

陈乐, 李建英, 刘成江, 等. 西红柿炖牛腩菜肴的品质评价 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(20): 300–309. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120177

CHEN Le, LI Jianying, LIU Chengjiang, et al. Quality Evaluation of Stewed Beef Brisket with Tomato[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(20): 300–309. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120177

· 分析检测 ·

西红柿炖牛腩菜肴的品质评价

陈 乐^{1,2}, 李建英^{1,2}, 刘成江³, 韩 东², 黄 峰^{2,*}, 张春晖^{1,2,*}

(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. 新疆农垦科学院, 新疆石河子 832000)

摘要:为探究市售不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的品质现状, 选取 5 个品牌的西红柿炖牛腩菜肴产品, 测定色泽、质构、剪切力、电子鼻、电子舌、感官评价、硫代巴比妥酸反应物 (Thiobarbituric acid reactive substances, TBARS) 值、巯基含量、羰基含量等指标, 从感官评价、客观评价、脂肪蛋白氧化等方面研究品质差异的原因。结果表明, 5 种品牌的西红柿炖牛腩菜肴感官存在明显差异, 其中样品 HK 的感官得分最高, 样品 FY 的最低, 且产品品质和价格存在明显相关性, 总体可接受得分最高为 79.15, 产品售价 (55.28 元/500 g), 市售西红柿炖牛腩菜肴基本是优质优价。不同品牌西红柿炖牛腩菜肴中西红柿的外形均破坏严重, 牛肉的 L^* 值和 a^* 值和 b^* 值差异明显, 其中, L^* 值和 b^* 值的变化率较大。质构指标中的硬度、粘聚性、咀嚼性均是样品 NF 和样品 FY 间差异最大, 而弹性是样品 HK 和样品 FY 间差异最大。颜色、质构等客观指标变化与感官指标间的相关性并不显著, 可能由于荤素搭配使其品质特征整体呈现更为复杂。基于电子鼻和电子舌结果的主成分分析 (Principal components analysis, PCA) 可明显区分 5 种市售品牌的西红柿炖牛腩菜肴的滋味和气味, 可有效用于西红柿炖牛腩菜肴风味品质的评价与研究。不同产品中牛肉的 pH、TBARS 值、巯基含量和羰基含量也差异明显, 且与颜色、质构、风味等明显相关。不同产品牛肉品质的差异除原辅料不同外, 蛋白质和脂肪的氧化也是一个重要影响因素。这既可为西红柿炖牛腩产品加工工艺优化、提升产品品质提供指导, 也可为提升西红柿炖牛腩菜肴工业化水平和品质保真提供数据支撑。

关键词:西红柿炖牛腩, 品质评价, 电子鼻, 电子舌, 主客观评价

中图分类号: TS251.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)20-0300-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120177

本文网刊:



Quality Evaluation of Stewed Beef Brisket with Tomato

CHEN Le^{1,2}, LI Jianying^{1,2}, LIU Chengjiang³, HAN Dong², HUANG Feng^{2,*}, ZHANG Chunhui^{1,2,*}

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

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

3. Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi 832000, China)

Abstract: In order to explore the quality status of tomato stewed beef brisket dishes of different brands on the market, five brands of tomato stewed beef brisket dishes were selected to determine the color, texture, shear force, electronic nose, electronic tongue, sensory evaluation, thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value, sulfhydryl content, carbonyl content and other indicators, and study the causes of quality differences from sensory evaluation, objective evaluation and fatty protein oxidation. The results showed that there were significant differences in the senses of the five brands of tomato stewed beef brisket dishes, among which the sensory score of sample HK was the highest and that of sample FY was the lowest, and there was a significant correlation between product quality and price. The overall acceptable score was 79.15, the product price was (55.28 yuan/500 g), and the commercially available tomato stewed beef brisket dishes were basically

收稿日期: 2021-12-20

基金项目: 新疆生产建设兵团重点领域科技攻关项目 (2020AB012); 华都中式菜肴复热品质提升技术开发。

作者简介: 陈乐 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉品科学, E-mail: chenlele1117@126.com。

* 通信作者: 黄峰 (1982-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 肉品科学, E-mail: fhuang226@163.com。

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

high quality and good price. The appearance of tomatoes in different brands of tomato stewed beef brisket dishes was seriously damaged, and the L^* value, a^* value and b^* value of beef were significantly different, among which the change rate of L^* value and b^* value was large. The hardness, cohesion and chewiness in the texture index were the biggest difference between sample NF and sample FY, while the elasticity was the biggest difference between sample HK and sample FY. The correlation between the changes of objective indexes such as color and texture and sensory indexes was not significant. The overall presentation of quality characteristics might be more complex due to the combination of meat and vegetables. Principal components analysis (PCA) based on the results of electronic nose and electronic tongue could clearly distinguish the taste and smell of five commercial brands of tomato stewed sirloin dishes, and could be effectively used to evaluate and study the flavor quality of tomato stewed sirloin dishes. The pH, TBARS value, sulfhydryl content and carbonyl content of beef in different products were also significantly different, and were significantly related to color, texture and flavor. In addition to different raw and auxiliary materials, the oxidation of protein and fat was also an important factor affecting the quality of beef from different products. This would not only provide guidance for the optimization of processing technology and improvement of product quality of tomato stewed beef brisket, but also provide data support for improving the industrialization level and quality fidelity of tomato stewed beef brisket dishes.

Key words: stewed beef brisket with tomato; quality evaluation; electronic nose; electronic tongue; subjective and objective evaluation

随着我国居民生活水平提高,中式肉类菜肴在餐桌中的比例大幅提高,已从过去的“配角”转变为“主角”,成为我国“稳增长、调结构、惠民生”的支柱性产业之一。据不完全统计,中式菜肴种类约 18000 余种^[1],其中肉类菜肴占比 60% 以上。近年来,随着食品科学技术进步和市场对“方便、快捷、营养、风味”产品需求的上升,加速了肉类菜肴工业化进程,工业化的西红柿炖牛腩、狮子头、鱼香肉丝、土豆烧牛肉等特色大众化菜肴在市场上不断推陈出新,但对这些工业化产品的品质缺少系统科学的评价解析,不利于未来中式肉类菜肴产品品质和工业化水平的提升。

目前关于中式肉类菜肴的相关科学研究较少,大多数集中在单独的牛肉品质变化研究,如王清波^[2]对红烧牛腩的嫩化工艺、杀菌方法、冷藏品质及微波复热条件进行研究;赵越^[3]通过对红烧肉产品加工过程中的品质变化规律和延长货架期的措施进行研究,并制定卫生质量标准;孙红霞^[4]研究牛肉炖煮过程中的品质变化及不同部位牛肉的影响。西红柿炖牛腩是我国典型的大众化肉类菜肴,以西红柿和牛肉为原料,经过炖煮、炒制而成,既包含了牛肉营养丰富、肉质鲜美,又揉进了西红柿的酸甜味道,深受消费者青睐,但有关西红柿炖牛腩品质的评价研究鲜见报道,这既不利于产品的标准化加工,也不利于加工工艺的优化和产品品质进一步提升。因此,本文以西红柿炖牛腩菜肴为研究对象,因所有品牌的西红柿炖牛腩样品中的西红柿外形破坏严重,均呈现泥状,除风味及 pH 相关指标外,均采用牛肉进行检测。通过比较测定 5 种不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的色泽、质构、剪切力、TBARS 值、巯基含量、羰基含量等基本理化特征,以及感官评价、气味、滋味等食用品质的变化,分析品质形成及差异原因,为西红柿炖牛腩菜肴产品品质和工业化水平提升提供理论依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

西红柿炖牛腩样品 购于电商平台旗舰店;DTNB 美国 sigma-aldrich 有限公司;BCA 试剂盒 北京中科万邦生物科技有限公司;十二烷基硫酸钠、硫代巴比妥酸、三氯乙酸、三氯甲烷、盐酸 国药集团化学试剂有限公司;所用的试剂 均为分析纯。

CR-400 色差仪 日本柯尼卡美能达公司;TA-XT2i 质构仪 英国 Stable Micro Systems 公司;Spectra Max 340PC384 酶标仪 美国 MBD 公司;电子分析天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;HHS 型电热恒温水浴锅 上海博讯实业有限公司;RW20 数显形顶置式均质机 德国艾卡仪器设备有限公司;PEN3 便携式电子鼻 德国 Airsense 公司;ASTREE 电子舌 法国 Alpha MOS 公司;羰基快速检测试剂盒 索莱宝生物科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 产品市场调查方法及样品处理 主要通过三种方法进行调查:网上搜索销售西红柿炖牛腩产品的店家;电话咨询产品详细信息;走访北京大型超市,如沃尔玛、华联、物美超市等。然后将收集的 10 种西红柿炖牛腩的产品信息进行分析。根据所得信息选择购买有代表性的 5 家公司的西红柿炖牛腩主流产品,样品按公司缩写 YH、FC、HK、NF、FY 进行编号,并且将产品按推荐的水浴方式复热。

1.2.2 感官评定 参照 GB 2726-2016《熟肉制品》^[5]和 T/WFFA 002-2021《肉类菜肴》^[6]制作西红柿炖牛腩感官评定标准,邀请 30 名具有丰富菜肴感官评定经历的人员,将复热后的五种菜肴采用双盲法随机排序并编号,进行感官评定。感官评价标准见表 1,结果采用直尺度量法进行统计^[7]。

1.2.3 色泽的测定 参考胡斐斐等^[8]的方法并稍作修改。在测定前对色差仪校准,擦干净牛腩表面汤

表 1 感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

评分项目	评分内容	分值
色泽	色泽很差,均匀性差,不能引发食欲	1~5
	色泽较昏暗,均匀一致性差	6~10
	色泽较好,基本均匀一致,较能引发食欲	11~15
	色泽良好,均匀一致,能够引发食欲	16~20
滋味	没有肉香味,滋味差,咸淡不适或有异味	1~5
	肉香味较差,滋味较差,咸淡略有欠缺	6~10
	肉香味比较浓郁,滋味较好,咸淡适中	11~15
	肉香味浓郁,咸淡适中,滋味诱人	16~20
气味	几乎无香气,有酸败或哈喇味	1~5
	香味过于单薄但无其他异味	6~10
	香味较淡,气味比较协调,无不良气味	11~15
	具有产品特有的香气,浓郁醇正	16~20
组织形态	外形较差,大小不一	1~5
	外形一般,大小不均匀	6~10
	外形较整齐,大小较为均匀	11~15
	外形整齐美观,大小均匀	16~20
嫩度	过软或过硬,无弹性,咀嚼性差	1~5
	较软或较硬,咀嚼性较差	6~10
	软硬度较好,有一定的咀嚼性	11~15
	软硬适中,有弹性咀嚼性良好	16~20
总体可接受度	不可接受	1~25
	难以接受	26~50
	勉强接受	51~75
	可以接受	76~100

汁,测定肉样中心的 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值。 L^* 值表示亮度, L^* 值降低表示色泽由亮到暗偏移; a^* 值表示红度, a^* 值降低表示色泽由红到绿偏移; b^* 值表示黄度, b^* 值降低表示色泽由黄到蓝偏移^[9]。

1.2.4 质构分析 采用 TA-XT plus 型物性分析仪对牛腩样品进行质地剖面分析(Texture profile analysis, TPA)。取牛腩瘦肉部分作为西红柿炖牛腩菜肴质构测定的特征部位。选用 P36 探头,在室温下进行 TPA 测试,测前速度 2.0 mm/s,测试速度 1.0 mm/s,测后速度 2.0 mm/s,触发力 5 g,压缩比例 30%^[10]。选择硬度、弹性、内聚性和咀嚼性作为牛腩样品瘦肉部分的质构特性参数。

1.2.5 剪切力的测定 参考王静帆等^[11]的方法并稍作修改。将肉块切成 1 cm×1 cm×2 cm 的小块测定。测定条件:探头型号为 BSW 探头,测前速度为 2.0 mm/s,测中速度为 1.0 mm/s,测试后速度为 2.0 mm/s,测试距离为 35 mm,初始激发力为 10 g。

1.2.6 pH 的测定 依据 GB 5009.237-2016《食品安全标准食品 pH 的测定》的方法检测^[12]。

1.2.7 电子鼻的测定 电子鼻由注气系统、信号采集器、传感器阵列、分析软件四部分组成^[13]。称取 2 g 切碎混匀的西红柿炖牛腩样品,密封待测。进气量 600 mL/min,室温下通过顶空采样进行检测,传感器清洗时间 180 s,测定时间 60 s。电子鼻传感器阵列及其性能描述如表 2 所示。

表 2 电子鼻传感器阵列及其性能

Table 2 Electronic nose sensor array and its performance

编号	传感器名称	性能描述
R1	W1C	对芳香类化合物灵敏
R2	W5S	对氮氧类化合物灵敏
R3	W3C	对氨类和芳香类化合物灵敏
R4	W6S	对氢化物灵敏
R5	W5C	对短链烷烃和芳香化合物灵敏
R6	W1S	对甲基类化合物灵敏
R7	W1W	对醇类和酯酮类化合物灵敏
R8	W2S	对无机硫化物灵敏
R9	W2W	对芳香成分和有机硫化物灵敏
R10	W3S	对长链烷烃灵敏

1.2.8 电子舌的测定 电子舌检测系统由 AHS(酸味)、CTS(咸味)、ANS(甜味)、NMS(鲜味)、SCS(苦味)、PKS(通用)和 CPS(通用)7 根味觉传感器^[14]组成的交叉敏感电位传感器阵列。参照武苏苏^[15]的方法,取切碎混匀的西红柿炖牛腩样品 15 g,置于 250 mL 三角瓶中,加入超纯水 150 mL,在 50 ℃ 下浸泡 20 min,在 7000 r/min 条件下离心 20 min,过滤,再过 0.45 μm 滤膜。采集周期为 1 次/s,搅拌速率 3 r/s。室温下采集数据^[16]。

1.2.9 TBARS 的测定 参考 Xia^[17] 等的方法并稍作修改。取 2 g 切碎混匀的西红柿炖牛腩肉样,高速均质(13600 r/min, 30 s)后加入 3 mL 1% 硫代巴比妥酸,再加入 17 mL 2.5% 三氯乙酸,将混合物煮沸 30 min,冷水冷却,过滤。取样品溶液与三氯甲烷等体积混合并涡旋,室温下离心(3000 ×g, 10 min),在 532 nm 处测吸光值。TBARS 值计算如下:

$$\text{TBARS 含量}(\text{mg MDA} \cdot \text{kg}^{-1}) = \frac{A_{532}}{M_s} \times 9.48$$

式中: A_{532} : 样品溶液在 532 nm 处的吸光值; M_s : 肉样的重量(g); 9.48 由硫代巴比妥酸反应产物的稀释因子和摩尔消光系数(152000 L·mol⁻¹·cm⁻¹)得出的常数。

1.2.10 巯基含量的测定 参考 Bao 等^[18]的方法并稍作修改。将 1 g 切碎混匀的西红柿炖牛腩样品和 25 mL 含 5% SDS 的 0.1 mol/L Tris-HCl(pH8.0)混合并均质(13600 r/min, 30 s),将此混合物在 80 ℃ 下水浴 30 min,冷水冷却,过滤。根据 BCA 试剂盒制备标准曲线,测定 562 nm 处的吸光值,计算得出滤液蛋白浓度。取过滤后的溶液 0.5 mL,加入 2 mL 0.1 mol/L Tris-HCl(pH8.0)和含 10 mmol/L DTNB 的 0.1 mol/L Tris-HCl(pH8.0) 0.5 mL,黑暗中反应 30 min 后,在 412 nm 处测定吸光值。巯基含量计算如下:

$$\text{巯基含量}(\text{nmol/mg}) = \frac{(A_{412} - A_0) \times 10^6 \times 6}{13600 \times 1 \times c}$$

式中: A_{412} : 样品溶液在 412 nm 处的吸光值; A_0 : 超纯水在 412 nm 处的吸光值; 13600: 摩尔消光

系数($\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$);C: 样液蛋白浓度($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)。

1.2.11 羰基值的测定 采用羰基快速试剂盒进行测定。

1.3 数据处理

指标测定均为 6 次重复测定的结果。采用 Microsoft Excel 2016 软件计算平均值和标准差, 结果表示为“平均值±标准差”, 用 Origin 2019 软件绘制雷达图, 采用 XLSTAT Premium 软件进行主成分分析, 并用 SPSS 26.0 统计分析软件进行差异显著性分析($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的基本信息分析

为了解西红柿炖牛腩产品的目前市场情况, 为后期西红柿炖牛腩产品的工业化加工提供数据支撑。现选择市场上 10 种不同品牌的西红柿炖牛腩菜肴进行调查分析, 样品的销量、价格、净含量、包装及储存方式等市售信息见表 3。由西红柿炖牛腩产品销售价格结果可知, 不同品牌的西红柿炖牛腩产品价格波动较大, 每 500 g 产品的最高价是最低价的 4.6 倍, 这可能与不同厂家产品的牛肉含量不同有关, 也可能与产品的品牌价值直接相关。由销量调查可知, 不同品牌西红柿炖牛腩产品的月销量也差距甚远, 最高销量与最低销量相差 5000 件左右。从包装方式看, 盒装产品的数量略多于传统的袋装。盒装一般采用塑料盒或铝箔盒盛放产品, 铝箔作为包装的材料, 既能遮光又能除氧, 安全保障更高一些, 使用也更加方便。目前, 越来越多的厂家选择用盒装包装, 既美观又方便、实用。

由贮藏条件、保质期和固形物含量可知, 5 种西红柿炖牛腩产品的贮藏条件为 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, 另外 5 种为常温保存, 这说明随着我国冷链的完善, 相比以前越来越多厂家愿意采用冷冻的方式贮藏西红柿炖牛腩产品。产品保质期为 6~18 个月不等, 其中 5 家保质期为 9 个月, 4 家为 12 个月, 仅有 1 家为 18 个月, 这说明越来越多的消费者并不喜欢过长的保质期, 对产品品质的要求逐渐提高, 因为过长的保质期必然带来

产品品质下降。10 种产品中固形物含量主要集中在 40%~60% 之间, 这是目前市场上普遍的也是消费者较能接受的比例。

为进一步对西红柿炖牛腩产品进行系统的主客观评价分析, 根据现有信息比较, 主要考虑产品的月销量, 月销量高代表消费者对该产品接受度和喜爱度较高, 具有普遍代表性和市场接受度。最终选择购买 YH、FC、HK、NF、FY 公司的西红柿炖牛腩菜肴作为研究对象, 并按公司缩写依次编号。

2.2 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的感官评价解析

不同品牌西红柿炖牛腩产品的感官评价采用直尺度量法, 其优点是得分更准确, 结果更可靠, 样品间的差异较明显。不同品牌样品中牛肉的感官评分结果如图 1 所示。样品 HK 的总体可接受度得分最高为 79.15, 显著高于其它样品($P<0.05$), 其次是样品 FC(72.10)、样品 YH(70.15)、样品 NF(64.39)和样品 FY(56.04)。从色泽、组织状态、滋味、气味、嫩度等方面来看, 样品 HK 也均明显高于其它组, 说明样品 HK 的感官结果相比于其他产品最好, 样品 FC 与样品 YH 的感官评分较接近, 样品 NF 的感官结果相对较差, 这是因为当加热温度过高或时间过长时, 会使牛肉中的肌原纤维蛋白部分发生聚集、缩短

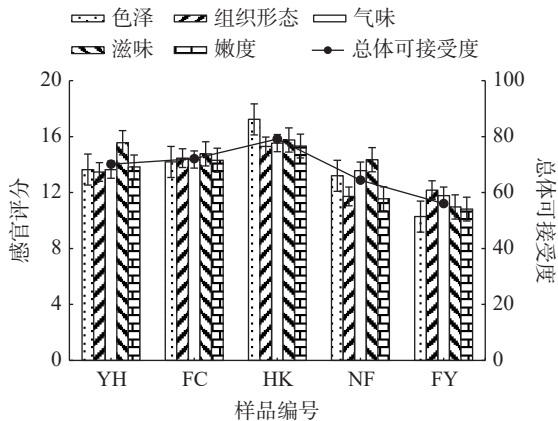


图 1 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的感官评价得分
Fig.1 Sensory evaluation scores of different brands of tomato stewed beef brisket dishes

表 3 十种不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的产品明细

Table 3 Product details of ten different brands of tomato stewed beef brisket dishes

公司信息	月销量(件)	净含量(g)	固形物含量	价格(500 g/元)	包装方式	贮藏条件	保质期(月)
SHL	66	260	≥40%	48.08	袋装	-18 ℃	9
FC	300+	580	≥40%	56.03	盒装	-18 ℃	12
YH	2000+	365	≥50%	46.86	盒装	常温	9
NLS	100+	350	≥50%	53.63	盒装	常温	9
TH	12	455	≥53%	87.50	袋装	-18 ℃	12
NF	5000+	395	≥55%	19.09	盒装	常温	9
FY	300+	300	≥67%	21.00	盒装	-18 ℃	12
HK	500+	220	≥50%	55.28	袋装	-18 ℃	18
CH	100+	250	≥38%	47.81	袋装	常温	12
MW	200+	360	≥60%	45.32	盒装	常温	9

注: 数据统计时间为2021年6月。

甚至变性,使得牛肉的持水力降低,而肉制品的含水量也与肉制品的多汁性密切相关,含水量较低的肉类菜肴在消费者咀嚼时会产生“干燥感”,降低菜肴的口感与品质^[19];样品 FY 的色泽、气味、滋味、嫩度和总体可接受度最差,可能是由于样品表面失水和表皮收缩,外加加热时过熟风味增强,影响产品的风味和食用品质,严重影响了产品的感官评分。把感官评价结果与前文调查的产品价格进行对比分析可以得出,样品 NF 和 FY 的感官结果相对较差,同时单位重量产品的价格也最低,说明市售产品在一定价格范围内可以做到优质优价。

2.3 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴品质的客观评价分析

2.3.1 不同产品色泽差异分析

色泽是评价肉类菜肴品质的重要指标之一,也是消费者首先感受到的品质特征,直接影响消费者的购买意愿^[20],色泽红亮的西红柿炖牛腩产品会让消费者认定产品的新鲜度。西红柿炖牛腩产品的颜色与肉本身的颜色、加工工艺、内部成分的变化以及调味料中色素的变化等有关,受多种综合因素的影响^[21]。不同品牌西红柿炖牛腩菜肴中牛肉的色泽如表 4 所示, L^* 值、 a^* 值和 b^* 值差异显著($P<0.05$), L^* 值变化范围(30.25~50.12), a^* 值变化范围(11.41~15.92), b^* 值变化范围(13.64~25.25),其中 L^* 值和 b^* 值的变化率较大,因为在贮藏过程中,肉中的脂肪发生氧化反应,脂肪的氧化会促进肌红蛋白的氧化,也可能是样品所用的牛肉部位不同,从而使得肉的色泽发生变化^[22-23]。有研究表明,在一定范围内, L^* 代表亮度,其值越大样品颜色亮度越明显; a^* 代表红度,其值越大说明样品红色越鲜艳;而 b^* 代表黄度, b^* 值越大,肉色越黄^[24]。本研究中,样品 FY 的 L^* 值和 b^* 值最大,样品感官评价的色泽也最不受欢迎,而色泽最受消费者欢迎的样品 HK,其 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值均居于中间,这说明西红柿炖牛腩产品中牛肉的 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值和消费者对颜色的喜爱程度并不是简单的线性相关。

2.3.2 不同产品质构特性差异分析

质构特性一直是评价牛肉品质的一个重要指标,除成熟过程中牛肉嫩度会发生不连续变化外,受热过程中嫩度也会发现

显著变化。剪切力值是评价牛肉嫩度的最基本、认可度最高的方法,剪切力小说明肉的嫩度高^[25]。不同品牌的西红柿炖牛腩样品中牛肉的剪切力值如表 4 所示,由表可知,剪切力之间差异显著($P<0.05$),其中样品 HK 的剪切力值最小,其嫩度最好,这与前文感官评价中的嫩度结果一致。除剪切力外,可以从 TPA 结果更多角度评价样品的质构特征。由表 4 的 TPA 结果可知,不同产品的牛肉质构变化差异显著($P<0.05$)。五种样品的硬度依次为 513.57、409.07、385.03、546.68、295.41 g,样品 NF 和样品 FY 的硬度值差别最大;从弹性上来看,五种样品的弹性均值分别为 72.29、71.13、74.63、73.77、58.60,样品 HK 和样品 FY 的弹性值差别最大;从粘聚性上看,五种样品的粘聚性均值分别为 322.44、268.22、294.61、480.20、157.66,样品 NF 和样品 FY 的粘聚性差别最大;从咀嚼性来看,五种样品的咀嚼性均值分别为 225.89、200.53、216.69、342.60、89.65,样品 NF 和样品 FY 的咀嚼性差别最大。这可能是因为不同产品使用的原辅料差异所造成,同时加热温度、传热速率、传热介质不同,对牛肉内部组织破坏程度不同,也会导致牛肉质构特性发生不同变化^[26]。潘治利等^[27]通过不同部位的牛肉对杏鲍菇牛肉菜肴品质的比较分析进行研究,推测不同部位的蛋白和脂肪在自加热的复热过程中发生了不同的变化导致品质出现了差异,与上述结果一致。

2.3.3 不同产品 pH 差异分析

pH 是评价西红柿炖牛腩菜肴口感和滋味较重要的指标。不同西红柿炖牛腩产品的 pH 变化如表 4 所示。由表可知,五种西红柿炖牛腩样品间的 pH 差异显著($P<0.05$)。样品 HK 的 pH 最高且最接近于 6,样品 FY 的 pH 最低,这可能与肉中不同蛋白质的变性而引起蛋白表面酸碱基团的动态变化有关^[28],同时产品中西红柿汁液进入牛肉也是 pH 变化的一个重要原因。

2.3.4 不同产品气味差异分析

电子鼻是由多个性能彼此独立的气敏传感器和适当的模式分类方法组成的具有识别单一与复杂气味能力的装置^[29]。通过电子鼻可以准确检测出西红柿炖牛腩方便菜肴的风

表 4 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的基本品质变化

Table 4 Basic quality changes of stewed beef brisket with tomatoes of different brands

	指标	YH	FC	HK	NF	FY
色泽	L^*	30.25±1.80 ^c	44.48±1.51 ^a	42.06±1.39 ^a	38.54±1.61 ^b	50.12±1.19 ^a
	a^*	11.41±1.28 ^c	11.80±1.42 ^{bc}	13.58±0.46 ^a	16.23±1.76 ^{ab}	15.92±1.12 ^{abc}
	b^*	13.64±1.69 ^d	22.19±1.46 ^b	20.12±1.30 ^c	24.98±1.97 ^a	25.25±1.18 ^a
质构	硬度(g)	513.57±96.56 ^{ab}	409.07±80.10 ^{bc}	385.03±75.76 ^c	546.68±76.57 ^a	295.41±75.34 ^c
	弹性(cm)	72.29±7.07 ^a	71.13±7.25 ^a	74.63±2.30 ^a	73.77±2.75 ^a	58.60±2.22 ^b
	粘聚性	322.44±79.11 ^b	268.22±68.17 ^{bc}	294.61±70.13 ^b	480.20±68.03 ^a	157.66±51.65 ^c
	咀嚼性(g·cm)	225.89±96.57 ^{ab}	200.53±85.74 ^{ab}	216.69±93.91 ^{ab}	342.60±66.15 ^a	89.65±35.42 ^b
	剪切力	3872.36±234.26 ^{bc}	5129.74±277.71 ^a	3545.47±196.28 ^c	4231.01±284.30 ^b	4024.26±283.31 ^b
	pH	5.28±0.06 ^b	4.81±0.06 ^d	5.52±0.05 ^a	4.93±0.06 ^c	4.43±0.02 ^e

注:同一行不同上标字母表示不同样品之间差异显著($P<0.05$)。

味变化。不同品牌的西红柿炖牛腩菜肴风味的 PCA 见图 2。由图 2 可知,第一主成分(F1)的贡献率是 52.35%,第二主成分(F2)的贡献率是 35.18%,累积贡献率为 87.53%,表明两个主成分分析能够代表样品的主要信息特征^[30],且不同西红柿炖牛腩样品的挥发性风味成分差异明显。进一步分析 PCA 图可知,电子鼻能够有效区分 5 种不同的西红柿炖牛腩样品,且区分度较好,呈现了一定的区域性;此外,样品 HK 和样品 NF 的西红柿炖牛腩样品有部分重叠,说明样品 HK 和样品 NF 的香气成分较为接近;样品 YH 和样品 FY 的西红柿炖牛腩样品相距较远,说明样品 YH 和样品 FY 的香气成分有一定差异,分析原因可能是不同品牌的原料肉、加工方式、香辛料等的不同,导致其风味有差异^[31]。

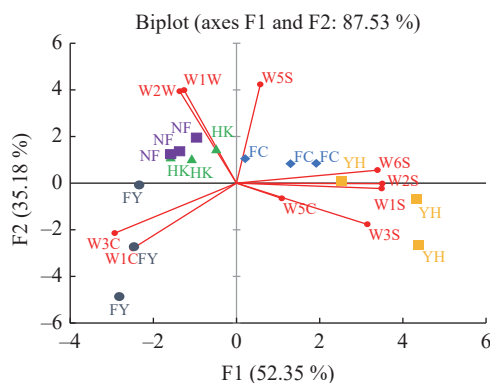


图 2 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的风味 PCA 分析
Fig.2 PCA analysis of flavor of different brands of tomato stewed beef brisket dishes

根据电子鼻传感器对不同样品香气成分的响应值不同,建立了如图 3 所示的柱形图。由图 3 可知,样品间的风味之间都存在显著差异($P<0.05$)。不同西红柿炖牛腩样品的挥发性风味差异主要表现在传感器 W5S(对氮氧类化合物很灵敏)、W1S(对甲基类化合物灵敏)、W1W(对无机硫化物灵敏)、W2S(对醇类和醛酮类化合物灵敏)、W2W(对芳香成分和有机硫化物灵敏)和 W3S(对长链烷烃灵敏)。进一步分析图 3 可知,在传感器 W5S 上,样品 FY 的响应值显著低于其他四种样品,说明样品 FY 中氮氧化化合物的含量和种类低于其他样品;在传感器 W1W 上,样品 YH 和样品 FY 显著低于其他三种样品且样品 NF 最高,说明样品 YH 和 FY 的无机硫化物风味物质的含量较低且种类较少,样品 NF 的较高;在传感器 W2S 上,样品 YH 和样品 FC 高于其他三个样品且样品 YH 最高,说明样品 YH 和 FC 含有的醇类和醛酮类化合物含量和种类较多;在传感器 W2W 上,样品 YH 和样品 FY 显著低于其他三种样品且样品 NF 最高,说明样品 YH 和 FY 的芳香成分和有机硫化物风味物质含量和种类较少,样品 NF 的较多。综上所述可知,这五种不同西红柿炖牛腩样品有较明显的风味差异,主要在氮氧化合物(W5S)和硫化物(W1W、

W2W)上较为突出,结合感官评价(图 1)结果可知,样品 HK 的西红柿炖牛腩菜肴香气较明显。

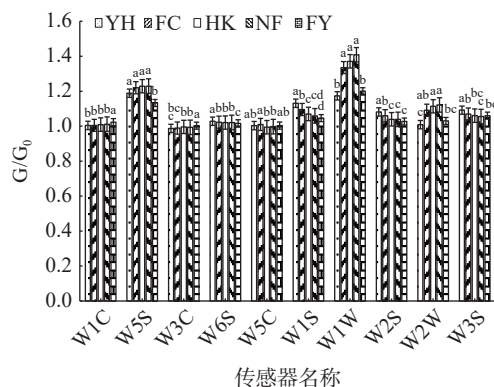


图 3 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的电子鼻传感器响应值
Fig.3 Response value of electronic nose sensor for stewed beef brisket with tomato of different brands

注:同一传感器不同上标字母表示不同样品之间差异显著($P<0.05$)。

2.3.5 不同产品滋味物质差异分析 电子舌是通过模拟人体口腔味觉器官来对样品滋味进行检测^[32],与常规感官评价相比,电子舌能够克服人为主观意识的影响,减小外界因素的影响,实现对酸、甜、苦、咸、鲜 5 种基本滋味进行检测^[33]。利用电子舌对西红柿炖牛腩产品中的水溶性滋味物质进行检测,其 7 根传感器均有特定响应信号值。雷达图可以直观反映电子舌传感器对不同滋味的响应大小。由图 4 可知,样品在 NMS、PKS、ANS、CTS 和 CPS 传感器上的响应强度存在一定的差异,在 AHS 和 SCS 传感器上的响应强度无显著差异,表明五种样品在鲜味、甜味、咸味属性上差异较显著,酸味、苦味差异不显著,说明不同的西红柿炖牛腩样品的滋味物质有所不同。且相对于其它传感器,鲜味(NMS)、甜味(ANS)传感器对西红柿炖牛腩产品的响应强度值比较高,说明鲜味和甜味是西红柿炖牛腩产品中最主要的滋味。

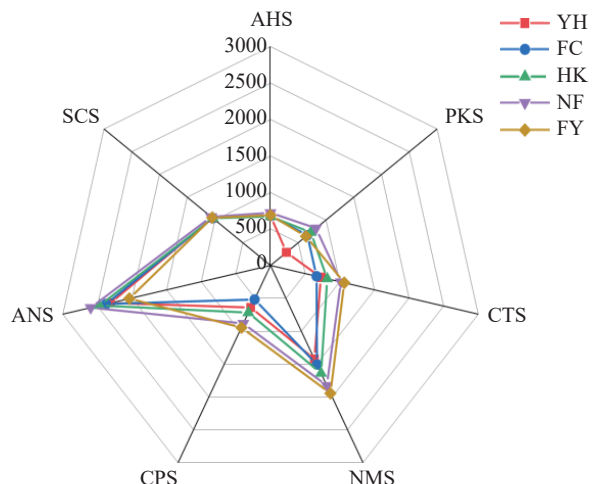


图 4 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的滋味雷达图
Fig.4 Radar chart of different brands of tomato stewed beef brisket dishes

对五种西红柿炖牛腩样品中的水溶性滋味物质进行电子舌分析,将所得数据用 PCA 统计分析后,得到如图 5 所示的分析图。由图 5 可知,主成分 1 的贡献率大于主成分 2,说明不同品牌的西红柿炖牛腩方便菜肴风味差异主要由第一主成分决定。图中不同西红柿炖牛腩样品之间相互不重叠,表明电子舌能够有效区分不同样品,且样品 YH 和样品 FC、样品 NF 和样品 FY 的西红柿炖牛腩样品相距较近,说明样品 YH 和样品 FC、样品 NF 和样品 FY 中的滋味物质相似。此结果和雷达图(图 4)的结果相一致。

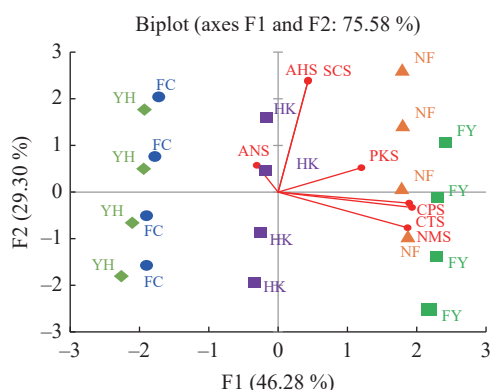


图 5 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的滋味 PCA 图

Fig.5 Taste PCA diagram of stewed beef brisket with tomatoes of different brands

2.4 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的氧化品质比较

2.4.1 不同产品脂肪氧化差异分析 不饱和脂肪酸在高温下会被氧化生成丙二醛(Malondialdehyde, MDA),丙二醛含量越高,脂质氧化越严重^[34]。TBARS 值可以反映脂肪二次氧化产物中丙二醛含量,可准确评价脂肪氧化程度,是评价脂肪氧化的一个重要指标^[35]。由图 6 可知,五种不同西红柿炖牛腩样品的 TBARS 值之间有显著差异($P<0.05$)。这五种样品的 TBARS 值在 0.259~0.357 mg MDA/kg 范围波动,其中,样品 HK 的 TBA 值最低,说明样品 HK 的脂肪氧化程

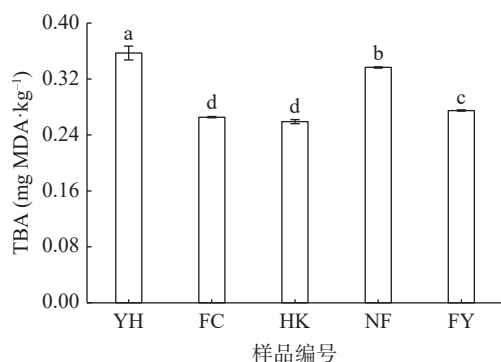


图 6 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的 TBARS 值

Fig.6 TBARS values of stewed beef brisket with tomatoes of different brands

注:不同字母表示不同样品之间差异显著($P<0.05$);图 7~图 8 同。

度最低,前文感官评价中样品 HK 在色泽、气味、滋味、嫩度和总体可接受度方面也是保持较好的,由此可知,TBARS 值与感官评价的结果存在一致性。这与以往报道结果一致,TBARS 值越高,脂质氧化越严重,从而产生哈喇味,导致产品感官品质下降^[35]。样品 YH 的 MDA 值最高,这可能是在样品贮藏过程中的多不饱和脂肪酸减少,引起二次氧化产物的量增加,加速脂肪氧化。这与 Yoshida 等^[36]发现加热会导致食物中磷脂的多不饱和脂肪酸减少的研究结果相似。

2.4.2 不同产品蛋白氧化差异分析 蛋白质巯基含量的降低是蛋白质氧化的一个重要指标,当蛋白质被氧化时,巯基会形成二硫键,高温处理使得巯基被氧化为二硫键,使蛋白质的巯基含量减少。因此,蛋白质的氧化程度可以通过测定蛋白质巯基含量来表征。在一定范围内,巯基含量越低,蛋白质的氧化程度越高^[37]。由图 7 可知,五种不同西红柿炖牛腩样品的巯基含量之间有显著差异($P<0.05$)。其中,样品 HK(391.55 nmol/mg)的巯基含量最高且显著高于其他四个样品,样品 FY(291.16 nmol/mg)的巯基含量最低,结合前面的感官结果说明,巯基含量越高,蛋白质的氧化程度越低,感官品质就越好。这与孙金龙等^[37]研究不同包装方式对土豆烧牛肉菜肴中牛肉蛋白质氧化的影响中发现,巯基含量越低品质越差的结果相一致。

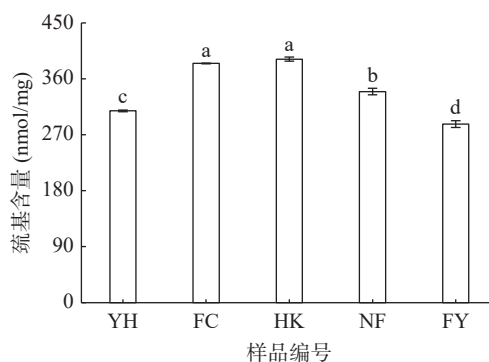


图 7 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的巯基含量

Fig.7 Sulphydryl content of stewed beef brisket with tomatoes of different brands

羰基化合物含量变化是肉品领域评价蛋白质氧化最直接的指标。羰基化合物是自然氧化的主要产物,在菜肴储藏过程中,蛋白质一方面受氧化因子作用发生羰基化反应,持续生成羰基化合物,同时 α -氨基脂肪半醛(AAS)、 γ -谷氨酸半醛(GGS)等羰基化合物会发生进一步反应,形成酸类、醇醛缩合物等物质^[38]。在一定范围内,羰基含量越低,蛋白质的氧化程度越低。由图 8 可知,五种不同西红柿炖牛腩样品的羰基含量之间有显著差异($P<0.05$)。其中,样品 HK(101.36 nmol/g)的羰基含量最低且显著低于其他四个样品($P<0.05$),表明西红柿炖牛腩菜肴中的牛肉发生了明显的蛋白氧化^[39],这与巯基含量变化的

结果相一致。肉制品中蛋白质氧化反应具有复杂性, 而且与脂肪氧化密切相关。羰基物质主要是通过氨基酸的脱氨反应产生的, 具体可通过多种途径产生^[40], 蛋白质的空间构象发生改变, 肌原纤维蛋白发生折叠、聚集, 游离氨基酸不易暴露蛋白表面, 这与石钢鹏等^[41]研究发现, 克氏原螯虾肉冻藏过程中羰基含量逐渐升高, 而品质逐渐下降的结果相一致。

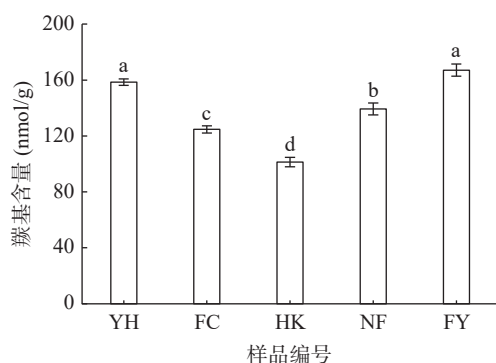


图 8 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的羰基含量

Fig.8 Carbonyl content of stewed beef brisket with tomatoes of different brands

3 结论

不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的感官评价差异显著, 且与市售价格之间存在明显相关, 市售西红柿炖牛腩菜肴基本做到优质优价。不同西红柿炖牛腩菜肴中西红柿的外形均破坏严重, 五种不同品牌的牛肉色泽 L^* 值的变化率最大; 质构方面, 样品 NF 和样品 FY 的硬度值、粘聚性、咀嚼性差别最大, 样品 HK 和样品 FY 的弹性值差别最大; 剪切力之间差异显著 ($P<0.05$), 其中样品 HK 的剪切力值最小; 电子鼻可以准确检测出西红柿炖牛腩方便菜肴的风味变化; 利用电子舌对水溶性滋味物质进行检测, 得出鲜味和甜味是西红柿炖牛腩产品中最主要的滋味; TBARS、硫基含量、羰基含量等客观指标差异明显, 各指标与菜肴整体可接受度呈现不明显的相关性, 西红柿炖牛腩菜肴由于荤素搭配, 品质特征呈现更为复杂。采用 PCA 分析可明显区分 5 种市售不同品牌西红柿炖牛腩菜肴的滋味和气味, 因此, 电子鼻和电子舌的风味客观评价技术可有效用于西红柿炖牛腩菜肴风味品质的评价与研究。氧化是影响菜肴品质的一个重要原因, 不同品牌西红柿炖牛腩菜肴样品均有不同程度的脂肪氧化和蛋白氧化。总之, 目前市售不同品牌西红柿炖牛腩菜肴品质差异显著, 客观指标与总体可接受度呈现不明显相关, 肉类菜肴的丰富原料使其整体可接受品质特征表现更为复杂。电子舌等客观方法可快速有效的用于西红柿炖牛腩菜肴的评析, 为进一步提升中式肉类菜肴工业化水平和品质保真提供数据支撑。

参考文献

[1] 张泓, 张春江, 黄峰, 等. 中式传统肉类菜肴工艺文化挖掘、整理、保护和利用[J]. 肉类研究, 2015, 29(6): 33-36. [ZHANG H,

ZHANG C J, HUANG F, et al. Excavation, sorting, protection and utilization of Chinese traditional meat dish technology culture[J]. Meat Research, 2015, 29(6): 33-36.]

[2] 王清波. 杀菌、冷藏及微波复热对红烧牛腩品质影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018. [WANG Q B. Effects of sterilization, refrigeration and microwave reheating on the quality of braised beef brisket[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.]

[3] 赵越. 红烧肉在加工和储藏过程中的品质变化研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017. [ZHAO Y. Study on quality changes of braised meat during processing and storage[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.]

[4] 孙红霞. 土豆烧牛肉菜肴加工中牛肉品质变化研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017. [SUN H X. Study on the change of beef quality in the processing of potato roast beef dishes[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2017.]

[5] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 2726-2016, 食品安全国家标准熟肉制品[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. GB 2726-2016, National food safety standard, cooked meat products[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[6] 中国农业科学院农产品加工研究所. T/WFFA 002-2021, 肉类菜肴[S]. 潍坊: 潍坊市食品协会, 2021. [Institute of Agricultural Products Processing, Chinese Academy of Agricultural Sciences. T/WFFA 002-2021, meat dishes[S]. Weifang: Weifang Food Association, 2021.]

[7] PATRICIA S. Sensory evaluation of food principles and practices[J]. Journal of Wine Research, 2013, 24(1): 80.

[8] 胡斐斐, 钱书意, 黄峰, 等. 低压静电场辅助短期冻藏对猪肉品质的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(9): 1993-2005. [HU F F, QIAN S Y, HUANG F, et al. Effect of low voltage electrostatic field assisted short-term frozen storage on pork quality[J]. China Agricultural Science, 2021, 54(9): 1993-2005.]

[9] LIU Q, ZHANG M, XU B, et al. Effect of radio frequency heating on the sterilization and product quality of vacuum packaged Caixin[J]. Food and Bioproducts Processing, 2015, 95: 47-54.

[10] WANG T, ZHANG M, FANG Z, et al. Rheological, textural and flavour properties of yellow mustard sauce as affected by modified starch, xanthan and guar gum[J]. Food and Bioprocess Technology, 2016, 9(5): 849-858.

[11] 王静帆, 黄峰, 沈青山, 等. 低温长时蒸煮对猪肉品质的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(3): 643-652. [WANG J F, HUANG F, SHEN Q S, et al. Effect of low temperature and long-term cooking on pork quality[J]. China Agricultural Science, 2021, 54(3): 643-652.]

[12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.237-2016 食品安全国家标准食品 pH 值的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.237-2016 National food safety standard determination of pH value of food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[13] HUANG L, MENG L, ZHU N, et al. A primary study on forecasting the days before decay of peach fruit using near-infrared

- spectroscopy and electronic nose techniques[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2017, 133: 104–112.
- [14] 陈栋杰, 郭盛, 卢有媛, 等. 基于电子舌技术的不同产地枸杞子鉴别研究[J]. *南京中医药大学学报*, 2020, 36(5): 615–622.
- [CHEN D J, GUO S, LU Y Y, et al. Identification of *Lycium barbarum* from different habitats based on electronic tongue technology[J]. *Journal of Nanjing University of Traditional Chinese Medicine*, 2020, 36(5): 615–622.]
- [15] 武苏苏. 煮制条件对卤鸡肉与鸡汤风味的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2015.
- [WU S S. Effects of cooking conditions on the flavor of marinated chicken and chicken soup[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2015.]
- [16] QIAN D, CHEN J L, LAI C J S, et al. Dicafeoyl polyamine derivatives from bitter goji: Contribution to the bitter taste of wolfberry[J]. *Fitoterapia*, 2020, 143: 104, 543.
- [17] XIA X F, KONG B H, LIU Q, et al. Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze-thaw cycles[J]. *Meat Science*, 2009, 83(2): 239–245.
- [18] BAO Y L, ERTBJERG P. Relationship between oxygen concentration, shear force and protein oxidation in modified atmosphere packaged pork[J]. *Meat Science*, 2015, 110: 174–179.
- [19] 赵钜阳, 刘树萍, 石长波. 工业化生产和传统烹饪技术对黑椒牛柳品质和风味的影响[J]. *中国调味品*, 2018, 48(3): 1–5.
- [ZHAO J Y, LIU S P, SHI C B. Effects of industrial production and traditional cooking technology on the quality and flavor of beef fillet with black pepper[J]. *Chinese Condiments*, 2018, 48(3): 1–5.]
- [20] SUMAN S P, HUNT M C, NAIR M N, et al. Improving beef color stability: Practical strategies and underlying mechanisms[J]. *Meat Science*, 2014, 98(3): 490–504.
- [21] 赵越, 姜启兴, 许艳顺, 等. 包装方式对红烧肉方便菜肴制品保鲜品质的影响[J]. *食品科技*, 2017, 42(6): 47–53.
- [ZHAO Y, JIANG Q X, XU Y S, et al. Effect of packaging methods on the preservation quality of braised meat convenience dishes[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 42(6): 47–53.]
- [22] 殷燕, 张万刚, 周光宏. 八角茴香提取物在冷藏调理猪肉饼中抗氧化及抑菌效果的研究[J]. *南京农业大学学报*, 2014(6): 89–96.
- [YIN Y, ZHANG W G, ZHOU G H. Study on antioxidant and bacteriostatic effects of star anise extract in refrigerated conditioned pork cake[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2014(6): 89–96.]
- [23] JAKOBSEN M, BERTELSEN G. Colour stability and lipid oxidation of fresh beef. Development of a response surface model for predicting the effects of temperature, storage time, and modified atmosphere composition[J]. *Meat Science*, 2000, 54(1): 49–57.
- [24] EGELANDSDAL B, ABIE S M, BJARNADOTTIR S, et al. Detectability of the degree of freeze damage in meat depends on analytic-tool selection[J]. *Meat Science*, 2019, 152: 8–19.
- [25] WANG C, WANG H, LI X, et al. Effects of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on water holding capacity of pork steaks[J]. *Meat Science*, 2019, 148: 189–197.
- [26] 胡琴, 黄旭辉, 祁立波, 等. 佛跳墙冷冻调理食品在不同复热方式下的品质变化[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(4): 1–6.
- [HU Q, HUANG X H, QI L B, et al. Quality changes of fotiaoqiang frozen prepared food under different reheating methods[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(4): 1–6.]
- [27] 潘治利, 于如梦, 黄忠民, 等. 不同部位牛肉对杏鲍菇牛肉菜肴品质的比较分析[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(6): 264–273.
- [PAN Z L, YU R M, HUANG Z M, et al. Comparative analysis of different parts of beef on the quality of apricot abalone mushroom beef dishes[J]. *Modern Food Technology*, 2020, 36(6): 264–273.]
- [28] 史笑娜, 黄峰, 张良, 等. 红烧肉加工过程中脂肪降解、氧化和挥发性风味物质的变化研究[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(3): 257–265.
- [SHI X N, HUANG F, ZHANG L, et al. Study on the changes of fat degradation, oxidation and volatile flavor substances during the processing of braised meat[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(3): 257–265.]
- [29] 张玉玉, 黄明泉, 陈海涛, 等. 7种面酱的电子鼻和电子舌辨别分析[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(1): 198–205.
- [ZHANG Y Y, HUANG M Q, CHEN H T, et al. Discrimination analysis of electronic nose and electronic tongue of seven kinds of facial sauces[J]. *Chinese Journal of Food*, 2012, 12(1): 198–205.]
- [30] 顾赛麒, 王锡昌, 张晶晶, 等. 电子鼻在中华绒螯蟹产地鉴别及等级评定上的应用[J]. *中国水产科学*, 2014, 21(1): 108–117.
- [GU S Q, WANG X C, ZHANG J J, et al. Application of electronic nose in origin identification and grade evaluation of *Eriocheir sinensis*[J]. *Chinese Fisheries Science*, 2014, 21(1): 108–117.]
- [31] 蒋爱民, 南庆贤. 畜产品食品工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [JIANG A M, NAN Q X. Food technology of animal products[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2008.]
- [32] 黄嘉丽, 黄宝华, 卢宇靖, 等. 电子舌检测技术及其在食品领域的应用研究进展[J]. *中国调味品*, 2019, 44(5): 189–193, 196.
- [HUANG J L, HUANG B H, LU Y J, et al. Research progress of electronic tongue detection technology and its application in food field[J]. *Chinese Condiments*, 2019, 44(5): 189–193, 196.]
- [33] 董蕴, 张一涵, 杨小丽, 等. 基于电子舌技术对甜面酱调味品的评价[J]. *保鲜与加工*, 2019, 19(1): 121–126.
- [DONG Y, ZHANG Y H, YANG X L, et al. Evaluation of taste quality of sweet noodle sauce based on electronic tongue technology[J]. *Preservation and Processing*, 2019, 19(1): 121–126.]
- [34] SILVESTRE M P C, CHAIYASIT W, BRANNAN R G, et al. Ability of surfactant head group size to alter lipid and antioxidant oxidation in oil-in-water emulsions[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(6): 2057–2061.
- [35] 丁捷, 胡欣洁, 卢雪松, 等. 糊辣牛肉在不同温度条件下的贮藏特性及其货架期预测[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(3): 1–12.
- [DING J, HU X J, LU X S, et al. Storage characteristics and shelf life prediction of paste spicy beef under different temperatures[J]. *Modern Food Technology*, 2017, 33(3): 1–12.]
- [36] YOSHIDA H, HIRAKAWA Y, TOMIYAMA Y, et al. Fatty acid distributions of triacylglycerols and phospholipids in peanut seeds following microwave treatment[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2005, 18(1): 3–14.
- [37] 孙金龙, 黄峰, 师希雄, 等. 不同包装方式对土豆烧牛肉菜肴中牛肉脂肪与蛋白质氧化的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020,

46(19): 148–153. [SUN J L, HUANG F, SHI X X, et al. Effects of different packaging methods on beef fat and protein oxidation in potato roast beef dishes[J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(19): 148–153.]

[38] 郭艳婧. 不同包装材料对罐罐肉贮藏过程中品质影响的研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2015. [GUO Y J. Effects of different packaging materials on the quality of canned meat during storage[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2015.]

[39] 王仁欢. 宰前热应激和热烫冷却工艺对鸡肉品质及其机理的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2013. [WANG R H. Effects of pre-mortem heat stress and scalding cooling process on chicken quality and its mechanism[D]. Taian: Shandong Agricultural Univer-

sity, 2013.]

[40] 卢涵. 鳙鱼肉低温贮藏过程中蛋白氧化、组织蛋白酶活性与品质变化规律的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2017. [LU H. Changes of protein oxidation, cathepsin activity and quality of big-head carp meat during low temperature storage[D]. Beijing: China Agricultural University, 2017.]

[41] 石钢鹏, 周俊鹏, 章蔚, 等. 超高压与热烫预处理对克氏原螯虾肉冻藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(15): 288–296, 322. [SHI G P, ZHOU J P, ZHANG W, et al. Effects of ultra-high pressure and blanching pretreatment on frozen storage quality of *Procambarus clarkii* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(15): 288–296, 322.]