

## 基于GC-MS分析牛肉不同部位对牛肝菌牛肉酱品质及挥发性香气成分的影响

孙光城, 罗秀群, 林丹, 何莲, 陈淑桦, 李燮昕, 贾洪锋, 朱楠

### Analysis of Impact of Different Parts of Beef on the Quality and Volatile Aroma Components of Boletus Beef Sauce Based on GC-MS

SUN Guangcheng, LUO Xiuqun, LIN Dan, HE Lian, CHAN SookWah, LI Xiexin, JIA Hongfeng, and ZHU Nan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023070053>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 基于HS-SPME-GC-MS和GC-IMS结合电子鼻分析真空冷却对酱牛肉风味的影响

Analysis of the Effect of Vacuum Cooling on the Flavor of Sauce Beef Based on HS-SPME-GC-MS and GC-IMS Combined with Electronic Nose

食品工业科技. 2022, 43(9): 341-348 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021080267>

#### 不同烹饪方法对牛肉挥发性风味物质的影响

Effects of Different Cooking Methods on Volatile Flavor Compounds in Beef

食品工业科技. 2022, 43(10): 305-313 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021080198>

#### 基于模糊数学综合评判法优化江州老坛酸菜复合牛肉酱配方

Optimization of Jiang-zhou Sauerkraut Compound Beef Sauce Formula Based on Fuzzy Mathematics Comprehensive Evaluation

食品工业科技. 2020, 41(22): 172-177,184 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020020067>

#### 基于GC-IMS和电子鼻分析牛肉腐败进程中挥发性风味物质的变化

Changes of Volatile Flavor Substances of Beeves in Spoilage Process Based on Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry and Electronic Nose

食品工业科技. 2024, 45(11): 235-244 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023070121>

#### 基于SPME-GC-O-MS及质构分析对烤牛肉和植物蛋白肉的感官品质探究

Research on Sensory Quality of Roasted Beef and Plant-based Meat Analogues Based on SPME-GC-O-MS and Texture Analysis

食品工业科技. 2021, 42(12): 8-18 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021030081>

#### 超声波协同真空滚揉处理对牛肉丸质地与风味品质的影响

Effects of Ultrasonic Waves Assisted Vacuum Tumbling on Texture and Flavor Quality of Beef Balls

食品工业科技. 2023, 44(1): 136-145 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040237>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

孙光城, 罗秀群, 林丹, 等. 基于 GC-MS 分析牛肉不同部位对牛肝菌牛肉酱品质及挥发性香气成分的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(19): 216–227. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070053

SUN Guangcheng, LUO Xiuqun, LIN Dan, et al. Analysis of Impact of Different Parts of Beef on the Quality and Volatile Aroma Components of Boletus Beef Sauce Based on GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(19): 216–227. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070053

· 分析检测 ·

# 基于 GC-MS 分析牛肉不同部位对牛肝菌牛肉酱品质及挥发性香气成分的影响

孙光城<sup>1</sup>, 罗秀群<sup>1</sup>, 林丹<sup>1,2,\*</sup>, 何莲<sup>1,2</sup>, 陈淑桦<sup>2</sup>, 李燮昕<sup>1</sup>, 贾洪锋<sup>1</sup>, 朱楠<sup>1</sup>  
(1.四川旅游学院烹饪与食品科学学院, 四川成都 610100;  
2.泰莱大学生物科学院, 雪兰莪州梳邦再也 47500)

**摘要:** 本实验选用 5 个不同部位的牛肉分别制作牛肝菌牛肉酱, 包括牛后腿 (BHL)、牛肩 (BS)、牛霖 (BK)、牛腩 (BB)、牛腱子 (BT), 探讨了不同部位牛肉对香辣牛肉牛肝菌酱品质和挥发性香气成分的影响。结果表明, 牛腩制作的牛肝菌牛肉酱感官评分最高, 为 87.4 分; 质构结果显示, 牛腩制作的牛肉酱品质最好, 其硬度、弹性、胶粘性、咀嚼性为 14.01 N、4.71 mm、3.22 N、15.30 mJ; 不同部位牛肉酱的  $L^*$ 、 $a^*$  值均具有显著性 ( $P<0.05$ ) 差异; 电子鼻能有效区分不同部位牛肉制作的香辣牛肉牛肝菌酱; 风味物质方面, 检测出的挥发性风味物质为牛后腿 84 种、牛肩肉 36 种、牛腱子 52 种、牛霖 102 种、牛腩 87 种, 其主要香气成分与电子鼻分析敏感物质类型相符合, 其中己醛、D-柠檬烯、 $\alpha$ -蒎烯、二烯丙基二硫化物、茴香脑为 5 种部位共有的香气成分, 且 ROAV>1。综上所述, 采用不同的牛肉部位制作香辣牛肉牛肝菌酱, 以牛腩部位为原料为最佳。研究结果为今后牛肉类酱料烹饪加工工艺和风味特征辨别提供理论依据和数据参考。

**关键词:** 牛肉, 不同部位, 牛肉酱, 质构, 电子鼻, 气相色谱-质谱联用仪, 牛肝菌

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)19-0216-12

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070053

本文网刊:



## Analysis of Impact of Different Parts of Beef on the Quality and Volatile Aroma Components of Boletus Beef Sauce Based on GC-MS

SUN Guangcheng<sup>1</sup>, LUO Xiuqun<sup>1</sup>, LIN Dan<sup>1,2,\*</sup>, HE Lian<sup>1,2</sup>, CHAN SookWah<sup>2</sup>, LI Xiexin<sup>1</sup>,  
JIA Hongfeng<sup>1</sup>, ZHU Nan<sup>1</sup>

(1.College of Culinary and Food Science Engineering, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China;

2.School of Biosciences, Faculty of Health and Medical Sciences, Taylor's University,  
Subang Jaya 47500, Malaysia)

**Abstract:** In this experiment, five different parts of beef were selected to make boletus beef sauce, namely beef hind leg (BHL), beef shoulder (BS), beef knuckle (BK), beef brisket (BB), and beef tendon (BT), and the effects of different beef parts on the quality and volatile aroma components of spicy beef boletus sauce were investigated. The boletus beef sauce made from BB reported the highest sensory score of 87.4. In terms of texture, beef sauce made from BB exhibited the best quality, with hardness, elasticity, gumminess, and chewiness values of 14.01 N, 4.71 mm, 3.22 N, and 15.30 mJ, respectively. Significant differences ( $P<0.05$ ) in color of beef sauce were observed among different beef parts based on the  $L^*$  and  $a^*$  values. Electronic nose could effectively distinguish the spicy beef boletus sauce made from different parts of

收稿日期: 2023-07-10

**基金项目:** 四川省科技计划项目 (2019YJ0343); 烹饪科学四川省高等学校重点实验室项目 (PRKX201802); 川菜工业化四川省高等学校工程研究中心开放基金项目 (GCZX22-22); 四川旅游学院创新团队项目 (20SCTUTY03); 四川旅游学院校级科研项目 (2023SCTUZK89); 大学生创新创业训练计划项目 (S202111552128)。

**作者简介:** 孙光城 (2000-), 男, 大学本科, 研究方向: 食品加工技术, E-mail: 1053147627@qq.com。

**\* 通信作者:** 林丹 (1987-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 川菜工业化, E-mail: lindandgrtlz@qq.com。

beef. In terms of flavor substances, 84 volatile flavor substances were detected in BHL, 36 in BS, 52 in BT, 102 in BK, and 87 in BB. The main aroma components were consistent with the types of sensitive substances identified by the electronic nose. Among them, hexanal, D-limonene,  $\alpha$ -pinene, diallyl disulfide, and anethole were the common aroma components in the five parts, with ROAV>1. In summary, the BB was proven to be the best raw material in making spicy beef boletus sauce. These research findings provide a theoretical basis and data reference for the future cooking process and flavor characteristics of beef sauce.

**Key words:** beef; different parts; beef sauce; texture; electronic nose; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); boletus

目前,我国是全球肉牛的主要供给地之一,同时也是全球牛肉消费主要地区之一,2022 年我国的肉牛存栏量为 1.02 亿头<sup>[1]</sup>。牛肉是重要的优质食物资源,牛肉中的蛋白质含量大都在 20% 以上,由人体必需的 8 种氨基酸组成,且比例均衡,在摄食后几乎可全部被人体吸收利用<sup>[2]</sup>。牛肉中还富含矿物质(钾、锌、镁、铁等)和 B 族维生素。王可等<sup>[2]</sup>根据加工特点将国内牛肉制品大致归类为八个类型,包括牛肉调理制品、牛肉香肠制品、牛肉酱卤制品、牛肉脱水制品、牛肉油炸制品、牛肉罐藏制品、牛肉熏烧烤制品、牛肉腌腊制品,牛肉酱归属于牛肉调理制品。孙灵霞等<sup>[3]</sup>对牛肉的研究表明,牛肉不同部位之间品质特性具有较大差异,牛肉的成本也不同,因此,寻求感官品质好,成本低的牛肉调理制品,对牛肉调理食品的研发具有指导意义。

牛肝菌是伞菌目(Agaricales)真菌的统称,是世界著名食用菌,全球 1000 多个种,我国有 390 种以上<sup>[4]</sup>。牛肝菌含蛋白质、氨基酸、还原糖、脂肪、膳食纤维及多种矿物质等营养成分,还含有多糖、黄酮、多酚、甾体及萜类化合物等多种生物活性成分,具有抗氧化、抗肿瘤、抑菌等生理功能,有着较高的食用药用价值<sup>[4]</sup>。八碳含氧化合物、含氮杂环化合物和含硫化合物等对牛肝菌的风味具有重要作用<sup>[5]</sup>。近年来,天然风味调味料的消费需求大幅增加。天然风味调味料产业的发展趋势将是原料天然化、营养健康化、技术高新化、使用方便化等。而目前牛肝菌产品大多为干制、油炸等粗加工产品,生产工艺简单,雷镇欧等<sup>[6]</sup>、罗晓莉等<sup>[7]</sup>对于牛肝菌的研究表明牛肝菌在天然风味调味料方面具有重要应用意义。

本实验拟通过对比牛肉的 5 种不同部位(牛腩、牛霖、牛腱子、牛肩肉、牛后腿)和牛肝菌来制作牛肉牛肝菌酱,分别从感官评价、质构、色差、风味方面,对不同部位牛肉对制作的牛肉牛肝菌酱的品质和挥发性香气成分的影响进行了探讨,从而得出在实验范围内最适合制作牛肉牛肝菌酱的牛肉部位,为牛肉牛肝菌酱制品的研究提供一定的参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

牛肉 重庆恒都农业集团有限公司;黑牛肝菌 深圳市东源兴进出口有限公司;食用植物调和油、白砂糖、盐、辣椒粉、郫县豆瓣、五香粉、芝麻等调

料 均购买于成都市龙泉驿区永辉超市。

C21-IH26E8 型电磁炉 浙江苏泊尔家电制造有限公司;FOX 4000 型电子鼻 法国 Alpha MOS 公司;DC-P3 新型全自动色差计 北京市兴光测色仪器公司;TMS-Pro 食品物性仪 美国 F.T.C 公司;GCMS-QP2010Ultra 气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司;美德时 PT3003 电子水温计 美德时仪器仪表有限公司;三叶刀片-s0394 九阳手动迷你捣碎器 九阳股份有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 牛肉牛肝菌酱样品前处理 分别以牛后腿(BHL)、牛肩(BS)、牛霖(BK)、牛腩(BB)、牛腱子(BT)牛肉各 250 g 为基础,食用植物调和油 180 g,新鲜黑牛肝菌 120 g,豆瓣酱 40 g,五香粉 1.5 g,白糖 3 g,红辣椒粉 7 g,白胡椒粉 1.5 g,鸡精 7 g,芝麻 5 g,洋葱 85 g,淀粉 8 g,料酒 20 g,大葱 11 g,蒜泥 55 g,姜末 18 g。牛肉牛肝菌酱制作工艺流程见图 1。

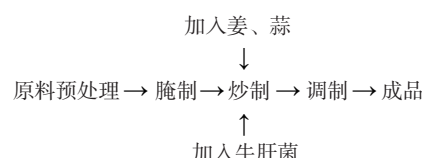


图 1 牛肉牛肝菌酱工艺流程图

Fig.1 Process flow chart of beef boletus sauce

原料预处理: 冷冻牛肉在 4 °C 下解冻 12 h。黑牛肝菌边角料清洗干净后,切成约 0.4~0.5 cm<sup>3</sup> 的粒状,备用。姜、葱洗净后使用捣碎器捣碎,备用。

腌制: 加入料酒 20 g、淀粉 8 g 腌制 30 min 清洗干净后,切成约为 0.5 cm<sup>3</sup> 的牛肉丁,备用。

炒制: 使用电磁炉(1200 W),将锅烧热,倒入 180 g 食用油,大火使油温升高到 150 °C,加入 85 g 洋葱,11 g 大葱,炸至焦黄时捞出,加入姜末 18 g,蒜泥 55 g,炒出香味,再加入红辣椒粉 7 g,豆瓣酱 40 g,小火加热至产生香辣味,且颜色红亮,再放入牛肉 250 g,黑牛肝菌 120 g,翻炒 8 min,加入五香粉 1.5 g,白糖 3 g,白胡椒粉 1.5 g,鸡精 7 g,芝麻 5 g 进行调制。搅拌均匀后起锅<sup>[8]</sup>。

1.2.2 感官评价 本实验使用相同的炒制工艺,通过对不同部位牛肉加工的牛肉牛肝菌酱产品的滋味、外观、色泽、口感进行感官评价,筛选出在实验条件下最适合制作牛肉牛肝菌酱的牛肉部位,评审人员

表 1 感官评分标准  
Table 1 Sensory scoring criteria

项目	评分标准	分值(分)
滋味(30)	具有明显的牛肝菌菌香与牛肉混合炒制滋味,辣度适宜,没有明显的糊味与焦味	21~30
	具有牛肝菌菌香味和牛肉酱香味,咸辣适宜,没有明显的焦或糊味或者异味,没有明显的腥味	11~20
	牛肝菌菌香味或者牛肉酱香味不明显,较咸或较辣或较淡,滋味一定程度上被五香粉掩盖,有一定的牛肉腥味	0~10
外观(20)	酱料混合均匀,无结块或较大的块状	14~20
	酱料混合较均匀,有一定的结块情况出现	7~13
	酱料混合不均匀,有较为明显的结块情况出现	0~6
色泽(20)	具有肉酱的色泽,有红亮光泽且均匀	14~20
	色泽较为均匀,有一定的光泽但偏淡	7~13
	色泽异常,无光泽,颜色暗淡或者偏黑	0~6
口感(30)	口感很好,有明显的牛肝菌香辣酱的风味,香辣可口,牛肉硬度合适	21~30
	口感较好,有牛肝菌香辣酱的风味,香辣度合适,牛肉粒硬度较好	11~20
	口感较差,牛肝菌香辣酱的风味不明显,香辣度不明显,牛肉粒硬度较差	0~10

为 10 名(5 男 5 女)经过培训的食品专业人员,对牛肉牛肝菌酱的感官评分标准<sup>[8]</sup>见表 1。

1.2.3 质构特性测定 探头型号:圆柱型探头,测试程序 TPA,测试速度 60 mm/min,形变量 60%,最小感应力 0.375 N,停顿 5 s。每组实验重复 3 次,取 3 次测定结果的平均值<sup>[9-10]</sup>。

1.2.4 色差测定 取炒制好的牛肉牛肝菌酱,在室温条件下利用色差计测定样品的色泽,取相同质量的样品置于色差仪中经校正后进行测定,仪器采用标准白板校正,记录  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  值。 $L^*$  值表示样品的明亮度; $a^*$  值表示样品偏红色或偏绿色; $b^*$  值表示样品偏黄色或偏蓝色。每组实验重复 5 次,取 5 次测定结果的平均值<sup>[11]</sup>。

1.2.5 电子鼻分析 准确称量 1.00 g 样品,移至 10 mL 顶空进样瓶中,密封,进行电子鼻测定。顶空加热温

度 70 ℃,加热时间 300 s,载气(空气)流量 150 mL/s,进样量(顶空气体)500  $\mu$ L,数据采集时间 120 s,数据采集延迟 180 s。不同样品测定 10 次重复,取后 3 次稳定的测定结果进行分析<sup>[12-13]</sup>。各传感器对应的敏感物质类型见表 2。

1.2.6 挥发性风味物质检测 样品处理:称取均匀样品 3.0 g 于 10 mL 顶空瓶中,60 ℃ 水浴平衡 5 min,顶空萃取 55 min,上机解析 5 min。

GC 条件:Elite-5MS(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25  $\mu$ m)极性色谱柱;载气为高纯氦气(99.999%),流速 1 mL/min,分流比 5:1,保持 2 min。进样口温度:250 ℃,升温程序:起始温度 40 ℃,保持 3 min,以 3 ℃/min 升温至 60 ℃,保持 1 min,再以 6 ℃/min 升温至 140 ℃,保持 1 min,最后以 20 ℃/min 升温至 250 ℃,保持 3 min。

MS 条件:电子电离源,离子源温度 250 ℃,电子能量 70 eV,质量扫描范围 35~400 m/z;全扫描模式。

定性方法:通过与 NIST11.L 标准谱库进行数据对比,仅保留相似度>80% 的成分。

定量方法:挥发性化合物的相对百分含量按峰面积归一法进行计算。

1.2.7 关键香气物质的确定 食品香气不仅与风味物质的浓度相关,还取决于其气味阈值与含量。ROAV 是评估香气贡献度的重要参数,ROAV 值越大的香气组分越容易被人体感知。采用 ROAV 法确定牛肉牛肝菌酱的关键香气物质。定义对香气贡献最大的香气物质 ROAV=100,根据公式计算其他香气物质的 ROAV。

$$ROAV = \frac{C_i}{C_{\max}} \times \frac{T_{\max}}{T_i} \times 100$$

式中,  $C_i$  和  $T_i$  分别为各香气成分的相对含量(%)和阈值( $\mu$ g/kg);  $C_{\max}$  和  $T_{\max}$  分别为对牛肉牛肝菌酱风味贡献最大的香气成分的相对含量(%)和阈值( $\mu$ g/kg)<sup>[14]</sup>。

表 2 传感器对应敏感物质类型

序号	传感器名称	敏感物质类型
1	LY2/LG	氯、氟、氮氧化合物、硫化物
2	LY2/G	氨、胺类化合物、氮氧化合物
3	LY2/AA	乙醇、丙酮、氨
4	LY2/Gh	氨、胺类化合物
5	LY2/gCTI	硫化物
6	LY2/gCT	丙烷、丁烷
7	T30/1	极性化合物、氯化氢
8	P10/1	非极性、碳氢化合物、氨、氯
9	P10/2	非极性;甲烷、乙烷
10	P40/1	氟、氯
11	T70/2	甲苯、二甲苯、一氧化碳
12	PA/2	乙醇、氨水、胺类化合物
13	P30/1	碳氢化合物、氨、乙醇
14	P40/2	氯、硫化氢、氟化物
15	P30/2	硫化氢、酮
16	T40/2	氯
17	T40/1	氟
18	TA/2	乙醇



1.3 数据处理

采用 WPS Office 软件对数据进行归纳整理, 利用 SPSS 19.0 软件对数据进行显著性分析, 使用 Origin 2021 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同部位香辣牛肉牛肝菌酱感官分析、质构分析及色差分析

肉品嫩度的变化来源于多个方面, 包括组成成分差异、肌肉纤维结构变化、宰前宰后因素等, 通过质构可以判断其嫩度<sup>[15]</sup>。不同部位的牛肉牛肝菌酱质构特性如表 3 所示, 牛腩(BB)部位样品与牛腱子(BT)、牛后腿(BHL)、牛肩肉(BS)、牛霖(BK)部位样品之间硬度存在显著( $P<0.05$ )差异, 牛腩部位样品硬度显著( $P<0.05$ )高于其余 4 个部位。牛霖(BK)部位样品与牛腱子(BT)、牛后腿(BHL)、牛腩(BB)部位样品弹性之间具有显著( $P<0.05$ )差异。5 个部位之间胶粘性和内聚性没有差异性。不同部位的牛肉牛肝菌酱, 牛腩与牛霖、牛腱子、牛后腿、牛肩肉之间咀嚼性具有显著( $P<0.05$ )差异, 由于牛腩处于牛腹部及靠近牛肋骨处, 脂肪积累较多, 筋膜较多, 导致咀嚼性显著( $P<0.05$ )高于其他部位<sup>[16]</sup>。综合硬度、弹性、胶粘性、咀嚼性、内聚性 5 个指标分析可得, 牛腩部位样品质构品质较好<sup>[17]</sup>。

如表 3 所示, 不同部位牛肉牛肝菌酱样品  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值均具有显著性( $P<0.05$ )差异。其中,  $L^*$  值牛腩部位样品显著高于其它部位。牛后腿部位样品的  $a^*$  值高于牛霖、牛肩、牛腱子和牛腩。牛后腿、牛霖部位样品的  $b^*$  值显著( $P<0.05$ )高于牛肩, 牛腱子显著( $P<0.05$ )高于牛腩, 由于牛肉不同部位的蛋白和脂肪在加热的过程中发生了不同的变化导致品质出现了差异<sup>[17]</sup>。

牛腩部位制成的牛肉牛肝菌酱样品感官评价最高为 87.4 分, 牛肩部位制成的牛肉牛肝菌酱样品得分最低, 为 75.6 分。牛霖部位制作的牛肉牛肝菌酱样品在口感方面表现为牛肉粒硬度较差, 咀嚼性也较差。用牛腩部位制作的牛肉酱具有明显的牛肝菌菌香与牛肉混合炒制滋味, 辣度适宜, 没有明显的糊味

与焦味, 酱料混合均匀, 无结块或较大的块状, 有红亮光泽且分布均匀, 口感香辣可口, 牛肉硬度合适。结合质构特性结果分析, 牛腩部位制作的牛肉牛肝菌酱样品其硬度和咀嚼性均较高, 与感官评分一致。

2.2 不同部位香辣牛肉牛肝菌酱电子鼻分析

通过电子鼻分析牛肉牛肝菌酱的气味指纹图谱, 结果见图 2。图中为不同部位牛肉所做牛肉牛肝菌酱对电子鼻 18 个传感器响应信号强度大小, 除 LY2/LG、LY2/G、LY2/AA、LY2/Gh、LY2/gCT1 和 LY2/gCT 传感器信号强度差异不明显, 其余 12 个传感器信号强度差异较为明显。其中传感器 T30/1 信号响应强度大小顺序为: 牛腩(BB), 牛霖(BK), 牛后腿(BHL), 牛腱子(BT), 牛肩(BS); T40/1、T40/2、P30/2、P40/2、P10/1 信号响应强度大小顺序为: 牛腩(BB), 牛霖(BK), 牛后腿(BHL), 牛肩(BS)和牛腱子(BT)相同; 其余信号响应强度大小顺序为: 牛腩(BB), 牛霖(BK), 牛后腿(BHL), 牛肩(BS), 牛腱子(BT)。表 2 列出了 18 个传感器对应的敏感物质类型<sup>[18]</sup>, 结合图 2 可知, LY2/LG、LY2/G、LY2/AA、LY2/Gh、LY2/gCT1 和 LY2/gCT 传感器对应敏感类物质如氮化合物、硫化物、胺类化合物、丙酮、氨和丁烷等, 说明 5 个部位样品在以上物质类型方面差异性不明显, 而剩余的传感器对极性物质、非极性物质(碳氢化合物类、氨、氯)、芳香类(甲苯、二甲

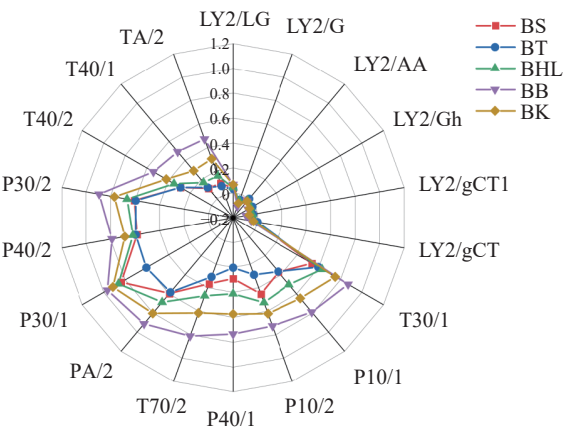


图 2 牛肉牛肝菌酱电子鼻雷达图  
Fig.2 Electronic nose radar image of beef boletus sauce

表 3 牛肉牛肝菌酱的质构、色差及感官评分分析结果

Table 3 Texture, color difference and sensory score analysis results of beef boletus sauce

项目	BK	BHL	BB	BT	BS
硬度(N)	7.32±0.207 <sup>c</sup>	11.66±1.275 <sup>b</sup>	14.01±0.995 <sup>a</sup>	11.36±1.024 <sup>b</sup>	10.24±1.629 <sup>b</sup>
弹性(mm)	5.41±0.582 <sup>a</sup>	4.55±0.326 <sup>b</sup>	4.71±0.207 <sup>b</sup>	4.62±0.116 <sup>b</sup>	4.92±0.241 <sup>ab</sup>
胶粘性(N)	1.86±0.065 <sup>a</sup>	2.70±1.171 <sup>a</sup>	3.22±0.802 <sup>a</sup>	2.76±0.298 <sup>a</sup>	2.49±0.548 <sup>a</sup>
咀嚼性(mJ)	10.10±1.433 <sup>c</sup>	12.48±0.929 <sup>bc</sup>	15.30±1.466 <sup>a</sup>	12.78±1.668 <sup>b</sup>	12.35±0.842 <sup>bc</sup>
内聚性(%)	0.25±0.005 <sup>a</sup>	0.22±0.057 <sup>a</sup>	0.23±0.346 <sup>a</sup>	0.24±0.006 <sup>a</sup>	0.24±0.015 <sup>a</sup>
$L^*$	43.798±0.055 <sup>d</sup>	44.232±0.039 <sup>c</sup>	46.726±0.036 <sup>a</sup>	46.652±0.016 <sup>b</sup>	44.206±0.042 <sup>c</sup>
$a^*$	6.752±0.118 <sup>b</sup>	7.152±0.031 <sup>a</sup>	4.938±0.008 <sup>c</sup>	5.182±0.008 <sup>d</sup>	6.608±0.008 <sup>c</sup>
$b^*$	4.734±0.076 <sup>a</sup>	4.664±0.077 <sup>a</sup>	2.766±0.028 <sup>d</sup>	3.122±0.037 <sup>c</sup>	4.412±0.061 <sup>b</sup>
感官(分)	79.9±1.287 <sup>b</sup>	87.3±0.949 <sup>a</sup>	87.4±1.174 <sup>a</sup>	86.5±0.527 <sup>a</sup>	75.6±1.430 <sup>c</sup>

注: 同行肩标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

苯)、胺类和氯类等物质敏感,表明 5 个部位样品在以上物质类型方面差异性明显。

采用 PCA 法对 5 种不同部位的牛肉牛肝菌酱样品的挥发性成分进行分析,结果如图 3 所示。在 PCA 模型中,第一主成分 PC1(82.6%)和第二主成分 PC2(8.9%)的累计贡献率为 91.5%,大于 80%,表明主成分可以反映样品的香气的整体信息<sup>[19]</sup>。由图 3 可知,不同部位牛肉牛肝菌酱的气味可以有效的区分,说明 5 种不同部位牛肉牛肝菌酱的香气特征存在明显的差异性<sup>[20]</sup>。PC1 贡献率远大于 PC2,说明样品在横坐标距离越大,其差异性越大<sup>[12]</sup>,样品的横坐标顺序从右到左为牛腩(BB),牛霖(BK),牛后腿(BHL),牛肩(BS),牛腱子(BT),与传感器雷达信号强度大小一致。其中,样品 BT(牛腱子)各平行结果之间分布较为紧密说明其重复性高。同时,样品 BB(牛腩)和样品 BHL(牛后腿)总体在横坐标上距离较近,说明二者香气成分相似;样品 BT(牛腱子)、BS(牛肩)总体横坐标距离也较近,说明二者香气成分相似;而样品 BK(牛霖)横坐标距离与 BB(牛腩)、BHL(牛后腿)样品较近,说明三者香气特征差异较小。

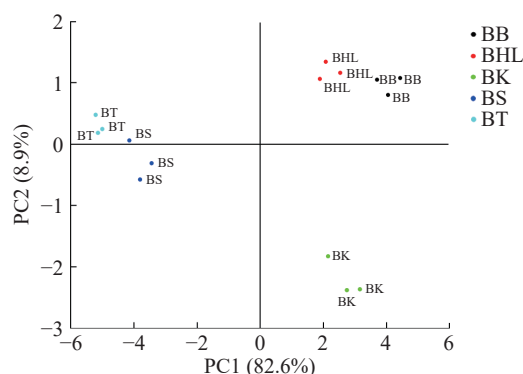


图 3 牛肉牛肝菌酱电子鼻的主成分分析(PCA)二维图  
Fig.3 Principal component analysis (PCA) two-dimensional diagram of the electronic nose of beef boletus sauce

## 2.3 不同部位香辣牛肉牛肝菌酱 GC-MS 分析

### 2.3.1 不同部位香辣牛肉牛肝菌酱特征风味分析

不同部位的牛肉牛肝菌酱风味成分物质见表 4。由表可知,5 个部位的牛肉牛肝菌酱检出的挥发性风味物质组分分别为牛后腿(BHL)84 种、牛肩(BS)36 种、牛腱子(BT)52 种、牛霖(BK)102 种、牛腩(BB)87 种。挥发性物质包括醇类、醛类、烃类、酚类、含硫化合物、酯类等化合物,检测出的风味物质都是添加的香辛料和牛肉挥发性风味的重要成分物质,而牛肉中的挥发性风味物质主要由美拉德反应和脂肪热降解产生<sup>[21]</sup>。

由表 5 可知,不同部位牛肉制作的样品中,醛类化合物含量均较高,分别在总化合物中占比为牛后腿 14 种(16.93%)、牛肩 7 种(15.65%)、牛腱子 10 种(14.99%)、牛霖 18 种(20.29%)、牛腩 14 种(18.95%)。醛类化合物一般由脂肪氧化产生,阈值较低,具有较

强的挥发性和脂肪香味,对样品的风味贡献大,是肉类风味的主要挥发性成分之一<sup>[22]</sup>,有研究证实醛类化合物对牛肉香味的构成起到不可替代的作用<sup>[21]</sup>。3,7-二甲基-(E)-2,6-辛二烯醛均被检出,且含量明显高于其他醛类物质。同时,(E,E)-2,4-癸二烯醛在各个部位也有检出,且含量较高。这些醛分别呈现麦芽香气、焦香、花香、甜芳香与脂肪香等<sup>[23]</sup>,为牛肉牛肝菌酱提供了丰富的风味。

在不同部位中分别检出烃类化合物为牛后腿 15 种(9.62%)、牛肩 10 种(10.18%)、牛腱子 11 种(9.68%)、牛霖 17 种(11.77%)、牛腩 14 种(12.61%)。5 个样品中烃类物质的种类和相对含量均较高,主要分为饱和烃和不饱和烃两类。饱和烃的种类含量较小,且阈值普遍较高,对风味的贡献不大,且在牛腱子中并未检出饱和烃。不饱和烃在 5 个样品中的种类和相对含量较高,以萜烯类物质为主,且阈值较低,气味强烈,对样品风味贡献较大<sup>[24]</sup>。由表 4 可知,其中 3-乙基-1,2-二硫环己-4-烯和 3-苯基-2-丙烯含量较高。不饱和烃主要源自样品中添加的香辛料,使样品呈现出柠檬果香及香辛料的特殊气味,说明香辛料中的风味物质较大限度地迁移和释放到牛肉酱中,掩盖了牛肉的肉腥味,使牛肉牛肝菌酱具有特殊浓郁的风味。

根据表 5,在不同部位中分别检出酯类物质为牛后腿 9 种(2.42%)、牛肩 4 种(1.89%)、牛腱子 5 种(2.03%)、牛霖 15 种(7.66%)、牛腩 12 种(3.15%)。5 个部位中的酯类含量在总的风味中较低,但其对牛肉牛肝菌酱的风味具有重要贡献。酯类物质阈值低,对样品的整体风味具有平衡和调节作用,是一类非常重要的呈香物质。根据表 4,5 个部位检测到的酯类物质多为乙酯类,如十六酸乙酯、苯甲酸乙酯、亚油酸乙酯等在 5 个部位均有检出。这些酯类物质能掩盖样品中某些脂肪酸及胺类物质带来的不愉快气味,对样品风味有重要贡献,使样品整体风味更为柔和饱满。

醇类占比为牛后腿 13 种(5.08%)、牛肩 5 种(2.40%)、牛腱子 6 种(1.71%)、牛霖 17 种(5.13%)、牛腩 14 种(5.31%)。醇类主要是肉中脂质在脂肪氧化酶和氢过氧化酶作用下通过降解亚油酸的氧化反应产生<sup>[18]</sup>,醇类物质的阈值较高,对风味的贡献不大,其中苯乙醇、芳樟醇赋予了样品特有的酱香味<sup>[25]</sup>。

醚类检出种类较少,但检出 4-烯丙基苯甲醚含量较多且所有样品均具有。4-烯丙基苯甲醚含量占比为牛后腿(7.29%)、牛肩肉(5.79%)、牛腱子(5.27%)、牛霖(4.49%)、牛腩(6.37%)。检出的 4-烯丙基苯甲醚可能来自添加的五香粉等物质,其赋予了牛肉酱愉快的香气和醇厚感<sup>[26]</sup>。

含硫有机化合物是大蒜中主要的生物活性物质之一,含硫化合物的含量也较低,但二烯丙基二硫化物含量较高,二烯丙基二硫化物是大蒜素的降解产物<sup>[27]</sup>。虽然硫化物含量过高时会使得食品带有刺鼻的

表 4 GC-MS 检测牛肉牛肝菌酱挥发性风味化合物  
Table 4 GC-MS detection of volatile flavor compounds in beef boletus sauce

序号	化合物名称	CAS号	化学式	相对含量(%)				
				BHL	BS	BT	BK	BB
醇类								
1	(1R, 2R, 3S, 5R)-(2,3-蒔二醇	22422-34-0	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	—	0.06
2	(1R, 4R)-1-甲基-4-(6-甲基庚-5-烯-2-基)环己-2-烯醇	58334-55-7	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	—	—	—	0.04	—
3	[S-(R*, R*)]-2,3-丁二醇	19132-06-0	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0.11	—	0.27	—	0.33
4	1-戊醇	71-41-0	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	—	—	—	0.14	—
5	1-辛醇	111-87-5	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	—	—	—	0.02	—
6	1-辛烯-3-醇	3391-86-4	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	—	—	—	0.1	0.06
7	2,6,6-三甲基-双环[3.1.1]庚烷-2-醇	473-54-1	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	—	—	—	0.03	—
8	2-丙烯-1-醇	107-18-6	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	0.51	0.31	0.38	0.31	0.62
9	2-甲基-5-(1-甲基乙基)-(1.alpha, 2.alpha, 5.alpha.)-双环[3.1.0]己烷-2-醇	17699-16-0	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1.88	—	—	2.59	1.46
10	2-壬醇	628-99-9	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> O	0.02	—	—	—	—
11	2-壬烯-1-醇	22104-79-6	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	—	—	—	0.02	—
12	3,7,11-三甲基-(E)-1,6,10-十二碳三烯-3-醇	40716-66-3	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	0.1	—	—	0.1	0.1
13	3,7-二甲基-(Z)-2,6-辛二烯-1-醇	106-25-2	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	—	0.22	—	—	0.48
14	3,7-二甲基-2-辛-1-醇	40607-48-5	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	—	—	—	0.09	0.14
15	3-苯基-2-丙烯-1-醇	104-54-1	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O	—	—	—	0.03	—
16	9-十二烷-1-醇	71084-08-7	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O	—	—	—	—	0.07
17	$\alpha$ -松油醇	98-55-5	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.68	0.29	0.34	0.47	0.67
18	桉树醇	470-82-6	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	—	0.92	—	—	—
19	苯甲醇	100-51-6	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	0.04	—	—	—	—
20	苯乙醇	1960/12/8	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	0.42	0.66	0.31	0.29	0.63
21	对薄荷-8-烯-1-醇, 立体异构体	7299-40-3	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.14	—	—	—	—
22	芳樟醇	78-70-6	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.43	—	0.16	0.32	0.41
23	萜烯-4-醇	562-74-3	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.13	—	—	0.11	0.15
24	香茅醇	1117-61-9	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	0.14	—	—	—	—
25	香叶醇	106-24-1	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.48	—	0.25	0.35	—
26	异血藤烯醇	88395-46-4	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	—	—	—	0.12	0.13
醛类								
1	(E)-2-庚醛	18829-55-5	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	—	—	—	0.56	0.55
2	(E)-2-辛烯醛	2548-87-0	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	0.18	—	—	0.34	0.34
3	(E, E)-2,4-癸二烯醛	25152-84-5	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	1.22	3.54	3.46	5.98	3.86
4	(E, E)-2,4-七烯醛	4313/3/5	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	—	0.68	0.92	0.9	0.43
5	(E, E)-2,4-壬二烯醛	5910-87-2	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	—	—	—	0.31	—
6	(Z)-2-庚醛	57266-86-1	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	0.39	—	0.22	—	—
7	3,7-二甲基-(E)-2,6-辛二烯醛	141-27-5	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	7.56	6.46	4.66	4.56	7.65
8	3-乙基-苯甲醛	34246-54-3	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O	—	—	—	0.03	—
9	4-(1-甲基乙基)-苯甲醛	122-03-2	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O	3.1	—	—	—	—
10	4-甲氧基苯甲醛	123-11-5	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0.87	1.43	1.33	1.1	0.95
11	苯甲醛	100-52-7	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	—	1.75	2.46	3	1.62
12	苯乙醛	122-78-1	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	0.37	—	0.27	0.37	0.36
13	非醛	124-19-6	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	0.09	—	—	0.18	0.25
14	胡椒醛	120-57-0	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	0.15	—	0.15	0.18	0.09
15	己醛	66-25-1	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	0.15	0.21	0.22	0.41	0.3
16	糠醛	1998/1/1	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	0.11	—	—	0.06	0.08
17	香草醛	121-33-5	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	0.04	—
18	反式-2-癸烯醛	3913-81-3	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.37	—	—	0.49	—
19	反式-2-壬烯醛	18829-56-6	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	—	—	—	0.13	0.16
20	2-十三(碳)烯醛	7069-41-2	C <sub>13</sub> H <sub>24</sub> O	0.09	—	—	—	—
21	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	106-26-3	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	2.28	1.58	1.3	1.65	2.31
烃类								
1	(1S)-2,2-二甲基-3-亚甲基-双环[2.2.1]庚烷	5794/4/7	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	—	0.23	—	—
2	(E)- $\beta$ -金合欢烯	18794-84-8	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.05	—	—	0.03	0.05

续表 4

序号	化合物名称	CAS号	化学式	相对含量(%)				
				BHL	BS	BT	BK	BB
3	(E, E)-7,11,15-三甲基-3-亚甲基-十六碳-1,6,10,14-四烯	70901-63-2	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub>	—	—	—	0.07	—
4	1-(乙烯基氧基)-十八烷	930-02-9	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O	—	—	—	0.17	0.16
5	1,2,3,6-四甲基-双环[2.2.2]辛烷	62338-45-8	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub>	—	—	—	0.31	—
6	2,7-二甲基-1,3,7-辛三烯	36638-38-7	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	—	0.07	—	—
7	2-甲基-5-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]六-2-烯	2869/5/2	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	—	—	0.06	—
8	3,7-二甲基-1,3,7-辛三烯	502-99-8	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.21	—	—	0.21	—
9	3-苯基-2-丙烯	104-55-2	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O	1.41	2.2	2.62	1.9	1.68
10	3-蒎烯	13466-78-9	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	—	0.1	—	—
11	3-亚甲基-1,7-辛二烯	68695-13-6	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub>	—	—	—	0.09	—
12	3-乙烯基-1,2-二硫环己-4-烯	62488-52-2	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> S <sub>2</sub>	3.34	2.42	2.09	2.23	3.45
13	4,11,11-三甲基-8-亚甲基-双环[7.2.0]十一碳-4-烯	87-44-5	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	—	—	—	1.15	—
14	4-亚甲基-1-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]己烷	3387-41-5	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.73	—	—	—	—
15	6,6-二甲基-2-亚乙烯基-双环[3.1.1]庚烷	39021-75-5	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>	—	2.92	2.4	2.95	3.68
16	D-柠檬烯	5989-27-5	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.35	0.44	0.65	0.67	0.3
17	$\beta$ -蒎烯	127-91-3	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.05	—	—	—	—
18	$\beta$ -双沙泊烯	495-61-4	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.7	0.57	0.44	0.48	0.74
19	$\beta$ -月桂烯	123-35-3	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.2	0.15	0.21	0.32	0.07
20	甲基噻烷	1072-43-1	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> S	0.08	—	—	—	0.04
21	茨烯	79-92-5	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.58	0.11	—	0.78	0.51
22	十六烷	544-76-3	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	—	0.54	—	—	0.06
23	十四烷	629-59-4	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	0.08	—	—	0.04	—
24	石竹烯	87-44-5	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1.38	0.68	0.66	—	1.39
25	(-)-Alpha-蒎烯	3856-25-5	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.44	0.15	0.21	0.31	0.46
26	$\alpha$ -衣兰油烯	10208-80-7	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.02	—	—	—	0.02
酯类								
1	(Z, Z)-9,12-十八碳二烯酸甲酯	112-63-0	C <sub>19</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	0.38	—
2	(Z, Z, Z)-9,12,15-十八碳三烯酸甲酯	301-00-8	C <sub>19</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	0.04	—
3	(Z, Z, Z)-9,12,15-十八碳三烯酸乙酯	1191-41-9	C <sub>20</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	0.46	0.07
4	8-十八烯酸甲酯	2345-29-1	C <sub>19</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	0.14	—
5	9-十六烯酸乙酯	54546-22-4	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	0.08	—
6	$\alpha$ -乙酸松油酯	80-26-2	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	—	0.29
7	苯甲酸乙酯	93-89-0	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0.48	0.47	0.44	0.36	0.47
8	二十碳烯酸乙酯	18281-05-5	C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	0.02	—
9	邻苯二甲酸二丁酯	84-74-2	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	—	—	—	—	0.05
10	十八酸乙酯	111-61-5	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	0.13	—
11	十二酸乙酯	106-33-2	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	0.18	—	0.23	0.24	0.22
12	十六酸甲酯	112-39-0	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	0.14	0.06
13	十六酸乙酯	628-97-7	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	0.61	0.5	0.64	1.7	0.69
14	十四酸乙酯	124-06-1	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	0.15	—	0.11	0.29	0.19
15	亚油酸乙酯	544-35-4	C <sub>20</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	0.29	0.46	0.61	2.24	0.38
16	乙酸芳樟酯	115-95-7	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.03	—	—	—	0.03
17	乙酸香叶酯	105-87-3	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	—	0.46	—	0.45	0.58
18	油酸乙酯	111-62-6	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	0.05	—	—	0.99	0.12
19	(Z, Z, Z)-9,12,15-十八碳三烯酸乙酯	1191-41-9	C <sub>20</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	0.06	—	—	—	—
20	乙酸甲酯	79-20-9	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.57	—	—	—	—
酚类								
1	2,6-双(1,1-二甲基乙基)-苯酚	128-37-0	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	—	—	—	0.04	—
2	2-甲氧基-4-乙烯基苯酚	7786-61-0	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0.55	—	—	0.08	0.07
3	3-甲基-苯酚	108-39-4	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	0.43	0.28	0.39	0.4	0.43
4	4-乙基-2-甲氧基-苯酚	2785-89-9	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0.15	—	—	0.1	0.16
5	4-乙基-苯酚	2785-89-9	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0.17	—	0.18	0.17	0.21
6	4-乙烯基-2,6-二甲氧基-苯酚	28343-22-8	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	0.21	—	—	—	0.11
7	丁香酚	97-53-0	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0.06	—	—	0.05	0.1



续表 4

序号	化合物名称	CAS号	化学式	相对含量(%)				
				BHL	BS	BT	BK	BB
8	对甲酚	106-44-5	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	0.12	—	—	0.12	0.13
	含硫化合物							
1	(E)-1-烯丙基-2-(丙-1-烯-1-基)二硫化物	122156-02-9	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> S <sub>2</sub>	2.21	0.76	1.08	0.7	1.1
2	二-2-丙烯基三硫化物	2050-87-5	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> S <sub>3</sub>	2.04	—	1.18	2.14	2.48
3	二烯丙基二硫化物	2179-57-9	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> S <sub>2</sub>	8.17	3.96	4.38	3.69	5.02
4	甲基2-丙烯基二硫化物	2179-58-0	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> S <sub>2</sub>	0.26	—	0.16	—	—
	醚类							
1	2-氯-1-甲基乙基异丙基乙醚	98277-76-0	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> ClO	—	—	—	0.32	0.35
2	3H-1,2-二硫醚	288-26-6	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	0.33	—	—	0.25	0.36
3	4-烯丙基苯甲醚	140-67-0	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O	7.29	5.79	5.27	4.49	6.37
	酸类							
1	(Z,Z,Z)-9,12,15-十八碳三烯酸	463-40-1	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	—	—	0.16	—	—
2	3-(2-羟基苯基)-(E)-2-丙烯酸	614-60-8	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	0.06	0.04
3	苯甲酸	93-89-0	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0.4	—	4.26	1.74	0.73
4	橙花酸	4613-38-1	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	0.33	—	—	—	—
5	乙酸	64-19-7	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	—	—	2.11	0.54	1.22
6	己酸	142-62-1	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0.09	—	—	0.12	0.17
7	壬酸	112-05-0	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	0.08	—
8	山梨酸	110-44-1	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0.88	6.18	1.99	0.66	0.74
9	十二酸	106-33-2	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	0.19	0.1
10	脱氢乙酸	520-45-6	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	0.24	—	—	—	0.32
11	香叶酸	459-80-3	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	—	—	0.19	0.42	0.3
12	辛酸	124-07-2	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	0.12	—	—	0.1	0.13
13	正癸酸	334-48-5	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.55	—	—	—	—
14	正十六酸	1957/10/3	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	—	4.57	—	—	—
	酮类							
1	(+)-2-冰片酮	464-49-3	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	0.52	—	—	0.34	0.43
2	1-(1H-吡咯-2-基)-乙酮	1072-83-9	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> NO	0.24	0.25	0.28	—	0.38
3	1-(3-羟基-4-甲氧基苯基)-乙酮	6100-74-9	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	0.01	—
4	1-羟基-2-丙酮	116-09-6	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	—	0.01
5	2-十一烷酮	112-12-9	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O	0.15	—	—	0.16	0.14
6	3,5-辛二烯-2-酮	38284-27-4	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O	—	—	—	0.04	—
7	6-甲基-5-庚烯-2-酮	110-93-0	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	0.1	—	—	0.12	0.11
8	α-乙酸松油酯	80-26-2	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.24	—	—	—	—
9	顺式-六氢-8a-甲基-1,8(2H,5H)-萘二酮	83406-41-1	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	0.14	—	—	0.25	0.15
10	四环[3.3.1.0.1(3,9)]癸烷-10-酮	16492-06-1	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O	—	—	—	0.04	—
11	香芹酮	99-49-0	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	0.06	—	—	—	—
	其他							
1	(Z)-2-Decenal	2497-25-8	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	—	0.21	0.28	—	—
2	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇醋酸盐	141-12-8	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.65	—	0.33	—	—
3	1-(3-甲基-2-丁烯氧基)-4-(1-丙烯基)苯	78259-41-3	C <sub>14</sub> H <sub>18</sub> O	0.12	—	—	0.19	0.09
4	1,2,3,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)-(1S-顺式)-萘	483-76-1	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	—	—	—	—	0.2
5	1-甲基-3-(1-甲基乙基)-苯	535-77-3	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	—	—	—	0.09	—
6	1-甲氧基-4-(1-丙烯基)-(Z)-苯	25679-28-1	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O	0.47	0.63	0.58	—	—
7	1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8a-六氢萘	16729-01-4	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.16	—	—	0.19	—
8	八角形	22725-64-0	C <sub>28</sub> H <sub>56</sub> O	—	—	0.23	—	—
9	丁基羟基甲苯	128-37-0	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	0.05	—	—	—	0.32
10	对薄荷-8-烯-1-醇立体异构体	7299-40-3	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	—	—	—	0.08	—
11	反式倍半萜水合物	145512-84-1	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	—	—	—	0.04	—
12	过氧化氢, 戊基	74-80-6	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	—	0.23
13	茴香脑	104-46-1	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O	37.65	47.24	48.09	36.22	36.02
14	己内酰胺	105-60-2	C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> NO	—	—	0.29	—	—
15	樟脑	76-22-2	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	—	—	0.15	—	—

表 5 牛肉牛肝菌酱挥发性物质数量与含量分析

Table 5 Analysis of the quantity and content of volatile substances in beef boletus sauce

类别	BHL		BS		BT		BK		BB	
	种类	含量(%)	种类	含量(%)	种类	含量(%)	种类	含量(%)	种类	含量(%)
醇类	13	5.08	5	2.4	6	1.71	17	5.13	14	5.31
醛类	14	16.93	7	15.65	10	14.99	18	20.29	14	18.95
烃类	15	9.62	10	10.18	11	9.68	17	11.77	14	12.61
酯类	9	2.42	4	1.89	5	2.03	15	7.66	12	3.15
酚类	7	1.69	1	0.28	2	0.57	7	0.96	7	1.21
含硫化合物	4	12.68	2	4.72	4	6.8	3	6.53	3	8.6
醚类	2	7.62	1	5.79	1	5.27	3	5.06	3	7.08
酸类	7	2.61	2	10.75	5	8.71	9	3.91	9	3.75
酮类	7	1.45	1	0.25	1	0.28	7	0.96	6	1.22
其他	6	39.1	3	48.08	7	49.95	6	36.81	5	36.86

风味,但适当的硫化物风味也是牛肉酱的特征风味之一。

其他化合物虽然含量较高,但主要是茴香脑的含量很高。茴香脑是一种大量存在于八角、茴香中的香味物质<sup>[28]</sup>。由表 4 可知,5 个部位牛肉牛肝菌酱检出的挥发性风味物质中,茴香脑含量占比均较高,原因可能为本产品中加入的五香粉含量较多导致。这种物质具有强烈而愉快的香气,在牛肉牛肝菌酱的风味呈现中具有重要作用。

2.3.2 不同部位香辣牛肉牛肝菌酱关键香气成分分析 本研究检测出的香气成分种类较多,但并非每种成分都对牛肉牛肝菌酱的风味起到显著作用,香气对风味的贡献大小取决于其含量高低及阈值大小。因此,采用 ROAV 分析关键性香气。阈值由查阅资料可得,对确定不了阈值的香气不做分析<sup>[29-33]</sup>。所有组分  $ROAV \leq 100$ , ROAV 值越大的组分对样品总体风味的贡献也就越大。 $ROAV \geq 1$  的组分为所分析样品的关键风味化合物,  $0.1 \leq ROAV < 1$  的组分对样品

的总体风味具有重要的修饰作用<sup>[34]</sup>。对牛肉牛肝菌酱贡献最大的是茴香脑,其 ROAV 为 100。如表 6, 5 个部位共有的香气成分( $ROAV > 1$ )有己醛、D-柠檬烯、 $\alpha$ -蒎烯、二烯丙基二硫化物、茴香脑。己醛是亚油酸自动氧化作用产生的氢过氧化物断裂后生成的物质,具有青草香味<sup>[35]</sup>,其中,牛霖部位样品的 ROAV 值高于其他部位为 12.58。D-柠檬烯在 5 个部位制作的牛肉牛肝菌酱中的 ROAV 值均大于 1,其贡献值较大。 $\alpha$ -蒎烯气味强烈,呈味阈值较低,主要与炒制过程中加入的五香粉有密切关系<sup>[36]</sup>,其可能是牛肉牛肝菌酱具有特殊风味的根本原因之一。二烯丙基二硫化物主要与炒制中加入的洋葱、大蒜和香辛料有密切关系,其在 5 个部位制作的牛肉牛肝菌酱中的 ROAV 值均较高,表明其对牛肉牛肝菌酱气味的贡献具有显著作用<sup>[37]</sup>。苯乙醇、苯甲酸乙酯、十六酸乙酯等挥发性成分在 5 个不同部位牛肉牛肝菌酱样品中的 ROAV 值在 0.1 与 2 之间,对牛肉牛肝菌酱的总体气味具有重要的修饰作用。

表 6 牛肉牛肝菌酱主要香气成分 ROAV

Table 6 ROAV of the main aroma components in beef boletus sauce

序号	化合物名称	香气阈值( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	BHL	BS	BT	BK	BB
1	茴香脑	50	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
2	[S-(R*,R*)]-2,3-丁二醇	4500	0.003	—	0.006	—	0.010
3	1-戊醇	4000	—	—	—	0.005	—
4	1-辛醇	190	—	—	—	0.015	—
5	1-辛烯-3-醇	1	—	—	—	13.805	8.329
6	$\alpha$ -松油醇	340	0.113	0.090	0.104	0.191	0.274
7	苯甲醇	10000	0.001	—	—	—	—
8	苯乙醇	45	1.239	1.552	0.716	0.890	1.943
9	芳樟醇	6	1.239	—	2.773	7.362	9.485
10	香茅醇	10	9.517	—	—	—	—
11	香叶醇	40	1.594	—	0.650	1.208	—
12	(E)-2-辛烯醛	61	0.392	—	—	0.769	0.774
13	(E,E)-2,4-壬二烯醛	0.09	—	—	—	475.489	—
14	苯甲醛	350	—	0.529	0.731	1.183	0.643
15	苯乙醛	4	12.284	—	7.018	12.769	12.493
16	己醛	4.5	4.427	4.939	5.083	12.577	9.254
17	糠醛	3000	0.005	—	—	0.003	0.004

续表 6

序号	化合物名称	香气阈值(μg/kg)	BHL	BS	BT	BK	BB
18	D-柠檬烯	34	1.367	1.370	1.988	2.720	1.225
19	β-蒎烯	140	0.047	—	—	—	—
20	蒾烯	1860	0.041	0.006	—	0.058	0.038
21	十四烷	1000	0.011	—	—	0.006	—
22	石竹烯	150	1.222	0.480	0.457	—	1.286
23	(-)-Alpha-蒎烯	6	9.739	2.646	3.639	7.132	10.642
24	苯甲酸乙酯	60	1.062	0.829	0.762	0.828	1.087
25	十六酸乙酯	200	0.405	0.265	0.333	1.173	0.479
26	3-甲基-苯酚	680	0.084	0.044	0.060	0.081	0.088
27	4-乙基-苯酚	42	0.538	—	0.446	0.559	0.694
28	二烯丙基二硫化物	30	36.166	13.971	15.180	16.980	23.228
29	乙酸	22000	—	—	0.010	0.003	0.008
30	己酸	3000	0.004	—	—	0.006	0.008
31	壬酸	3000	—	—	—	0.004	—

注: 表中阈值取水中香气阈值;—表示未查阅到。

根据图 4 聚类热图分析结果显示, 5 个不同部位的牛肉牛肝菌酱样品可以聚为三类, 其中牛后腿样品和牛腩样品聚为一类, 牛腱子样品和牛肩样品聚为一类, 牛霖样品单独为一类。说明牛后腿样品和牛腩样品关键香气成分相似; 牛腱子样品和牛肩样品关键香气成分相似。由图 4 可得, 牛后腿样品和牛腩样品

的主要香气成分为苯甲酸乙酯、α-蒎烯、苯乙醛等, 而牛腱子样品和牛肩样品主要香气成分为己酸、糠醛、(E)-2-辛烯醛等, 牛霖的主要香气成分为 D-柠檬烯、β-蒎烯、己醛等。各类别间存在差异。分析结果与电子鼻 PCA 分析所得结论相似。

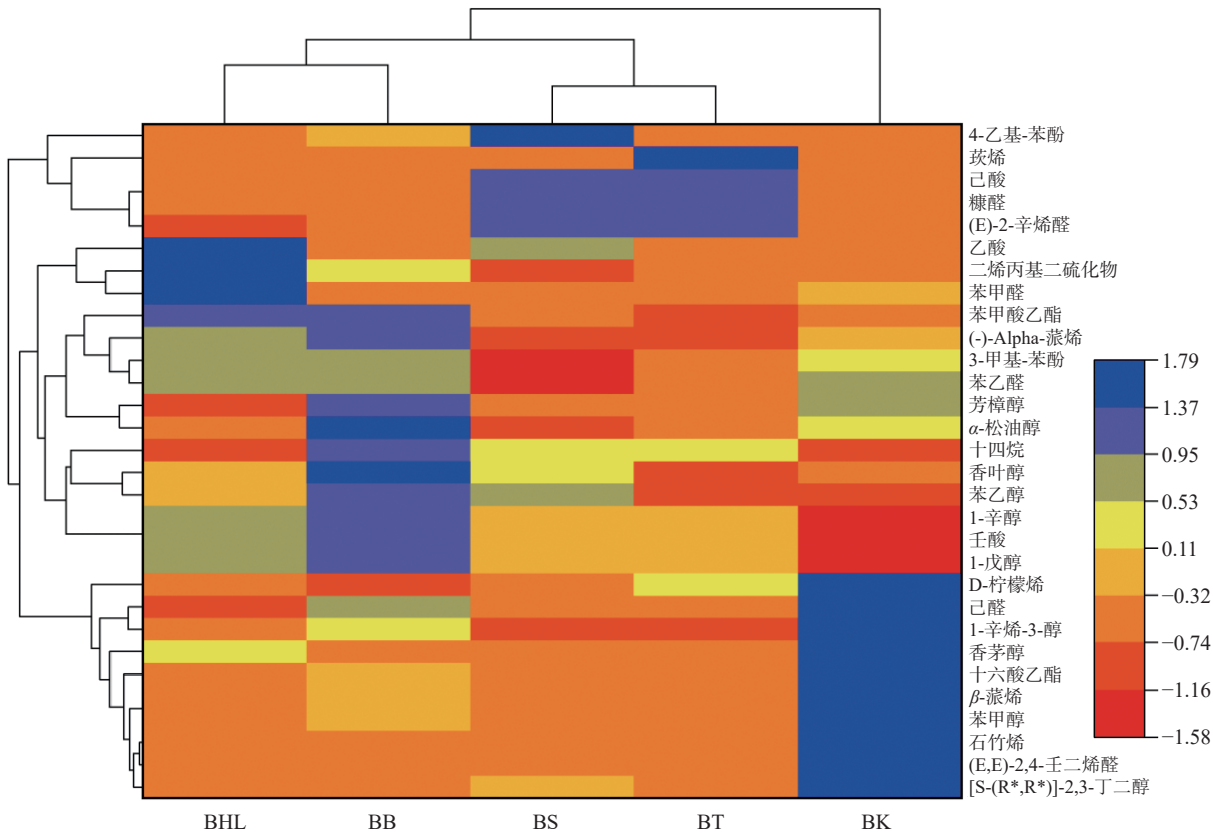


图 4 牛肉牛肝菌酱关键香气成分聚类热图

Fig.4 Clustering heat map of key aroma components of beef boletus sauce

3 结论

通过对牛后腿、牛肩、牛霖、牛腩、牛腱子 5 个部位的香辣牛肉牛肝菌酱样品的分析研究, 结果表

明: 感官评定结果显示, 牛腩部位制作的牛肉酱具有明显的牛肝菌香与牛肉混合炒制滋味, 辣度适宜, 没有明显的糊味与焦味, 酱料混合均匀, 无结块或较

大的块状,有红亮光泽且分布均匀,口感香辣可口,牛肉硬度合适,为最高评分。在质构方面,综合硬度、弹性、胶粘性、咀嚼性、内聚性 5 个指标分析可得,牛腩部位样品质构品质较好。电子鼻雷达图显示 5 个部位牛肉牛肝菌酱样品的敏感物质类型具有显著性差异,结合 PCA 分析,响应强度大小为牛腩>牛霖>牛后腿>牛肩>牛腱子。在风味方面,牛霖部位样品风味物质最多,牛肩肉部位样品风味物质最少,结合主要香气成分分析以及聚类热图分析可得:牛腩部位样品中具有主要贡献的风味物质为酯类和烃类,其含量大于其他部位样品。结果表明,采用不同的牛肉部位制作香辣牛肉牛肝菌酱,以牛腩部位为原料制作香辣牛肉牛肝菌酱为最佳。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

- [1] 张宏斌. 做好肉牛产业补链强链 金融应优化供给结构[N]. 金融时报, 2023-08-10(012). [ZHANG Hongbin. To do a good job in beef cattle industry chain finance, we should optimize the supply structure[N]. Financial Times, 2023-08-10(012).]
- [2] 王可, 祝超智, 赵改名, 等. 牛肉制品加工现状与发展趋势[J]. 食品科技, 2019, 44(10): 122-129. [WANG K, ZHU C Z, ZHAO G M, et al. Current situation and development trend of beef products processing[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(10): 122-129.]
- [3] 孙灵霞, 李嘉辉, 祝超智, 等. 巴西内洛尔牛不同部位肉品质特性分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 93-100. [SUN Lingxia, LI Jiahui, ZHU Chaozhi, et al. Analysis of meat quality characteristics of different parts of Brazil Nerol cattle[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(1): 93-100.]
- [4] 郭磊, 阙欢, 范方宇, 等. 牛肝菌的营养价值及综合利用现状与前景[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(1): 199-203. [GUO Lei, KAN Huan, FAN Fangyu, et al. Nutritional value and comprehensive utilization status and prospect of boletus[J]. Food Research and Development, 2021, 42(1): 199-203.]
- [5] 彭秋菊, 严江, 陈国平, 等. 牛肝菌挥发性风味物质的研究进展[J]. 食品科技, 2022, 47(6): 127-132, 139. [PENG Qiuju, YAN Jiang, CHEN Guoping et al. Advances in research on volatile flavor compounds of *Boletus edulis*[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(6): 127-132, 139.]
- [6] 雷镇欧, 陈水科, 李想. 不同发酵温度对牛肝菌豆瓣酱品质变化研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(5): 101-103, 110. [LEI Zhenou, CHEN Shuike, LI Xiang. Study on the quality changes of boletus paste at different fermentation temperatures[J]. Chinese Condiment, 2019, 44(5): 101-103, 110.]
- [7] 罗晓莉, 张沙沙, 曹晶晶, 等. 美味牛肝菌风味沙拉酱的研制[J]. 食品工业科技, 2017, 38(3): 206-210. [LUO X L, ZHANG S S, CAO J J, et al. Development of delicious boletus flavor salad dressing[J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38(3): 206-210.]
- [8] 徐宏. 羊肚菌与牛肝菌活性成分对比分析及精深加工研究[D]. 成都: 成都大学, 2021. [XU Hong. Comparative analysis of active components and intensive processing of *morchella* and *porcini*[D]. Chengdu: Chengdu University, 2021.]
- [9] RABELER F, FEYISSA A H. Kinetic modeling of texture and color changes during thermal treatment of chicken breast meat[J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11: 1495-1504.
- [10] 卢雪松, 何琴, 彭毅秦, 等. 芫根牦牛酸酐肉酱的研发[J]. 中国调味品, 2020, 45(1): 140-146. [LU Xuesong, HE Qin, PENG Yiqin, et al. Research and development of Yuangen yak sour sauce[J]. Chinese Condiment, 2020, 45(1): 140-146.]
- [11] 刘珊, 吴香, 黄俊逸, 等. 杀菌和贮藏方式对酱牛肉的微生物和品质的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(3): 151-158. [LIU Shan, WU Xiang, HUANG Junyi, et al. Effects of sterilization and storage methods on microorganisms and quality of sauced beef[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(3): 151-158.]
- [12] 袁灿, 何莲, 胡金祥, 等. 基于电子舌和电子鼻结合氨基酸分析鱼香肉丝调料风味的差异[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 48-55. [YUAN Can, HE Lian, HU Jinxiang, et al. Based on electronic tongue and electronic nose combined with amino acids, the difference in flavor of shredded fish sauce was analyzed[J]. Food Industry Technology, 2022, 43(9): 48-55.]
- [13] TANG Y, XU K, ZHAO B, et al. A novel electronic nose for the detection and classification of pesticide residue on apples[J]. RSC Advances, 2021, 11(34): 20874-20883.
- [14] LIU J K, GAO Y, WANG Z Y, et al. Analysis of fatty acid composition and volatile flavor compounds of oxidized sheep bone oil[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(11): 240-245.
- [15] SOJI Z. Effect of the muscle nanostructure changes during postmortem aging on tenderness of different beef breeds[J]. Animal Bioscience, 2021, 34(11): 1849-1858.
- [16] 原琦, 罗爱平, 何光中, 等. 不同部位奶公犊小白牛肉挥发性风味物质分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 39-42. [YUAN Qi, LUO Aiping, HE Guangzhong, et al. Analysis of volatile flavor compounds in different parts of dairy bull calf beef[J]. Food and Machinery, 2015, 31(5): 39-42.]
- [17] 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 Zhili, YU Rumeng, HUANG Zhongmin, et al. Comparative analysis of different parts of beef on the quality of *Pleurotus eryngii* beef dishes[J]. Modern Food Technology, 2020, 36(6): 264-273.]
- [18] FANG Q, JIANG Z, KAIRONG H, et al. *In vitro* study of the antioxidative and antiproliferative capabilities of *Lactobacillus casei* 16-fermented soymilk[J]. Food Sci Nutr, 2020, 8(1): 48-57.
- [19] 李涛, 周颖, 张军, 等. 基于顶空固相微萃取-气相色谱-质谱和主成分分析法研究不同发酵原料对草莓酒香气成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(5): 261-268. [LI Tao, ZHOU Ying, ZHANG Jun, et al. Effects of different fermentation materials on the aroma components of strawberry wines based on HS-SPME-GC-MS and PCA[J]. Food and Fermentation Industry, 2023, 49(5): 261-268.]
- [20] 田晓彩, 尹蓉, 张倩茹, 等. 不同品种红枣发酵酒有机酸及香气成分分析[J]. 食品科技, 2022, 47(9): 257-263. [TIAN Xiaocai, YIN Rong, ZHANG Qianru, et al. Analysis of organic acids and aroma components in different varieties of jujube fermented wine[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(9): 257-263.]
- [21] SIVROPOULOU A, NIKOLAOU C, PAPANIKOLAOU E, et al. Antimicrobial, cytotoxic, and antiviral activities of *Salvia fruticosa* essential oil[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(8): 3197-3201.
- [22] 方卉, 姜雪, 罗瑞明, 等. 不同加工条件对猪肉松中醛类物质含量的影响[J]. 现代食品, 2022, 28(22): 104-108. [FANG Hui,



- JIANG Xue, LUO Ruiming, et al. Effects of different processing conditions on the content of aldehydes in pork floss[J]. *Modern Food*, 2022, 28(22): 104–108. ]
- [ 23 ] 粟立丹, 乔明锋, 彭毅秦, 等. 羊肚菌牛肉酱配方优化及挥发性特征风味成分研究[J]. *中国调味品*, 2021, 46(10): 65–71. ]
- [ SU Lidan, QIAO Mingfeng, PENG Yiqin, et al. Study on formula optimization and volatile flavor components of *Morchella* beef paste[J]. *Chinese Condiment*, 2021, 46(10): 65–71. ]
- [ 24 ] CASABURI A, PIOMBINO P, NYCHAS G, et al. Bacterial populations and the volatilome associated to meat spoilage[J]. *Food Microbiology*, 2015, 45(PA): 83–102. ]
- [ 25 ] 范文来, 徐岩. 白酒 79 个风味化合物嗅觉阈值测定[J]. *酿酒*, 2011, 38(4): 80–84. ]
- [ FAN Wenlai, XU Yan. Determination of olfactory threshold of 79 flavor compounds in liquor[J]. *Brewing*, 2011, 38(4): 80–84. ]
- [ 26 ] 刘丹丹, 赵培, 陈金玉, 等. 呼吸式滚揉腌制对中式酱牛肉挥发性物质的影响[J]. *食品与机械*, 2022, 38(2): 21–26. ]
- [ LIU Dandan, ZHAO Pei, CHEN Jinyu, et al. Effect of breathing tumbling on volatile compounds in Chinese spiced beef[J]. *Food and Machinery*, 2022, 38(2): 21–26. ]
- [ 27 ] JANA R, NATALJA L, MARK L, et al. Diallylthiosulfinate (allicin), a volatile antimicrobial from garlic (*Allium sativum*), kills human lung pathogenic bacteria, including MDR strains, as a vapor[J]. *Molecules*, 2017, 22(10): 50–59. ]
- [ 28 ] 欧蜀云, 欧永春. 八角香油提取及茴香脑含量测定[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(4): 45–48. ]
- [ OU Shuyun, OU Yongchun. Extraction of star anise oil and determination of anethole content[J]. *Grains and Oils*, 2021, 34(4): 45–48. ]
- [ 29 ] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. ]
- [ SUN B G. Edible perfumery[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2016. ]
- [ 30 ] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法[J]. *食品科学*, 2008, 34(7): 370–374. ]
- [ LIU Dengyong, ZHOU Guanghong, XU Xinglian. A new method for the determination of key flavor compounds in food: 'ROAV' method[J]. *Food Science*, 2008, 34(7): 370–374. ]
- [ 31 ] 王虹, 周舟, 杜险峰, 等. SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析捞汁对富含蛋白质凉菜总体风味影响的研究[J]. *中国调味品*, 2022, 47(12): 174–180. ]
- [ WANG Hong, ZHOU Zhou, DU Xianfeng, et al. SPME-GC-MS combined with ROAV analysis of the effect of fish juice on the overall flavor of protein-rich cold dishes[J]. *Chinese Condiment*, 2022, 47(12): 174–180. ]
- [ 32 ] 奚星林, 周舒瑜, 张嘉俊, 等. SPME-GC-MS 法分析大蒜粉中挥发性风味物质[J]. *中国食品添加剂*, 2022, 33(3): 14–20. ]
- [ XI Xinglin, ZHOU Shuyu, ZHANG Jiajun, et al. SPME-GC-MS analysis of volatile flavor substances in garlic powder[J]. *Chinese Food Additives*, 2022, 33(3): 14–20. ]
- [ 33 ] 王金华, 叶晓仪, 母艳, 等. 贵州 3 种代表性猕猴桃种间特征香气成分比较分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(19): 6190–6197. ]
- [ WANG Jinhua, YE Xiaoyi, MU Yan, et al. Comparative analysis of characteristic aroma components among three representative kiwifruit species in Guizhou[J]. *Journal of Food Safety and Quality Inspection*, 2022, 13(19): 6190–6197. ]
- [ 34 ] 袁波, 张佳敏, 王卫, 等. 豆豉兔丁在贮藏过程中挥发性风味成分测定及其动态分析[J]. *中国调味品*, 2022, 47(10): 34–40. ]
- [ YUAN Bo, ZHANG Jiamin, WANG Wei, et al. Determination and dynamic analysis of volatile flavor components in fermented soybean Tuding during storage[J]. *Chinese Condiments*, 2022, 47(10): 34–40. ]
- [ 35 ] 郭进, 孙学颖, 杜梅, 等. 不同犊牛肉加工产品中挥发性风味成分分析[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(12): 177–184. ]
- [ GUO Jin, SUN Xueming, DU Mei, et al. Analysis of volatile flavor components in different calf meat products[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(12): 177–184. ]
- [ 36 ] 周蓓蓓, 杨松, 尤逢惠, 等. 酱牛肉挥发性风味物质研究[J]. *农产品加工(学刊)*, 2014, 373(23): 47–49. ]
- [ ZHOU Beibei, YANG Song, YOU Fenghui, et al. Study on volatile flavor compounds in beef sauce[J]. *Processing of Agricultural Products (Academic Journal)*, 2014, 373(23): 47–49. ]
- [ 37 ] 张泽宇, 王蓓, 曹雁平. 香辛料对牛肉味热反应香料贮存期间香气质量的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(12): 189–198. ]
- [ ZHANG Zeyu, WANG Bei, CAO Yanping. Effect of spices on aroma quality of beef flavoring produced by thermal reaction during storage[J]. *Food Science*, 2023, 44(12): 189–198. ]