

呼吸式滚揉腌制对中式酱牛肉 挥发性物质的影响

Effects of breathing tumbling on volatile substances of Chinese soy-sauced beef

刘丹丹^{1,2} 赵培^{1,2} 陈金玉^{1,2}

LIU Dan-dan^{1,2} ZHAO Pei^{1,2} CHEN Jin-yu^{1,2}

赵文颖³ 刘忠敏⁴ 吴子健^{1,2}

ZHAO Wen-ying³ LIU Zhong-min⁴ WU Zi-jian^{1,2}

(1. 天津商业大学生物技术与食品科学学院, 天津 300134; 2. 天津市食品生物技术重点实验室, 天津 300134; 3. 天津市技术物理研究所, 天津 300192; 4. 天津至美斋食品有限公司, 天津 300393)

(1. College of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China; 2. Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, Tianjin 300134, China; 3. Tianjin Institute of Technical Physics, Tianjin 300192, China; 4. Tianjin Zhimeizhai Food Co., Ltd., Tianjin 300393, China)

摘要:目的:改进中式酱牛肉生产工艺、产品风味等。方法:对比传统静态腌制,利用固相微萃取—气相色谱—质谱技术(SPME/GC-MS)分析呼吸式滚揉腌制对酱牛肉挥发性成分的影响。结果:呼吸式滚揉腌制加工的酱牛肉与传统静态的主要香气成分一致,均是以醛类、烃类、醇类、酯类和酮类为主,其中各类代表物质分别为苯甲醛、茴香烯、桉树醇、乙酸丁香酚酯和 2-丁酮。挥发性物质在种类和相对含量上存在一定差异,其中烃类物质在数量上显著高于其他物质,传统静态腌制加工酱牛肉中含有 23 种烃类物质,经呼吸式滚揉腌制的酱牛肉烃类物质种类显著低于对照组,仅为 11 种;醛类作为酱牛肉中主要风味来源其相对含量显著高于其他物质,2 种腌制方式中分别为 37.48%, 34.28%。酱牛肉中醇类物质主要来源于香辛调味料;呼吸式滚揉腌制使得酱牛肉中酯类物质增加,其相对含量也随之增加;GC-MS 分析结果显示,由呼吸式滚揉腌制与传统静态腌制加工的酱牛肉香气特征具有显著性差异。结论:SPME/GC-MS 可以较好地分析比

较不同腌制方式加工酱牛肉的挥发性物质。

关键词:腌制方式;中式酱牛肉;可挥发性物质;固相微萃取;气相色谱—质谱联用(GC-MS)

Abstract: **Objective:** This study aimed to improve the production technology and flavor of Chinese beef sauce. **Methods:** Compared with traditional static curing, the effects of breathing rolling curing on volatile components of beef were analyzed by SPME/GC-MS. **Results:** The main aroma components of the beef in breathing rolling and curing process were the same as those in traditional static state, which were mainly aldehydes, hydrocarbons, alcohols, esters and ketones, among which the representative substances were benzaldehyde, anisene, cineol, eugenol acetate and 2-butanone. There were some differences in the types and relative contents of volatile substances, among which the number of hydrocarbons was significantly higher than that of other substances. There were 23 kinds of hydrocarbons in the traditional static pickled beef, and only 11 kinds of hydrocarbons in the breathing rolling pickled beef were significantly lower than that in the control group. The relative content of aldehydes, as the main flavor source of the sauce beef, was significantly higher than that of other substances, which were 37.48% and 34.28% in the two curing methods, respectively. The alcohols in soy beef mainly come from spicy seasoning. The ester compounds in beef were increased and their relative contents were also increased with the breathing rolling and kneading curing. The results of GC-MS analysis showed that there was significant difference be-

基金项目:天津市重点研发计划项目(编号:19YFFCYS00210);
国家自然科学基金青年项目(编号:31701612)

作者简介:刘丹丹,男,天津商业大学在读硕士研究生。

通信作者:赵培(1978—),女,天津商业大学副教授,硕士。

E-mail: zhaopei@tjcu.edu.cn

吴子健(1973—),男,天津商业大学教授,博士。

E-mail: wzjian@tjcu.edu.cn

收稿日期:2021-11-18

tween the aroma characteristics of the beef processed by breathing rolling curing and traditional static curing. **Conclusion:** SPME/GC-MS can be used to analyze and compare volatile substances in beef with different curing methods.

Keywords: curing method; Chinese soy-sauce beef; volatile substances; solid phase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

酱牛肉是以牛前腱子肉为原料,经一系列加工制作而成的传统佳肴,其中腌制是酱牛肉加工过程中至为重要的环节,在此过程中牛肉能形成独特的腌制风味和色泽,并具有提高酱牛肉品质的作用^[1]。传统中式酱牛肉^[2]静态腌制加工制作周期长、产品风味由于腌制液渗透不充分导致不均匀,且煮制过后需要较长时间的焖制,生产效率低,而且酱牛肉的出品率也较低^[3]。

滚揉腌制是提高中式酱牛肉生产效率及适度提高出品率的方法^[4]。原料肉在滚筒中被摔打、撕裂以及肌肉组织松弛膨胀的过程,缩短了腌制液的渗透,提高了味道的均匀性^[5],因而可有效提高肉制品的质量,使肉品嫩化,风味亦得到相应的改善^[6]。与常用的真空滚揉法相比,呼吸式滚揉腌制是一种在滚揉过程中正压与负压交替进行的一种滚揉腌制方式,原料肉在此过程中受到正压时的压迫作用和负压时的舒张作用,压力有规律的变化使得腌制液在组织中呈周期性地吸入和挤出的运动,进而达到缩短腌制时间且提高腌制效果的目的。王兆平等^[7]研究发现随着滚揉里程的增大,兔肉中挥发性风味物质种类整体呈减小的趋势;黄瀚等^[8]研究表明滚揉处理后的腌制兔肉能降低其风味强度,有助于兔肉风味的改善。研究拟探讨呼吸式滚揉腌制对中式传统酱牛肉挥发性成分的影响,以期对呼吸式滚揉腌制在中式酱牛肉生产工艺的改进、产品风味的稳定、规模化生产的标准化提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

冷冻去骨牛前腱肉:巴西 JBS-Friboi 集团;
食盐、味精、香辛料等:市售。

1.2 仪器与设备

蒸煮桶:BZZT-IV-90 型,浙江嘉兴艾博实业有限公司;

真空搅拌机:BVBj-30F 型,浙江嘉兴艾博实业有限公司;

电自动高压腌肉注射器:丹东沃隆电子商务有限公司;

气相色谱—质谱联用仪:GCMS-QP2010 型,日本岛津公司;

固相微萃取装置:包括手柄和 65 μm PDMS/DVB 固

相微萃取装置,美国 Supelco 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 酱牛肉加工工艺流程

冷冻去骨牛前腱肉→低温高湿解冻→修整分割成 0.4 kg 大小的肉块→滚揉腌制→蒸煮→真空包装→4 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏

1.3.2 酱牛肉的腌制与蒸煮制备 参照文献^[9]的方法并修改:静置腌制(CK 组)是将剔骨分割好的牛腱子浸入配制好的腌制液,使肉内外腌制液浓度达到一致;呼吸式滚揉组(BR 组)将腌制液(注入量为肉重的 20%)用盐水注射器注入到剔骨分割好的牛腱子肉中,原料肉放入真空滚揉机中,设定真空度为 -0.06 MPa,正转 5.0 min—静置 2.5 min—反转 5.0 min—静置 2.5 min,然后将真空去除,充氮气至正压力为 0.06 MPa,正转 5.0 min—静置 2.5 min—反转 5.0 min—静置 2.5 min,间歇 30.0 min,重复操作 1 次,总时间为 60.0 min。所有腌制好的原料肉均于 0~4 $^{\circ}\text{C}$ 下备用待蒸煮。腌制好的原料按传统工艺添加相同比例的香辛料和老汤进行煮制。

1.3.3 可挥发性物质含量测定 蒸煮好的酱牛肉置于灭菌托盘上沥干卤汁,参照郭昕等^[10]的方法并略作修改:将酱牛肉样品均匀切成 0.008 cm^3 立方体大小的小块,准确称取 2.00 g 加入到 20.00 mL 顶空样品瓶中并加盖密封;参照魏玲^[11]的方法将装有肉样的顶空样品瓶垂直于 60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 15 min,再将 PDMS/DVB 固相微萃取头垂直插入顶空瓶内吸附 15 min;将萃取头拔出,立即插入 GC-MS 进样口中,进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,解析 5.0 min;GC 条件^[12]:色谱柱为 HP-5MS 石英毛细柱(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.24 μm)、载气体为高纯氦气(纯度 $\geq$ 99.999%)、柱流量 1.0 mL/min(恒温模式)、分流比 5:1。气相色谱升温程序:起始柱温 50 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 80 $^{\circ}\text{C}$,以 2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 140 $^{\circ}\text{C}$,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 210 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min;质谱条件:电子电离源、离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$ 、离子化电压 80 eV、四极杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$ 、全扫描模式、质量扫描范围 m/z 30~500、溶剂延迟时间 2 min。

1.4 数据统计与分析

GC-MS 数据由日本岛津公司 GC-MS 设备系统自带软件 GC-MS solution 2.0 处理。定量分析采用峰面积归一法,定性分析是将检测出的成分与 NIST 2011 质谱数据库相匹配,采用 Origin 10.0 软件进行绘图。

2 结果与讨论

2.1 腌制工艺对中式酱牛肉中挥发性风味物质的影响

两种腌制方式加工酱牛肉的总离子流图见图 1,挥发性风味化合物种类与相对含量见表 1。

由表 1 可知,从挥发性成分的种类上来说,成品酱牛肉的可挥发性成分主要为 8 类物质,包括醛类、烃类、醇

类、酯类、酮类以及其他类。CK 组共检出 58 种可挥发性物质,其中烃类种类最多,其次是醛类和醇类,分别为 23, 11,8 种。BR 组共检出 44 种挥发性物质,主要为烃类(11 种)、醛类(9 种)和酯类(8 种)。从各类挥发性成分的相对含量上来说,醛类(37.48%)、烃类(19.67%)和醇类(16.82%)挥发性物质是 CK 组中相对含量较多的挥发性物质,BR 组中相对含量较多的是依次醛类(34.28%)、酯类(20.68%)和酮类(16.05%),说明呼吸式滚揉腌制中酯类和酮类挥发性物质相对含量较静态腌制的多。

2.2 醛类挥发性成分分析

由表 2 可知,两种酱牛肉中相对含量最高的均是苯甲醛(不饱和醛类物质,≥10%),CK 组中含有 11 种醛类化合物,其中 9 种属于饱和醛(3-甲基丁醛、2-异丙基丁醛、戊醛、己醛、庚醛、辛醛、壬醛、十三醛、十四烷醛),2 种属于不饱和醛(2-甲基-3-苯基丙醛和苯甲醛);BR 组中含有 9 种醛类物质,其不饱和醛种类与 CK 组一致,而饱和醛种类比CK组少2种(3-甲基丁醛和戊醛);与CK组相

表 2 酱牛肉中醛类挥发性风味物质种类与相对含量

Table 2 Types and relative contents of aldehydes volatile flavor substances in soy-sauced beef

化合物 种类	名称	保留时 间/min	相对含量/%	
			CK	BR
饱和 醛类	3-甲基丁醛	2.669	1.64	—
	2-异丙基丁醛	2.793	2.96	4.71
	戊醛	3.287	3.82	—
	己醛	5.779	6.60	6.23
	庚醛	9.421	1.96	1.32
	辛醛	13.528	2.43	1.71
	壬醛	17.640	4.75	4.33
	十三醛	34.158	0.64	0.55
	十四烷醛	39.098	1.57	3.43
不饱和 醛类	2-甲基-3-苯基丙醛	1.889	0.92	1.69
	苯甲醛	11.717	10.19	10.31

比,BR 中相对含量差异性变化较大的其他醛类挥发性物质 2-异丙基丁醛、十四烷醛和 2-甲基-3-苯基丙醛显著增加。3-甲基丁醛具有苹果香味,而戊醛具有刺激性气味。苯甲醛具有苹果香味、杏仁味,而饱和醛类化合物中己醛、壬醛等的相对含量较高,所代表的风味分别为生油脂、青草气及脂肪甜香味^[13]。

2.3 烃类挥发性成分分析

酱牛肉中烃类挥发性成分主要来源于牛肉原料中脂肪烷氧基的裂解和脂肪降解,通常饱和烃的阈值较高,对风味影响不大,而不饱和烃阈值较低,对风味影响较大^[14]。由表 3 可知,从种类上来说,CK 和 BR 中共有 25 种烃类物质,其中饱和烃类 12 种,不饱和烃类 13 种;饱和烃类化合物中,BR 中仅检测出 3 种,且甲苯、1-烯丙基-2-甲苯与 1,6-辛二烯-3-醇-1,3,7-二甲基含量增加。

2.4 醇类挥发性成分分析

酱牛肉中醇类化合物主要是脂质在脂肪氧合酶和氢过氧化酶作用下,通过降解亚油酸的氧化反应产生^[15]。由表 4 可知,2 种酱牛肉中检出的醇类化合物主要为不饱和醇类,而醇类来源于脂肪的氧化降解,其饱和醇由于阈值高,对酱牛肉风味贡献较小;而不饱和醇由于阈值低,对风味贡献较大^[16]。其中,桉树醇(味辛冷,来源于姜科植物)含量最高,而呼吸式滚揉腌制的酱牛肉使其含量降低。3-甲基-1-丁醇有苹果白兰地香气和辛辣味,是一种不愉快的气味;1-辛烯-3-醇具有蘑菇、薰衣草、玫瑰和干草香气,主要存在于薄荷类、百里香及鲜蘑菇中,属天然等同香料;4-萜烯醇、 α -松油醇、3,4-二甲基环己醇等分别具有肉豆蔻、丁香、甜花香等风味,可推测醇类化合物主要来源于香辛调味料。虽然醇类化合物对肉味香气的形成影响不如挥发性醛类显著,但在酱牛肉整体风味中也

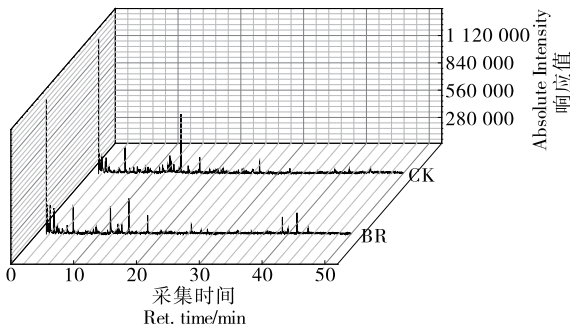


图 1 两种腌制方式加工酱牛肉挥发性成分的总离子流图

Figure 1 Total ion flow diagram of soy-sauced beef processed by two tumbling methods

表 1 酱牛肉的挥发性风味化合物种类与相对含量

Table 1 Types and relative contents of volatile flavor compounds in beef with different soy-sauced beef

化合物 类别	种类		相对含量/%	
	CK	BR	CK	BR
醛类	11	9	37.48	34.28
烃类	23	11	19.67	12.23
醇类	8	7	16.82	11.40
酯类	3	8	2.11	20.68
酮类	6	6	11.98	16.05
其他类	5	1	5.01	0.56
醚类	1	1	0.94	0.73
酸类	1	1	0.41	0.27

有关键的贡献^[17]。

2.5 酯类挥发性成分分析

由表 5 可知,CK 中酯类化合物种类和相对含量较低,而 BR 中酯类化合物含量显著高于 CK,由于酯类物质的阈值一般比较低,即使含量低,也对发酵牛肉整体风味有较大贡献,且酯类物质多有特殊气味,能够起到调味的作用^[18]。这可能是导致呼吸式滚揉腌制加工的酱牛肉与传统静态腌制加工的酱牛肉风味差异的关键。

2.6 酮类挥发性成分分析

酱牛肉中酮类化合物是由不饱和脂肪酸受热氧化或降解以及氨基酸降解而产生的^[19]。由表 6 可知,2 种酱牛肉样品中酮类化合物种类和相对含量差异显著,其中相对含量较高的丙酮、2-丁酮与 3-羟基-2-丁酮分别具有

表 3 酱牛肉中烃类挥发性风味物质种类与相对含量
Table 3 Types and relative contents of hydrocarbon volatile flavor compounds in soy-sauced beef

化合物 种类	名称	保留时 间/min	相对含量/%	
			CK	BR
饱和 烃类	2,4-二甲基十一烷	6.420	0.25	—
	十二烷	15.715	0.93	3.02
	2,3,4-三甲基癸烷	21.390	0.51	—
	2-溴十二烷	21.530	0.27	—
	3,6-二甲基十一烷	21.860	0.38	—
	8-甲基十七(碳)烷	22.165	0.29	—
	氯代十八烷	22.940	0.31	—
	十五烷	23.705	0.57	—
	十七烷	23.780	—	0.29
	十三烷	24.995	0.56	—
	十四烷	28.445	0.37	—
	二十一烷	31.775	0.39	0.29
	甲苯	4.755	0.91	2.39
	乙苯	7.710	1.00	—
	邻二甲苯	8.090	1.29	0.60
	聚苯乙烯	8.890	0.94	0.51
	α -蒎烯	10.610	0.56	0.21
	蒎烯	11.185	0.56	0.56
	(1S)-6,6-二甲基-2-亚甲基二环[3.1.1]庚烷	12.320	0.31	—
	叔丁苯	14.260	1.14	—
不饱和 烃类	1-烯丙基-2-甲苯	14.383	—	0.61
	己基苯	14.525	2.39	3.40
	1,6-辛二烯-3-醇-1,3,7-二甲基	17.464	—	0.35
	茴香烯	24.540	4.77	—
	石竹烯	29.290	0.42	—

特殊的辛辣气味、令人愉快的奶油香味。酮类化合物中的 2-甲基四氢呋喃-3-酮与 2-庚酮在 CK 中未被检出,其分别具有甜香、坚果香、奶油香、类似梨的水果香味。虽

表 4 酱牛肉中醇类挥发性风味物质种类与相对含量
Table 4 Types and relative contents of alcohol volatile flavor substances in soy-sauced beef

化合物 种类	名称	保留时 间/min	相对含量/%	
			CK	BR
饱和 醇类	3-甲基-1-丁醇	4.056	0.74	0.91
	2-甲基-1-丁醇	4.144	0.30	0.46
不饱和 醇类	2-丁烯-1-醇	1.834	1.25	—
	2-苯并呋喃甲醇	7.738	—	0.70
	1-辛烯-3-醇	12.593	0.54	0.73
	桉树醇	14.647	11.60	7.19
	4-萜烯醇	20.535	0.89	0.59
	α -松油醇	21.049	0.80	0.82
	3,4-二甲基环己醇	23.454	0.70	—

表 5 酱牛肉中酮类挥发性风味物质种类与相对含量
Table 5 Types and relative contents of ketone volatile flavor compounds in soy-sauced beef

名称	保留时 间/min	相对含量/%	
		CK	BR
乙酸乙酯	2.250	—	0.51
醋酸丁酯	6.302	—	0.24
2-乙基-己酸乙酯	13.345	—	2.75
丙酸芳樟酯	17.475	0.52	3.29
乙酸丁香酚酯	27.153	1.21	4.52
邻苯二甲酸二异丁酯	39.991	—	0.77
邻苯二甲酸二丁酯	41.411	—	4.00
MYO-肌醇六乙酸酯	43.185	0.38	4.60

表 6 酱牛肉中酮类挥发性风味物质种类与相对含量
Table 6 Types and relative contents of ketone volatile flavor compounds in soy-sauced beef

名称	保留时 间/min	相对含量/%	
		CK	BR
丙酮	1.640	3.77	2.52
2-丁酮	2.120	4.54	6.32
3-羟基-2-丁酮	3.512	0.57	3.32
2-甲基四氢呋喃-3-酮	5.955	—	0.33
2-庚酮	9.000	—	0.85
2,3-辛二酮	12.792	1.63	—
6-甲基-5-庚烯-2-酮	12.892	1.24	2.71
2-壬酮	17.162	0.23	—

然 2 种样品中酮类化合物差异较大,但酮类化合物阈值较高,对酱牛肉风味差异影响较小。

2.7 其他类挥发性成分分析

由表 7 可知,2 种酱牛肉中主要检出了 5 种其他类物质,而 BR 中仅检出甲氧基苯酚。其中,呋喃类物质是最丰富的美拉德反应产物,主要在焦糖化和糖降解过程中产生,尽管在肉类成分中无太多贡献,但其能促进肉制品在加工过程中的整体风味^[20]。酱牛肉中检出的 2-正戊基呋喃具有肉品的烘烤味和坚果味。而含氮、含硫及杂环化合物阈值较低,主要通过美拉德反应,由氨基酸和硫胺素热解生成,是肉品中最重要的风味物质,且含硫化合物对产品风味贡献较大。

表 7 酱牛肉中其他类挥发性风味物质种类与相对含量
Table 7 Species and relative contents of other volatile flavor substances in soy-sauced beef

名称	保留时间/min	相对含量/%	
		CK	BR
1-2-乙氧羰乙基吡啶	2.090	1.59	—
2-正戊基呋喃	13.083	1.15	—
4,6-二甲基嘧啶	24.382	1.59	—
二甲基二硫	4.274	0.36	—
甲氧基苯酚	9.614	0.32	0.56

2.8 醚类和酸类挥发性成分分析

由表 8 可知,2 种酱牛肉中醚类和酸类化合物均仅检出 1 种,检出的 4-烯丙基苯甲醚可能来自添加的八角茴香、小茴香、大茴香等物质,其赋予酱牛肉愉快的香气和醇厚感^[21]。酸类物质可能是甘油三酯和磷脂的水解产物,也可能由醇和醛氧化产生。因为酸类化合物挥发性较低,通常作为非挥发性风味物质,对酱牛肉风味影响较小。

3 结论

采用顶空固相微萃取结合气质联用的方法,检测不同腌制处理的酱牛肉中挥发性风味物质的种类。结果表明,呼吸式滚揉腌制加工对酱牛肉中主要挥发性成分影

表 8 酱牛肉中醚类与酸类挥发性风味物质种类与相对含量

Table 8 Types and relative contents of ether and acid volatile flavor compounds in soy-sauced beef

化合物种类	名称	保留时间/min	相对含量/%	
			CK	BR
醚类	4-烯丙基苯甲醚	21.342	0.94	0.73
酸类	4-酮庚二酸	8.476	0.41	0.27

响较小,主要成分为醛类、烃类、醇类、酯类和酮类物质。醛类物质相对含量较高,且其阈值较低,为酱牛肉的主要挥发性物质,其中具有苹果香味、杏仁味的苯甲醛相对含量约占 10%;烃类物质种类为 23 种,占总检出的 33%;酱牛肉中醇类物质主要来源于添加的香辛料;呼吸式滚揉腌制的酱牛肉酯类物质种类为 8 种,占总检出的 20.68%,丰富了酱牛肉的风味;酮类、醚类与酸类物质相对含量较低,对整体风味影响较小。通过呼吸式滚揉腌制加工的酱牛肉在风味物质方面既能保持传统风味,也能产生一些新挥发物质,增加酱牛肉的风味。

参考文献

[1] 杨爽, 杨萍, 徐琳, 等. 超高压处理协同低温贮藏对卤牛肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 334-343.
YANG Shuang, YANG Ping, XU Lin, et al. Ultrahigh pressure processing synergy cryopreservation of spiced beef quality[J]. The Influence of the Food Industry Science and Technology, 2021, 42 (21): 334-343.

[2] 李娟, 韩东, 米思, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 法优化酱牛肉中挥发性风味物质萃取条件[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 266-273.
LI Juan, HAN Dong, MI Si, et al. Optimization of extraction conditions of volatile flavor compounds from beef sauce by HS-SPME-GC-MS method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(15): 266-273.

[3] PRABHU G, HUSAK R, SMITH R. Use of stabilized rice bran as a replacer of soy protein concentrate or meat in a beef and binder product[J]. Meat and Muscle Biology, 2017(3): 32.

[4] 高子武, 吴丹璇, 王恒鹏, 等. 腌制方式对牛肉肌原纤维蛋白特性及水分分布的影响[J/OL]. 食品与发酵工业. (2021-05-21) [2021-09-29]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.027285>.
GAO Zi-wu, WU Dan-xuan, WANG Heng-peng, et al. Effects of salting methods on the characteristics and water distribution of beef myofibrin[J/OL]. Food and Fermentation Industry. (2021-05-21) [2021-09-29]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.027285>.

[5] ZANG Ming-wu, WANG Lan, ZHANG Zhe-qi, et al. Comparison of volatile Flavor compounds from seven types of spiced beef by headspace solid-phase micro extraction combined with gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry (HS-SPME-GC-O-MS) [J]. Food Science and Technology Research, 2020, 26(1): 25-37.

[6] 罗青雯, 刘成国, 周辉, 等. 真空腌制与传统腌制加工过程中猪肉的品质变化[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 56-62.
LUO Qing-wen, LIU Cheng-guo, ZHOU Hui, et al. Quality change of preserved meat during vacuum curing and traditional curing[J]. Food & Machinery, 2015, 31(2): 56-62.

[7] 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: 57-63.
WANG Zhao-ming. Study on the process and quality characteristics of rolling and curing rabbit meat[D]. Chongqing: Southwest Univer-

- sity, 2016: 57-63.
- [8] 黄瀚. 不同腌制方式对兔肉及其产品加工过程品质的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2016: 58-73.
HUANG Han. Effects of different curing methods on the quality of rabbit meat and its products during processing [D]. Chongqing: Southwest University, 2016: 58-73.
- [9] 刘丹丹, 吴子健, 刘士敏, 等. 滚揉方式对中式传统酱牛肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(7): 15-20.
LIU Dan-dan, WU Zi-jian, LIU Zhong-min, et al. Effects of rolling and kneading methods on the quality of beef with traditional Chinese sauce[J]. Meat Research, 2021, 35(7): 15-20.
- [10] 郭昕, 黄峰, 张春江, 等. 静态变压腌制技术对猪肉品质的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(11): 2 229-2 240.
GUO Xin, HUANG Feng, ZHANG Chun-jiang, et al. Effects of static pressure pickling on pork quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(11): 2 229-2 240.
- [11] 魏玲. 鸭肉脱脂加工过程中的脂质氧化及风味调控研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017: 72-81.
WEI Ling. Lipid oxidation and flavor regulation of duck meat during defatting process[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2017: 72-81.
- [12] 臧明伍, 张凯华, 王守伟, 等. 基于 SPME-GC-O-MS 的清真酱牛肉加工过程中挥发性风味成分变化分析[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 117-121.
ZANG Ming-wu, ZHANG Kai-hua, WANG Shou-wei, et al. Analysis of volatile flavor components in beef with Halal sauce during processing based on SPME-GC-O-MS[J]. Food Science, 2016, 37(12): 117-121.
- [13] 汤春辉, 黄明, 樊金山, 等. 调理鸭胸肉制品滚揉腌制工艺优化[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 63-67.
TANG Chun-hui, HUANG Ming, FAN Jin-shan, et al. Optimization of rolling and curing process for prepared duck breast meat[J]. Food Science, 2013, 34(14): 63-67.
- [14] 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 Qian-rong, ZHU Ning, ZHOU Hui-min, et al. The processing technology of sauce beef protein degradation and the influence of the flavor substances in[J]. Food Science, 2021, 42(12): 76-84.
- [15] 李聪. 磷脂分子及加工工艺对盐水鸭特征风味形成影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 27-43.
LI Cong. Effects of phospholipid molecules and processing technology on characteristic flavor formation of salted duck[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 27-43.
- [16] 汤春辉. 滚揉腌制对调理鸭胸肉制品品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 17-19.
TANG Chun-hui. Effect of rolling and curing on quality of prepared duck breast meat[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012: 17-19.
- [17] ZHOU Ya-jun, ZHANG Yu-xia, DONG Xue-wen. Determination of heterocyclic amines in braised sauce beef and the effects of different cooking conditions on the formation of heterocyclic amines[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 102(2): 617-627.
- [18] ZHOU Ya-jun, WANG Xue-song, CHEN Yan, et al. Effects of different paprika as on the quality characteristics and volatile flavor components of spiced beef[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(4): e15353.
- [19] 刘梦娟, 蔡云洁, 梁子豪, 等. 滚揉工艺对调理鸡胸肉制品出品率的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 6-10.
LIU Meng-juan, CAI Yun-jie, LIANG Zi-hao, et al. Effect of rolling kneading process on the production rate of prepared chicken breast meat products[J]. Food Science, 2016, 37(14): 6-10.
- [20] 李素, 周慧敏, 张顺亮, 等. 不同加水量腌制酱牛肉中挥发性风味物质变化[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 199-205.
LI Su, ZHOU Hui-min, ZHANG Shun-liang, et al. Changes of volatile flavor compounds in beef with different water added in pickle sauce[J]. Food Science, 2019, 40(10): 199-205.
- [21] 吴晨燕, 马俪珍, 周伟, 等. 发酵时间和发酵剂种类对牛肉调味料风味的影响[J]. 肉类研究, 2019, 33(9): 42-47.
WU Chen-yan, MA Li-zhen, ZHOU Wei, et al. Effects of fermentation time and starter species on flavor of beef seasoning[J]. Meat Research, 2019, 33(9): 42-47.
- (上接第 20 页)
- [23] 沈宏林. 十六种烟用香料卷烟迁移行为研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2009: 38-43.
SHEN Hong-lin. Research of transfer rate of sixteen flavors in cigarette blend[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2009: 38-43.
- [24] 宋瑜冰, 宗永立, 谢剑平, 等. 一些酯类香料单体在卷烟中转移率的测定[J]. 中国烟草学报, 2005, 11(3): 17-22.
SONG Yu-bing, ZONG Yong-li, XIE Jian-pin, et al. The transfer ratio of some ester flavors in cigarette[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2005, 11(3): 17-22.
- [25] 李春, 向能军, 沈宏林, 等. 一些醛、酯类香料在卷烟中的转移率与卷烟焦油量的相关性研究[J]. 应用化工, 2009, 38(10): 1 465-1 468.
LI Chun, XIANG Neng-jun, SHEN Hong-lin, et al. Research on correlation of transfer ratio of some aldehydes and esters flavors and cigarettes tar content[J]. Applied Chemical Industry, 2009, 38(10): 1 465-1 468.
- [26] 徐若飞, 刘志华, 陈章玉, 等. 一种盘纸添加剂的合成及热解分析[C]// 2004 年烟草化学组年会论文集. 广州: 中国烟草学会, 2004: 221-223.
XU Ruo-fei, LIU Zhi-hua, CHEN Zhang-yu, et al. Synthesis and pyrolysis analysis of an additive for paper tray[C]// Proceedings of the Annual Meeting of the Tobacco Chemistry Group. Guangzhou: China Tobacco Society, 2004: 221-223.