

熟化方式对酱卤风味牛肉品质及多环芳烃含量的影响

胡高峰¹, 汪永², 孙苏月¹, 邢巍¹, 陈从贵¹, 蔡克周^{1,*}
(1.合肥工业大学, 农产品生物化工教育部工程研究中心, 安徽 合肥 230009;
2.安徽省东升食品有限公司, 安徽 亳州 236000)

摘要: 比较蒸制、煮制、炸制、煎制、烤制和微波6种熟化方式对酱卤风味牛肉品质(感官评分、色泽、质构、水分含量、pH值、脂肪氧化)和化学危害物多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)含量的影响。结果表明: 烤制、蒸制、煮制熟化酱卤风味牛肉色泽品质较好; 烤制、煎制和炸制熟化酱卤风味牛肉水分含量偏低, 且与其他组有显著差异($P < 0.05$); 蒸制熟化酱卤风味牛肉很好地保持了水分含量, 具有较好的质构特性; 烤制、炸制熟化酱卤风味牛肉的脂肪氧化程度偏高($P < 0.05$), 而蒸制熟化酱卤风味牛肉的脂肪氧化程度最低; 与其他熟化方式相比, 蒸制熟化酱卤风味牛肉的感官评分较高; 烤制、煎制、炸制熟化酱卤风味牛肉中苯并(a)芘、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽及蒽4种PAHs的总含量均高于7.0 $\mu\text{g/kg}$, 蒸制、微波熟化组约为3.1 $\mu\text{g/kg}$ 。综合评估得出, 蒸制是一种有效的酱卤风味牛肉熟化加工方式, 牛肉品质与传统卤煮牛肉更为接近。

关键词: 熟化方式; 酱卤风味牛肉; 牛肉品质; 脂肪氧化; 多环芳烃

Effects of Cooking Methods on the Quality and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Content of Sauce-Marinated Beef

HU Gaofeng¹, WANG Yong², SUN Suyue¹, XING Wei¹, CHEN Conggui¹, CAI Kezhou^{1,*}
(1.Engineering Research Center of Agricultural Bio-Chemicals, Ministry of Education, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2.Anhui Dongsheng Food Co. Ltd., Bozhou 236000, China)

Abstract: In this work, we compared the effects of six cooking methods (steaming, boiling, deep-frying, pan-frying, roasting and microwaving) on the quality (sensory evaluation score, color, texture, moisture content, pH value, and thiobarbituric reactive substances value) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) content of sauce-marinated beef. The results showed that roasted, steamed, and boiled beef products had better color quality; the moisture content of roasted, fried, and pan-fried beef products was lower, with significant differences being observed compared to the other groups ($P < 0.05$). Steamed sauce-marinated beef maintained its moisture content well, and it had good texture characteristics; roasted and deep-fried beef had a high degree of fat oxidation ($P < 0.05$), while steaming resulted in the lowest degree of fat oxidation; compared with the other groups, the sensory evaluation score of the steamed beef group was higher. The total content of the four PAHs, benzo(a)pyrene, benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene and chrysene was higher than 7.0 $\mu\text{g/kg}$ in roasted, deep-fried and pan-fried beef, and about 3.1 $\mu\text{g/kg}$ in steamed and microwaved beef. In general, steaming could be an effective cooking method for sauce-marinated beef as the quality of steamed sauce-marinated beef was closer to that of traditional braised beef.

Keywords: cooking method; sauce-marinated beef; beef quality; fat oxidation; polycyclic aromatic hydrocarbons

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200131-025

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2020) 03-0014-06

引文格式:

胡高峰, 汪永, 孙苏月, 等. 熟化方式对酱卤风味牛肉品质及多环芳烃含量的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(3): 14-19.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200131-025. <http://www.rlyj.net.cn>

收稿日期: 2020-01-31

基金项目: 安徽省科技重大项目 (1803070119)

第一作者简介: 胡高峰 (1995—) (ORCID: 0000-0003-3247-7391), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品现代加工理论与方法。

E-mail: 1824980788@qq.com

*通信作者简介: 蔡克周 (1980—) (ORCID: 0000-0001-9676-0829), 男, 副教授, 博士, 研究方向为肉品加工与质量控制。

E-mail: kzcai@hfut.edu.cn



HU Gaofeng, WANG Yong, SUN Suyue, et al. Effects of cooking methods on the quality and polycyclic aromatic hydrocarbon content of sauce-marinated beef[J]. Meat Research, 2020, 34(3): 14-19. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200131-025.
<http://www.rlyj.net.cn>

作为我国传统肉制品的代表之一, 酱卤肉制品受到广大消费者的青睐^[1]。传统酱卤肉制品多经简单腌制/不腌制后与香辛料一起煮制熟化和入味, 这种传统工艺多经过较长时间煮制, 容易导致肉制品质构劣变和营养组分的流失。谢美娟等^[2]研究表明, 经长时间卤煮, 酱卤鸡腿的质构特性显著下降; 张凯歌等^[3]研究得出, 随着卤煮时间的延长, 肉制品脂肪氧化程度增大; 毕珊珊^[4]发现, 卤煮时间对肉制品中的蛋白质氧化产生影响。此外, 长时间的高温加工常伴有化学危害物的生成, 如多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)^[5]。PAHs是一类广泛分布于环境和食品中且稳定存在的有害化合物, 其分子结构由2个或2个以上苯环组成, 具有致癌和致突变性^[6-7]。欧盟食品科学委员会选择8种PAHs作为食品中致癌PAHs的最适评价指标, 并且规定苯并(a)芘 (benzo(a)pyrene, BaP)、苯并(a)蒽 (benzo(a)anthracene, BaA)、苯并(b)荧蒽 (benzo(b)fluoranthene, BbFA) 及蒽 (chrysene, CHR) 4种PAHs (PAH4) 在烟熏、烧烤肉制品中的最大限量分别为12、30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[8]。

随着现代生活节奏的加快, 简便、快捷的肉制品加工方式更受企业和市场欢迎, 其中烤制和炸制加工方式应用于多种肉制品的生产过程。烤制和炸制具有西式便捷特点, 同时赋予肉制品独特风味, 但是也容易产生化学危害物质^[9-11]。蒸制和微波熟化为常见的中式快捷加工方法。研究表明, 蒸制熟化肉制品拥有较好的感官和质构等品质特性, 且较好地保留了营养成分^[12-13]; 黄艳梅等^[14]研究发现, 微波加工可改善酱卤肉制品的风味和质构等品质。因此, 对传统酱卤肉制品加工工艺进行改进, 提升加工效率并减少加工过程中化学危害物的形成具有现实生产意义。

本研究探究蒸制、煮制、炸制、煎制、烤制和微波6种熟化方式对酱卤风味牛肉品质 (感官评分、色泽、质构、水分含量、pH值、脂肪氧化程度) 和BaP、BaA、BbFA及CHR 4种PAHs形成的影响, 以期为酱卤肉制品的加工工艺创新和产品开发提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜牛肉、六偏磷酸钠、白砂糖、食盐、生姜粉、八角、肉桂、辣椒、香叶、丁香、花椒、食用油 家乐福超市。

氯化钾、柠檬酸钠、三氯乙酸、乙醚、硫代巴比妥酸、亚铁氰化钾、乙二胺四乙酸二钠、氢氧化钾、正己烷、三氯乙酸、丙二醛 (均为分析纯)、甲醇、二氯甲烷、环己烷、乙腈 (均为色谱纯)、盐酸 (优级纯) 国药集团化学试剂有限公司; 4种多环芳烃标准品 (BaP、BaA、BbFA、CHR) 加拿大TRC公司。

1.2 仪器与设备

1100高效液相色谱仪、Florisil固相萃取柱、Eclipse PAH色谱柱 (250 mm $\times$ 4.6 mm, 5.0 μm) 美国Agilent公司; AR1140/C电子天平 奥豪斯仪器 (上海) 有限公司; HC-3018R高速冷冻离心机 安徽中佳科学仪器有限公司; 202-1电热恒温干燥箱 上海浦东荣丰科学仪器有限公司; WSF分光测色仪 上海申光仪器仪表有限公司; HH-2数显恒温水浴锅 国华电器有限公司; EOT5004K电烤箱 广东伊莱克斯有限公司; T6紫外分光光度计 上海元析仪器有限公司; TA.XT Plus物性测试仪 英国Stable Micro System有限公司; Hei-VAP旋转蒸发仪 德国Heidolph公司; BPH-7200 pH计 瑞士Mettler-Toledo公司; T18高速均质分散机 德国IKA公司; SB-5200D超声仪 宁波新智生物科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 原料预处理和样品制备

1.3.1.1 牛肉预处理及卤汤的制备

沿着原料肉纹理剔除其表面脂肪、肌腱、肌膜和结缔组织, 称取牛肉1 kg, 室温下于冷水中浸泡10 min, 清洗沥干, 将牛肉切分为4 cm $\times$ 4 cm $\times$ 5 cm的小块, 每块约20 g。

称取1%生姜粉、1.5%八角、1.3%肉桂、1.5%辣椒、0.68%香叶、0.71%丁香和1.65%花椒 (以牛肉质量为基准), 加1 L水于陶瓷杯中小火煮沸2 h, 制得约900 mL卤汤, 放凉后于4 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏备用。

1.3.1.2 牛肉的腌制

参考王东等^[15]的方法, 并略作改动。量取100 mL卤汤到陶瓷杯中, 添加2 g食盐、0.4 g六偏磷酸钠和0.1 g白砂糖, 搅拌溶解后, 每个处理组各称取10~15块、共约300 g牛肉加入陶瓷杯中, 于4 $^{\circ}\text{C}$ 腌制24 h。煮制熟化组用100 mL蒸馏水替代卤汤。

1.3.2 熟化处理

参考Oz^[16]、Soladoye^[17]等方法并结合预实验, 以肉制品熟化至中心温度为75 $^{\circ}\text{C}$ 且可以食用为标准, 确定腌制牛肉不同熟化方式操作如下: 1) 烤制: 在电烤箱内 (180 $^{\circ}\text{C}$) 烤制25 min, 期间翻面1次; 2) 炸制: 加入

食用油300 mL于油炸锅，180 ℃左右炸制3 min，炸制过程中不断翻动；3) 煎制：加入食用油20 mL，160 ℃左右煎制3 min，期间翻面1次；4) 煮制：添加500 mL卤汤煮制50 min；5) 蒸制：在蒸锅中蒸制30 min；6) 微波：于微波炉中加热140 s，功率900 W。

1.3.3 感官评定

由11位食品专业研究人员组成感官评价小组，对熟化后的酱卤牛肉进行感官综合评分，评定标准如表1所示，每种熟化方式样品重复评定5次^[18-19]。

表1 酱卤牛肉感官评分标准
Table 1 Criteria for sensory evaluation of sauce-marinated beef

感官指标	1~3分	3~5分	5~7分	7~9分
色泽	外观呈褐色，切开后内部为白色、有明显红斑	外观呈淡红色，切开后内部为白色、有红斑	外观呈淡红色，切开后内部为浅红色、无红斑	外观呈酱红色，切开后内部为浅红色、无红斑
风味	几乎没有酱卤风味，有焦糊味或异味，无回味	酱卤风味淡，无异味，回味短	酱卤风味较浓，肉香味淡，回味一般	酱卤风味浓郁，肉香味较浓，回味饱满持久
口感	肉质较硬，口感很咸或很淡，有明显粗糙感	有弹性，但口感较咸或较淡，有粗糙感	肉质鲜嫩，无明显粗糙感，但口感较咸或较淡	鲜嫩爽口，软硬、咸淡适中，无粗糙感
可接受性	不可接受	可接受	较喜欢	喜欢

1.3.4 色泽测定

用WSF分光测色仪测定经不同熟化方式处理后牛肉样品的色泽，测定时随机选取样品表面上、中、下3个点测定，以3个点测定平均值作为样品最终色泽，颜色参数记录为亮度值(L^*)、红度值(a^*)和黄度值(b^*)。

1.3.5 质构测定

将牛肉块修整为3 cm×3 cm×2 cm大小，质构仪选择TPA模式，探头为P/50平底圆柱形铝制探头，测试前速率5 mm/s，测试速率1 mm/s，测试后速率5 mm/s，触发模式为自动，触发力5 g，2次压缩间隔时间5 s。

1.3.6 pH值测定

参照GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品pH值的测定》^[20]。具体操作为：取切碎后的肉样4 g加入40 mL 0.1 mol/L氯化钾溶液，均质2 min后，用滤纸过滤，取滤液用校正后的pH计进行测定。

1.3.7 水分含量测定

参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[21]中的直接干燥法。

1.3.8 硫代巴比妥酸反应物 (thiobarbituric acid reactive substance, TBARs) 值测定

参照GB 5009.181—2016《食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定》^[22]中的分光光度法。实验预先制备丙二醛系列标准溶液，测得丙二醛的标准曲线为 $y=1.2094x-0.0079$ 。TBARs值以每千克样品中的丙二醛含量表示。

1.3.9 PAHs含量测定

参照Nie Wen等^[23]的方法，并略作改动，具体操作如下：样品提取：取5 g剪碎肉样于50 mL离心管中，加

入25 mL环己烷，振荡混匀后于超声仪中超声15 min，8 000 r/min、4 ℃离心15 min后取上清液进行纯化分析。样品纯化分析：依次用3 mL二氯甲烷和5 mL环己烷对Florisil固相萃取柱进行活化。将上清液倒入固相萃取柱中，用9 mL环己烷-二氯甲烷 (3:1, V/V) 混合液洗脱固相萃取柱，用旋转蒸发仪 (45 ℃, 30 r/min, 15 200 Pa) 浓缩洗脱液至1~2 mL，将浓缩液转移到10 mL离心管中，加入2 mL乙腈，超声溶解后，用0.22 μm微孔滤膜过滤至进样瓶中，用串联有荧光检测器的高效液相色谱仪检测分析。PAHs含量按下式计算。

$$X = \frac{\rho V}{m}$$

式中： X 为样品中PAHs含量/(μg/kg)； ρ 为依据标准曲线计算得到的样品待测液中PAHs质量浓度/(ng/mL)； V 为样品待测液最终定容体积/mL； m 为样品质量/g。

色谱条件：Eclipse PAH色谱柱 (250 mm×4.6 mm, 5.0 μm)；进样量20 μL；柱温35 ℃；流速1 mL/min；流动相A为乙腈，流动相B为去离子水。流动相梯度洗脱程序如表2所示。

表2 流动相梯度洗脱程序
Table 2 Mobile phase gradient elution procedure

时间/min	流动相A体积分数/%	流动相B体积分数/%
0~10	65	35
10~20	70	30
20~25	75	25
25~35	80	20
35~50	90	10
50~55	100	0

1.4 数据处理

实验数据采用Origin 9.0软件进行统计与分析，结果以平均值±标准差表示；采用Duncan's比较法进行显著性检验， $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 不同熟化方式酱卤风味牛肉的感官评分

表3 不同熟化方式酱卤风味牛肉的感官评分
Table 3 Sensory evaluation of sauce-marinated beef cooked by different methods

熟化方式	色泽评分	风味评分	口感评分	可接受性评分	总分
烤制	6.57±0.66 ^b	3.67±0.42 ^d	6.20±0.29 ^b	5.07±0.76 ^b	21.51±0.83 ^d
煎制	7.97±0.45 ^{ab}	4.33±0.39 ^c	6.01±0.06 ^b	5.27±0.40 ^b	23.58±0.37 ^e
炸制	8.23±0.45 ^a	4.27±0.39 ^c	6.18±0.37 ^b	5.30±0.50 ^b	23.98±0.61 ^e
蒸制	6.43±0.26 ^{bc}	6.59±0.29 ^a	7.53±0.17 ^a	6.71±0.14 ^a	27.26±0.18 ^a
微波	5.83±0.48 ^c	5.51±0.12 ^b	7.67±0.17 ^a	6.37±0.09 ^a	25.38±0.12 ^b
煮制	7.37±0.50 ^{ab}	6.70±0.57 ^a	7.30±0.28 ^a	6.67±0.25 ^a	28.04±0.65 ^a

注：同列小写字母不同，表示差异显著 ($P<0.05$)。表4~5同。

由表3可知：烤制、煎制、炸制熟化组酱卤风味牛肉的色泽评分与煮制熟化组无显著差异，但风味、口感及可接受性评分均显著下降 ($P<0.05$)；相比于煮制熟化组，微波熟化酱卤风味牛肉保持了酱卤牛肉的口感和可接受性，但表现出较差的风味和色泽。整体而言，蒸制熟化组与煮制熟化组评分较为接近，说明蒸制熟化酱卤风味牛肉的感官品质更接近于传统卤煮牛肉。

2.2 熟化方式对酱卤风味牛肉色泽的影响

表4 不同熟化方式酱卤风味牛肉的色泽

Table 4 Color parameters of sauce-marinated beef cooked by different methods

熟化方式	L^*	a^*	b^*
烤制	69.87±2.48 ^a	19.74±3.90 ^a	72.79±0.63 ^{bc}
煎制	71.49±5.53 ^a	18.64±3.60 ^a	75.88±3.24 ^b
炸制	62.60±4.47 ^a	17.93±1.43 ^a	64.72±3.19 ^{cd}
蒸制	69.99±2.19 ^a	21.66±1.21 ^a	60.29±1.24 ^d
微波	77.80±1.08 ^a	6.51±0.20 ^b	66.67±0.86 ^{cd}
煮制	72.15±2.04 ^a	19.41±1.19 ^a	85.43±2.59 ^a

由表4可知，微波熟化酱卤风味牛肉 L^* (77.80) 最高，但整体而言，6组酱卤风味牛肉 L^* 无显著差异。对于酱卤风味牛肉 a^* ，蒸制熟化组最高、微波熟化组最低，且除微波熟化组外，各组间无显著差异。微波传热从牛肉内部开始，且加热时间短，故对牛肉表面色泽的影响较弱^[24]。6种熟化处理酱卤风味牛肉 b^* 差异较大，其中煮制熟化组 b^* 最大，且与其他组间有显著差异 ($P<0.05$)，蒸制熟化组 b^* 最小，可能是蒸制熟化加热时间较长，使肌肉中的氧和肌红蛋白被过度氧化导致。

2.3 熟化方式对酱卤风味牛肉质地构的影响

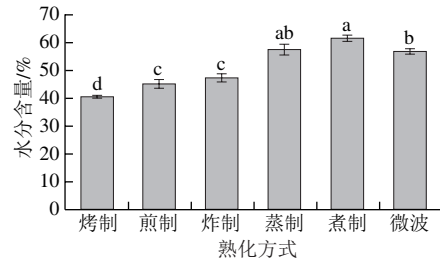
表5 不同熟化方式酱卤风味牛肉的质构测定结果

Table 5 Texture properties of sauce-marinated beef cooked by different methods

熟化方式	硬度/N	弹性	内聚性	咀嚼性/(N·mm)	回复性/mm
烤制	16 414.71±1 770.98 ^a	0.69±0.09 ^a	0.59±0.07 ^a	6 595.56±949.49 ^a	0.26±0.05 ^a
煎制	6 608.34±1 276.32 ^{bc}	0.78±0.06 ^a	0.61±0.06 ^a	3 098.02±508.06 ^{bc}	0.25±0.05 ^a
炸制	9 796.62±486.55 ^b	0.81±0.03 ^a	0.68±0.06 ^a	5 437.15±899.42 ^{ab}	0.30±0.05 ^a
蒸制	9 601.27±63.97 ^b	0.76±0.04 ^a	0.62±0.02 ^a	4 536.42±380.66 ^{abc}	0.28±0.02 ^a
微波	5 441.47±1 099.02 ^c	0.76±0.11 ^a	0.65±0.08 ^a	2 716.88±926.45 ^c	0.28±0.04 ^a
煮制	5 797.99±2 266.09 ^{bc}	0.75±0.04 ^a	0.67±0.00 ^a	2 864.38±975.11 ^{bc}	0.26±0.02 ^a

由表5可知，烤制熟化酱卤风味牛肉硬度最大，且与其他组差异显著 ($P<0.05$)，这可能与烤制熟化使牛肉水分损失程度较大有关，煮制和微波熟化组硬度较小且没有显著差异，煎制、炸制和蒸制熟化对于酱卤风味牛肉硬度的影响差异不显著。咀嚼性与硬度的变化趋势相同，其中烤制熟化组酱卤风味牛肉咀嚼性最高，且与其他熟化方式相比差异显著 ($P<0.05$)，而蒸制熟化组咀嚼性 (4 536.42±380.66) N·mm更为适中，这与张兰^[25]的研究结论相似。各熟化组酱卤风味牛肉的弹性、内聚性及回复性均无显著差异。

2.4 熟化方式对酱卤风味牛肉水分含量的影响



小写字母不同，表示差异显著 ($P<0.05$)。图2~3同。

图1 不同熟化方式酱卤风味牛肉的水分含量

Fig. 1 Moisture content of sauce-marinated beef cooked by different methods

水分含量是评价牛肉品质的重要参数之一。由图1可知，烤制、煎制和炸制3种熟化方式酱卤风味牛肉水分含量较低，且与其他组间差异显著 ($P<0.05$)，这可能是由于这3种方式的处理温度较高，其中烤制熟化组水分含量最低，这可能是烤制处理使牛肉硬度较大的原因。相比而言，蒸制、煮制熟化组之间的水分含量无显著差异，说明蒸制熟化能够较好地保持酱卤风味牛肉的水分。

2.5 熟化方式对酱卤风味牛肉pH值的影响

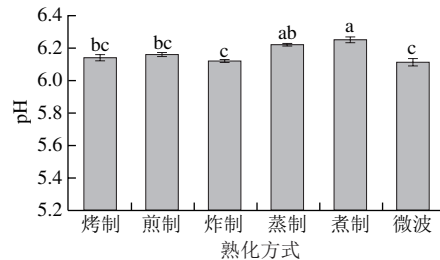


图2 不同熟化方式酱卤风味牛肉的pH值

Fig. 2 pH value of sauce-marinated beef cooked by different methods

由图2可知，总体而言，6种熟化方式酱卤风味牛肉pH值为6.0~6.2，其中煮制熟化组pH值最高，蒸制熟化组次之，且煮制熟化组与其他实验组（除蒸制处理组外）之间差异显著 ($P<0.05$)。煮制熟化酱卤风味牛肉水分含量较高，这可能是导致牛肉pH值较高的原因。

2.6 熟化方式对酱卤风味牛肉脂肪氧化程度的影响

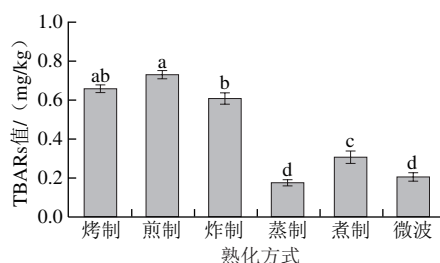


图3 不同熟化方式酱卤风味牛肉的TBARS值

Fig. 3 Effect of cooking methods on TBARS value of sauce-marinated beef

TBARs是以多不饱和脂肪酸氧化产物丙二醛为主体的醛类物质与硫代巴比妥酸反应的产物，丙二醛作为脂质氧化的终产物之一常用来评价脂肪氧化程度。由图3可知，6种熟化方式酱卤风味牛肉中TBARs值顺序为炸制>烤制>煎制>煮制>微波>蒸制，且烤制、炸制与煎制熟化组与其他3组间差异显著（ $P<0.05$ ）。不同熟化方式对酱卤风味牛肉的TBARs值影响差别较大，熟化温度越高，熟化时间越长，脂肪氧化程度越大，TBARs值越高，这与张凯歌^[26]研究煮制条件对卤鸡腿脂质氧化影响的结果一致。综上所述，蒸制熟化能够有效控制酱卤风味牛肉的脂肪氧化程度。

2.7 熟化方式对酱卤风味牛肉PAHs含量的影响

表6 不同熟化方式酱卤风味牛肉的PAHs含量

Table 6 PAHs content of sauce-marinated beef cooked by different methods

PAHs	烤制	煎制	炸制	蒸制	煮制	微波
BaA	1.36±0.13 ^a	1.37±0.23 ^a	1.25±0.11 ^a	0.37±0.34 ^c	0.70±0.35 ^b	0.58±0.09 ^b
CHR	1.36±0.12 ^a	1.30±0.21 ^a	1.17±0.11 ^a	0.35±0.16 ^b	0.67±0.05 ^b	0.51±0.07 ^b
BbFA	2.77±0.16 ^a	2.82±0.21 ^a	1.42±0.14 ^b	0.96±0.14 ^c	1.24±0.12 ^{bc}	0.89±0.03 ^c
BaP	2.81±0.15 ^b	3.04±0.09 ^{ab}	3.28±0.20 ^a	1.42±0.21 ^{cd}	1.57±0.10 ^c	1.13±0.17 ^d
总含量	8.30±1.74 ^a	8.53±0.39 ^a	7.12±0.44 ^a	3.11±0.54 ^c	4.18±0.48 ^b	3.10±0.04 ^c

注：同行小写字母不同，表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

肉类产品加工过程中PAHs大多由于营养素在高温条件下经裂解、环化等一系列复杂化学反应形成，影响PAHs生成的因素包括原料脂肪含量、处理时间和温度等^[27-28]，因此不同熟化方式对酱卤风味牛肉PAHs含量影响较大。由表6可知，不同熟化方式酱卤风味牛肉BaA、CHR和BbFA含量变化趋势相同，即烤制、煎制和炸制熟化3组的含量均高于蒸制、煮制和微波3组且差异显著（ $P<0.05$ ），且烤制与煎制熟化组间无显著差异。BaP被国际癌症研究机构列为强致癌物质，曾被认定为衡量PAHs致癌性的指标^[29]。在本研究中，烤制、煎制和炸制熟化酱卤风味牛肉中BaP含量高于蒸制、煮制和微波熟化组，且差异显著（ $P<0.05$ ），可能是烤制、煎制和炸制处理的温度较高所致。蒸制、煮制、微波熟化组的BaP含量虽然有所不同，但蒸制与煮制熟化组之间、蒸制与微波熟化组之间差异并不显著。对于4种PAHs的总含量，烤制、煎制、炸制熟化组显著高于蒸制、煮制、微波熟化组（ $P<0.05$ ），且煮制熟化组显著高于蒸制和微波熟化组（ $P<0.05$ ）。综上所述，为减少酱卤风味牛肉中有害物质PAHs的含量，应优先选择蒸制、微波2种熟化方式。

3 结论

研究6种熟化方式（烤制、炸制、煎制、蒸制、煮制、微波）对酱卤风味牛肉品质（感官评分、色泽、水

分含量、pH值、脂质氧化）及有害物质PAHs含量的影响。结果表明：与煮制熟化相比，烤制（180℃）、煎制（180℃）和炸制（160℃）对酱卤风味牛肉的品质影响较大，且处理后牛肉中化学危害物PAHs含量较高；相对而言，微波和蒸制熟化的酱卤风味牛肉PAHs含量较低，尤其以蒸制熟化酱卤风味牛肉的品质良好。总而言之，6种熟化方式中，蒸制熟化酱卤风味牛肉品质更加接近传统卤煮牛肉品质。

参考文献：

- [1] 李博文, 孔保华, 杨振, 等. 超声波处理辅助腌制对酱牛肉品质影响的研究[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(1): 1-4. DOI:10.3969/j.issn.1005-1295.2012.01.001.
- [2] 谢美娟, 何向丽, 李可, 等. 卤煮时间对酱卤鸡腿品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 33-37. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.21.006.
- [3] 张凯歌, 赵改名, 柳艳霞. 煮制条件对卤鸡腿脂质氧化的影响研究[J]. 食品科技, 2017, 42(11): 154-162. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2017.11.028.
- [4] 毕姗姗. 煮制条件对卤鸡腿品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014: 34-43.
- [5] MIN S, PATRA J K, SHIN H S. Factors influencing inhibition of eight polycyclic aromatic hydrocarbons in heated meat model system[J]. Food Chemistry, 2018, 239: 993-1000. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.07.020.
- [6] KUMAR A V, KOTHIYAL N C, KUMARI S A, et al. Determination of some carcinogenic PAHs with toxic equivalency factor along roadside soil within a fast developing northern city of India[J]. Journal of Earth System Science, 2014, 123(3): 479-489. DOI:10.1007/s12040-014-0410-7.
- [7] MIRSADEGHI S A, ZAKARIA M P, YAP C K, et al. Risk assessment for the daily intake of polycyclic aromatic hydrocarbons from the ingestion of cockle (*Anadara granosa*) and exposure to contaminated water and sediments along the west coast of Peninsular Malaysia[J]. Journal of Environmental Sciences, 2011, 23(2): 336-345. DOI:10.1016/S1001-0742(10)60411-1.
- [8] European Union. No 835/2011 of 19 August 2011 amending regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for polycyclic aromatic hydrocarbons in foodstuffs[S]. Official Journal of the European Union, 2011.
- [9] 温荣欣, 陈倩, 秦泽宇, 等. 煎炸肉制品中杂环胺的控制技术及体内代谢调控研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 298-304. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.01.052.
- [10] 孟晓霞, 彭增起, 冯云. 煎炸对肉制品中杂环胺及多环芳烃化合物含量的影响及其控制措施[J]. 肉类研究, 2009, 23(6): 52-55.
- [11] LU Fei, GUNTER K K, CHENG Qiaofen. Heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in commercial ready-to-eat meat products on UK market[J]. Food Control, 2017, 73: 306-315. DOI:10.1016/j.foodcont.2016.08.021.
- [12] 王阳, 刘文涛, 潘锦峰, 等. 熟化方式对预制鲍鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 69-75. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201803011.
- [13] O'NEILL C M, CRUZ-ROMERO M C, DUFFY G, et al. Comparative effect of different cooking methods on the physicochemical and sensory characteristics of high pressure processed marinated pork chops[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2019, 54: 19-27. DOI:10.1016/j.ifset.2019.03.005.



- [14] 黄艳梅, 郇延军. 微波辅助酱制生产酱卤肉制品的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 290-295. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.16.049.
- [15] 王东, 李开雄, 李星科, 等. 酱牛肉生产工艺的改进[J]. 山西食品工业, 2005(4): 13-15. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2005.11.012.
- [16] OZ F, AKSU M I, TURAN M. The effects of different cooking methods on some quality criteria and mineral composition of beef steaks[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(4): e13008. DOI:10.1111/jfpp.13008.
- [17] SOLADOYE O P, SHAND P, DUGAN M E R, et al. Influence of cooking methods and storage time on lipid and protein oxidation and heterocyclic aromatic amines production in bacon[J]. Food Research International, 2017, 99: 660-669. DOI:10.1016/j.foodres.2017.06.029.
- [18] 朱萌, 何洁, 刘欢, 等. 酱制牛肉感官分析模型的研究[J]. 肉类研究, 2007, 21(5): 47-49.
- [19] 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. 食品安全国家标准 熟肉制品: GB 2726—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-2.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品pH值的测定: GB 5009.237—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-4.
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-2.
- [22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定: GB 5009.181—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 3-5.
- [23] NIE Wen, CAI Kezhou, LI Yuzhu, et al. Small molecular weight aldose (*D*-glucose) and basic amino acids (*L*-lysine, *L*-arginine) increase the occurrence of pahs in grilled pork sausages[J]. Molecules, 2018, 23(12): 3377. DOI:10.3390/molecules23123377.
- [24] 周琪. 微波对牛肉品质影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010: 1-9.
- [25] 张兰. 传统中式烹饪工艺对牛肉品质影响的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2017: 25-30.
- [26] 张凯歌. 煮制条件对卤鸡腿脂质氧化的影响研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2018: 39-44.
- [27] 聂文, 屠泽慧, 蔡克周, 等. 食品加工过程中多环芳烃生成机理的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 269-274. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201815039.
- [28] SINGH L, VARSHNEY J G, AGARWAL T, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons' formation and occurrence in processed food[J]. Food Chemistry, 2016, 199(2): 768-781. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.12.074.
- [29] MAHUGIJA J A M, EMMANUEL N. Effects of washing on the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contents in smoked fish[J]. Food Control, 2018, 93: 139-143. DOI:10.1016/j.foodcont.2018.05.050.