肉滋味贡献较大,且定量卤制酱牛肉的 TAV 值高于老汤卤制酱牛肉,说明其鲜味强度相对于老汤卤制更好。此外,两种卤制方式酱牛肉的鲜、甜味氨基酸的 TAV 均大于苦味氨基酸的 TAV 值总和,则进一步表明鲜、甜味氨基酸占比高可能是酱牛肉呈较强鲜味的原因之一。李娟^[47]研究发现酱卤牛肉中主要的游离氨基酸是鲜味氨基酸(天冬氨酸和谷氨酸),且其 TAV 值(天冬氨酸为 0.17 和谷氨酸为 0.11)较高,同样,在本研究中,也发现这两类鲜味氨基酸含量在定量卤制的酱牛肉中含量最高,且 TAV 值(1.89)更高,约为酱卤牛肉的 5.7 倍。这说明两种氨基酸对酱卤牛肉的滋味有直接贡献,是定量卤制酱牛肉呈鲜的重要原因。

2.8 呈味核苷酸与游离氨基酸的协同作用

味精当量(EUC)用来衡量呈味核苷酸与游离氨基酸的协同作用,味精的鲜味阈值为 30 mg/100 mg^[48]。根据 1.2.9 中计算 EUC 的公式,可计算出老汤卤制酱牛肉和定量卤制酱牛肉中的味精当量,其中,老汤卤制酱牛肉的 EUC 为 2.02 g MSG/100 g,这表示每克酱牛肉中所具有的鲜味强度相当于 2.02 g 味精所产生的鲜度;定量卤制酱牛肉的 EUC 为 3.45 g MSG/100 g。比较两种卤制方式酱牛肉的 EUC 值可以看出,定量卤制是传统卤制酱牛肉的 1.71 倍,说明定量卤制酱牛肉具有更强的鲜味强度。唐春红^[49]研究了定量卤制鸡腿肉加工过程中的滋味物质的变化,并与传统卤制相比较,结果表明,定量卤制加工过程中滋味物质中游离氨基酸、呈味核苷酸的含量都呈先增高后降低的趋势,但定量卤制产品中的含量均高于传统卤制,通过鲜味氨基酸和呈味核苷酸的协同作用,定量卤制产品中的味精当量值为 2.63 g MSG/100 g,大于传统卤制中的 1.24 g MSG/100 g。这与本研究的结果类似,说明定量卤制能提高肉制品滋味物质的溶出。

3 结论

本研究发现定量卤制酱牛肉的感官评分、色泽、剪切力、质构、水分分布、呈味核苷酸以及氨基酸均比老汤卤制酱牛肉好。由于定量卤制酱牛肉加工时采用了注射腌制技术,不仅可以缩短腌制的周期、降低腌制成本、加快腌制液的渗透、防止肉制品的腐败,还提高了肉制品的嫩度以及持水性,同时,滚揉使肌纤维发生断裂,肉质变得松散,促进了腌制液

的渗入,使得酱牛肉的水分分布更加均匀,光的反射能力增强,亮度值 L^* 值降低, a^* 值增大。在定量卤制加工过程中,涉及到了高温烤制,使酱牛肉中的蛋白质发生降解,产生较高的游离氨基酸和核苷酸,使其呈现较高的鲜味强度。由此可见,定量卤制明显改善了酱牛肉食用品质、增强风味丰富度和柔和度。这就验证了定量卤制技术对产品品质的保持和提升,这对酱卤肉制品产业升级具有重要推动作用。

参考文献

- [1] 强萌萌,李磊,李少颢. 酱卤肉定量卤制工艺研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(11): 105-108. [QIANG Mengmeng, LI Lei, LI Shaojin. Study on quantitative marinating technology of marinated meat in sauce[J]. Chinese Condiments, 2021, 46(11): 105-108.]
- [2] 慕艳梅. 酱牛肉调味汁的研制及应用[J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 132-135. [QI Yanmei. Development and application of sauced beef sauce[J]. Chinese Condiments, 2019, 44(1): 132-135.]
- [3] 吴倩蓉,朱宁,周慧敏,等. 加工工艺对酱牛肉中蛋白质降解及风味物质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(12): 76-84. [WU Qianrong, ZHU Ning, ZHOU Huimin, et al. Effect of processing technology on protein degradation and flavor substances in soy beef[J]. Food Science, 2021, 42(12): 76-84.]
- [4] 李侠. 传统肉制品定量卤制加工技术研究取得突破[J]. 基层农技推广, 2016, 4(1): 108. [LI X. Research on quantitative halogen processing technology of traditional meat products has made a breakthrough[J]. Basic Agricultural Technology Extension, 2016, 4(1): 108.]
- [5] 陈旭华. 酱卤肉制品定量卤制工艺研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014. [CHEN X H. Study on quantitative halogenation technology of salted meat products [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.]
- [6] 温莉娟. 定量卤制牛心加工工艺及货架期的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018. [WEN Lijuan. Study on processing technology and shelf life of quantitative marinated beef heart [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018.]
- [7] 孙圳,韩东,张春晖,等. 定量卤制鸡肉挥发性风味物质剖面分析[J]. 中国农业科学, 2016, 49(15): 3030-3045. [SUN C, HAN D, ZHANG C H, et al. Profile analysis of the volatile flavor compounds of quantitative marinated chicken during processing[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(7): 1426-1433.]
- [8] 黄艳梅. 酱卤肉制品的工艺改进及综合保鲜技术的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016. [HUANG Y M. Study on technology improvement and comprehensive preservation technology of salted meat products in sauce [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016.]
- [9] 李银,孙红梅,张春晖,等. 牛肉解冻过程中蛋白质氧化效应分析[J]. 中国农业科学, 2013, 46(7): 1426-1433. [LI Yin, SUN Hongmei, ZHANG Chunhui, et al. Analysis of protein oxidation during beef thawing[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(7): 1426-1433.]
- [10] 徐吉祥,楚炎沛. 色差计在食品品质评价中的应用[J]. 现代面粉工业, 2010, 24(3): 43-45. [XU Jixiang, CHU Yanpei. Application of color difference meter in food quality evaluation[J]. Modern Flour Industry, 2010, 24(3): 43-45.]
- [11] 田欢,黄峰,李侠,等. 酱牛肉定量卤制工艺优化研究[D]. 宁夏: 宁夏大学, 2021. [TIAN Huan, HUANG Feng, LI Xia, et al. Study on optimization of quantitative halogenation process of soy beef [D]. Ningxia: Ningxia University, 2021.]
- [12] 王丽莎,王航,李侠,等. 不同部位猪肉肌纤维类型组成与品

- 质特性比较研究[J]. 肉类研究, 2020, 34(6): 1-7. [WANG L S, WANG H, LI X, et al. Comparative study on the composition and quality characteristics of pork muscle fiber from different parts[J]. Meat Research, 2020, 34(6): 1-7.]
- [13] 田欢, 黄峰, 李侠, 等. 冷却方式对酱牛肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(1): 53-58. [TIAN Huan, HUANG Feng, LI Xia, et al. Effect of cooling mode on quality of soy beef[J]. Meat Research, 2021, 35(1): 53-58.]
- [14] RIBEIRO W O, MARISTELA M O, MIRIAN D S, et al. Interaction between papain and transglutaminase enzymes on the textural softening of burgers[J]. Meat Science, 2020, 174: 108421.
- [15] WANG S Q, LIN R, CHENG S S, et al. Water dynamics changes and protein denaturation in surf clam evaluated by two-dimensional LF-NMR T1-T2 relaxation technique during heating process[J]. Food Chemistry, 2020, 320: 126622.
- [16] 谢小雷, 李侠, 张春晖, 等. 不同干燥方式对牛肉干物性特性的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(增刊 1): 346-354, 380. [XIE Xiaolei, LI Xia, ZHANG Chunhui, et al. Effects of different drying methods on physical properties of beef jerky[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(S1): 346-354, 380.]
- [17] ROSEIRO L C, SANTOS C, SOL M, et al. Proteolysis in painho de portalegre dry fermented sausage in relation to ripening time and salt content[J]. Meat Science, 2008, 79(4): 784-94.
- [18] LI X, AMADOU L, ZHOU G Y, et al. Flavor components comparison between the neck meat of donkey, swine, bovine, and sheep[J]. Food Science of Animal Resources, 2020, 40(4): 527-540.
- [19] 韩粉丽, 韩飞, 李爱科, 等. AccQ-Tag 柱前衍生反相高效液相色谱法测定谷物及食糜中氨基酸含量[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 165-170. [HAN Fenli, HAN Fei, LI Aike, et al. Determination of amino acids in cereal and digesta by AccQ-Tag pre-column derivations and reversed-phase HPLC[J]. Food Science, 2018, 39(4): 165-170.]
- [20] 顾伟钢, 张进杰, 辛梅, 等. 柱前衍生-反相高效液相色谱法测定不同方法煮制的猪肉及其汤汁中的游离氨基酸[J]. 色谱, 2011, 29(10): 1041-1045. [GU Weigang, ZHANG Jinjie, XIN Mei, et al. Determination of free amino acids in pork prepared by different methods by pre-column derivation-reversed-phase high performance liquid chromatography[J]. Chinese Journal of Chromatography, 2011, 29(10): 1041-1045.]
- [21] CHEN D W, ZHANG M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1205.
- [22] ZHOU F, WANG X C. Effect of heat extraction on water-soluble taste substances in processing products of chilled large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(12): 3863-3872.
- [23] ISHAMRI I, HWANG Y H, JOO S T. Low-temperature and long-time heating regimes on non-volatile compound and taste traits of beef assessed by the electronic tongue system[J]. Food Chemistry, 2020, 320: 126656.
- [24] ISHAMRI I, HWANG Y H, JOO S T. Identification of umami taste in sous-vide beef by chemical analyses, equivalent umami concentration, and electronic tongue system[J]. Foods, 2020, 9(3): 251.
- [25] 彭子宁, 郑昌江. 酱卤肉制品品质与风味研究进展[J]. 现代食品, 2020(6): 30-33. [PENG Zining, ZHENG Changjiang. Research progress on quality and flavor of marinated meat products[J]. Modern Food, 2020(6): 30-33.]
- [26] 潘成磊. 卤烤鸭贮藏特性及品质改良的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020. [PAN Chenglei. Study on storage characteristics and quality improvement of roasted duck [D]. Chongqing: Southwest University, 2020.]
- [27] HULLBERG A, JOHANSSON L, LUNDSTRÖM K. Effect of tumbling and RN genotype on sensory perception of cured-smoked pork loin[J]. Meat Science, 2005, 69(4): 721-732.
- [28] 杨秋丽, 杨阳, 周昌瑜, 等. 真空滚揉时间对风干过程中腊板鹅理化品质的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(6): 1149-1156. [YANG Qiuli, YANG Yang, ZHOU Changyu, et al. Effect of vacuum rolling time on physicochemical quality of wax-plate geese during air drying[J]. Chinese Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, 30(6): 1149-1156.]
- [29] 杨永华. 定量卤制牛肉干制备工艺配方优化及品质特性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020. [YANG Yonghua. Quantitative marinating beef jerky formula optimization and quality characteristics research of preparation technology [D]. Changchun: Jilin University, 2020.]
- [30] 李侠, 钱书意, 杨方威, 等. 低压静电场下不同隔距冻结-解冻对牛肉品质的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(8): 278-285. [LI Xia, QIAN Shuyi, YANG Fangwei, et al. Effect of freezing and thawing at different intervals on beef quality under low voltage electrostatic field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(8): 278-285.]
- [31] KIM Y H, KEETON J T, SMITH S B, et al. Evaluation of antioxidant capacity and colour stability of calcium lactate enhancement on fresh beef under highly oxidising conditions[J]. Food Chemistry, 2008, 115(1): 272-278.
- [32] 王兆明. 兔肉滚揉腌制工艺及品质特性变化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016. [WANG Zhaoming. Study on rolling curing process and quality characteristics change of rabbit meat [D]. Chongqing: Southwest University, 2016.]
- [33] CHEN L, CHAI Y W, LUO J, et al. Apoptotic changes and myofibrils degradation in post-mortem chicken muscles by ultrasonic processing[J]. LWT, 2021, 142: 110985.
- [34] 王兆明, 贺稚非, 李洪军, 等. 真空滚揉腌制对伊拉兔肉品质特性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(17): 54-58. [WANG Zhaoming, HE Zhifei, LI Hongjun, et al. Effect of vacuum rolling curing on quality and characteristics of Ila rabbit meat[J]. Food Science, 2015, 36(17): 54-58.]
- [35] 胡鹏, 汝医, 王维婷, 等. 滚揉对成熟过程中羊肉肌原纤维蛋白降解及氧化程度的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018(24): 53-56. [HU P, RU Y, WANG W T, et al. Effects of rolling on the degradation and oxidation degree of mutton myofibrillar protein[J]. Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary Science, 2018(24): 53-56.]
- [36] 郎玉苗, 谢鹏, 李敬, 等. 熟制温度及切割方式对牛排食用品质的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 317-325. [LANG Y M, XIE P, LI J, et al. Effects of cooking temperature and cutting method on the quality of steaks[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(1): 317-325.]
- [37] HOU F N, MU T H, MA M M, et al. Optimization of processing technology using response surface methodology and physicochemical properties of roasted sweet potato[J]. Food Chemistry, 2018, 278: 136-143.
- [38] DEFREITAS Z, SEBRANEK J G, OLSON D G, et al. Carrageenan effects on salt-soluble meat proteins in model systems[J]. Journal of Food Science, 1997, 38(62): 539-543.

- [39] CHOULJENKO A, CHOTIKO A, BONILLA F, et al. Effects of vacuum tumbling with chitosan nanoparticles on the quality characteristics of cryogenically frozen shrimp[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 75: 114–123.
- [40] 韩玲. 低温酱卤牦牛肉生产工艺研究[J]. *食品科学*, 2003(3): 89–92. [HAN L. Study on the production technology of low temperature marinated yak meat[J]. *Food Science*, 2003(3): 89–92.]
- [41] AURSAND I G, ERIKSON U, VELIYULIN E. Water properties and salt uptake in atlantic salmon fillets as affected by ante-mortem stress, rigor mortis, and brine salting: A low-field ^1H NMR and $^1\text{H}/^{23}\text{Na}$ MRI study[J]. *Food Chemistry*, 2009, 120(2): 482–489.
- [42] DOLATA W, PIOTROWSKA E, WAJDZIK J, et al. The use of the MRI technique in the evaluation of water distribution in tumbled porcine muscle[J]. *Meat Science*, 2003, 67(1): 25–31.
- [43] DAUDIN J D, SHAREDEH D, FAVIER R, et al. Design of a new laboratory tumbling simulator for chunked meat: Analysis, reproduction and measurement of mechanical treatment[J]. *Journal of Food Engineering*, 2016, 170: 83–91.
- [44] ZHENG J Y, TAO N P, GONG J, et al. Comparison of non-volatile taste-active compounds between the cooked meats of pre- and post-spawning Yangtze *Coilia ectenes*[J]. *Food Science and Technology*, 2015, 81(3): 559–568.
- [45] 孙红梅. 鸡骨素酶解液美拉德反应风味变化及安全性评价[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014. [SUN Hongmei. Maillard reaction flavor change and safety evaluation of chicken ostein hydrolysate [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.]
- [46] 王天泽, 谭佳, 杜文斌, 等. 北京油鸡鸡汤滋味物质分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(8): 159–164. [WANG T Z, TAN J, DU W B, et al. Analysis of flavor material of Beijing Youji chicken soup[J]. *Food Science*, 2020, 41(8): 159–164.]
- [47] 李娟. 我国不同地区酱卤牛肉风味物质剖面分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018. Flavor profiling of marinated beef collected from different regions of China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.
- [48] ZHANG Jingcheng, Zhang Jincheng, LI Liang, et al. Identification and virtual screening of novel umami peptides from chicken soup by molecular docking[J]. *Food Chemistry*, 2023, 404: 134–414.
- [49] 唐春红, 李海, 李侠, 等. 反复卤煮对老汤品质的影响研究[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(5): 187–192. [TANG Chunhong, LI Hai, LI Xia, et al. Study on the effect of repeated brine cooking on the quality of old soup[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(5): 187–192.]