

# 香辛料对酱卤牛肉的赋味效应解析

姜薇<sup>1</sup>, 强宇<sup>1</sup>, 刘成江<sup>2</sup>, 黄峰<sup>1</sup>, 张春晖<sup>1,2\*</sup>, 韩东<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193)

(2. 新疆农垦科学院农产品加工研究所, 新疆乌鲁木齐 830049)

**摘要:** 为鉴定酱卤肉制品生产中常用的 13 种香辛料赋予酱卤牛肉的滋味物质种类, 揭示香辛料对酱卤牛肉的赋味效应, 为香辛料科学复配及酱卤牛肉滋味保持与调控等提供技术支持。以花椒、丁香、甘草等 13 种香辛料及牛后腱为试验材料, 通过电子舌 (Electronic Tongue, E-tongue) 对比单一香辛料与牛后腱肉煮制条件下肉样的滋味变化; 利用超高效液相色谱-质谱联用技术 (Ultra-high Performance Liquid Chromatography-mass Spectrometry, UPLC-MS/MS) 鉴定复合香辛料提取液、复合香辛料-牛后腱肉煮制提取液、盐水-牛后腱肉煮制提取液中的呈味物质, 明确香辛料赋予酱卤牛肉的滋味物质种类及含量。E-tongue 结果表明: 甘草、桂皮、八角、辣椒、丁香对甜味的贡献较为突出; 小茴香对鲜味具有一定的增益作用; 白芷、草果、香叶对苦味的作用效果较为明显; UPLC-MS/MS 结果表明: 香辛料赋予酱卤牛肉的非挥发性化合物共 22 种, 其中有 8 种非挥发性化合物具有不同的滋味, 新橙皮苷、甘草苷、乙酰苯胺具有甜味; 柚皮苷、异槲皮苷、桔皮素、川陈皮素、紫云英苷具有苦味。该研究表明, 香辛料能赋予酱卤牛肉不同的滋味, 主要包括甜味, 鲜味和苦味, 不同香辛料对酱卤牛肉滋味的作用效果不同; 复合香辛料赋予酱卤牛肉的滋味物质主要为黄酮类化合物, 如新橙皮苷、甘草苷、异槲皮苷等。

**关键词:** 香辛料; 酱卤牛肉; 滋味物质; 超高效液相色谱-质谱联用技术; 电子舌

文章编号: 1673-9078(2022)10-249-260

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.10.1450

## Profile Analysis of Tastant Compounds Contributed by Spices to Stewed Beef

JIANG Wei<sup>1</sup>, QIANG Yu<sup>1</sup>, LIU Chengjiang<sup>2</sup>, HUANG Feng<sup>1</sup>, ZHANG Chunhui<sup>1,2\*</sup>, HAN Dong<sup>1\*</sup>

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

(2. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Urumqi 830049, China)

**Abstract:** To identify the tastant compounds contributed by 13 commonly used spices to stewed beef products, reveal the effects of these spices on the taste of stewed beef, and provide technical data supporting the scientific formulation of spices to best preserve stewed beef and optimize its taste, this research analyzed 13 spices, including Chinese pepper, clove, and licorice using beef shanks. An electronic tongue (E-tongue) was applied to record the impacts on taste of cooking stewed beef with each spice. High-efficiency liquid ultra-high performance liquid chromatography-mass spectrometry (UPLC-MS/MS) was conducted to identify taste compounds in spice mixture extracts and cooking sauce extracts when stewed beef is cooked with spice mixtures and brine. The taste compounds that each spice contributes to stewed beef have been identified and quantitated. The E-tongue results reveal that licorice, cinnamon, star anise, chili pepper, and cloves contribute most prominently to sweetness; cumin can, to some degree, enhance savoriness; angelica dahurica, grass fruit, and bay leaf exert obvious effects on bitterness. The UPLC-MS/MS results suggest that the spices impart 22 classes of non-volatile compound to stewed beef, among which 8 compounds are associated with distinct tastes. Neohesperidin, glycyrrhizin, and acetophenone impart a sweet

引文格式:

姜薇, 强宇, 刘成江, 等. 香辛料对酱卤牛肉的赋味效应解析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(10): 249-260

JIANG Wei, QIANG Yu, LIU Chengjiang, et al. Profile analysis of tastant compounds contributed by spices to stewed beef [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(10): 249-260

收稿日期: 2021-12-27

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (32102017); 新疆生产建设兵团重点领域科技攻关项目 (2020AB012)

作者简介: 姜薇 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉品科学, E-mail: 243061173@qq.com

通讯作者: 张春晖 (1971-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 肉品科学, E-mail: dr\_zch@163.com; 共同通讯作者: 韩东 (1989-), 男, 博士, 研究方向: 农业科学与生物工程, E-mail: orange\_1101@126.com

taste; naringin, isoquercitrin, hesperetin, chuantong, and astragaloside impart a bitter taste. In short, spices can impart different tastes to stewed beef, including sweetness, savoriness, and bitterness. The effects of different spices on the taste of stewed beef vary. The taste compounds that spice mixtures impart to stewed beef are mainly flavonoids, including neohesperidin, glycyrrhizin and isoquercitrin.

**Key words:** spices; stewed beef; taste compounds; ultra-performance liquid chromatography-mass spectrometry; electronic tongue

酱卤肉制品是我国最重要的中式传统肉制品之一, 其风味独特, 具有较高的营养价值, 近年来受到越来越多消费者的欢迎。滋味是衡量肉制品感官品质和消费品质的重要指标, 酱卤牛肉特征滋味与其加工过程中香辛料的应用密切相关。而在酱卤牛肉加工过程中香辛料的添加更多依赖于经验手工, 缺乏科学的数值化复配技术, 导致香辛料的利用率不足, 产生大量卤制废料, 造成资源的浪费, 是亟待解决的行业技术难题<sup>[1]</sup>。但香辛料赋予酱卤牛肉的滋味物质种类和含量尚不明晰, 因此开展香辛料的赋味效应研究, 实现从“难以预料”到“不出所料”的转变, 为酱卤肉制品香辛料的科学复配提供技术支持。

肉中主要的游离氨基酸是谷氨酸、精氨酸、天冬氨酸等, 主要的呈味物质是肌苷酸、鸟苷酸<sup>[2]</sup>。而酱卤肉制品加工过程中的主要环节是调味和煮制<sup>[3]</sup>, 酱卤牛肉独特的风味与其加工过程中香辛料的应用密切相关。肉制品中应用的香辛料种类非常多, 其中应用于酱卤牛肉生产中的香辛料主要包括花椒、辣椒、丁香、甘草、白芷、陈皮、八角、桂皮、白蔻、小茴香、山柰、草果、香叶等<sup>[1,3]</sup>。甘草中含有甘草素、甘草苷等二氢黄酮类化合物, 这些化合物一般具有甜味<sup>[4]</sup>; 草果中分离得到表儿茶素、邻苯二酚等多酚类化合物, 其中(+)-儿茶素具有苦味和涩味<sup>[5]</sup>; 辣椒中不仅含有辣椒素、二氢辣椒素, 还含有槲皮素等黄酮类物质, 而槲皮素具有苦味<sup>[6]</sup>; 花椒中存在大量的非挥发性苦味化合物, 其中对总体风味贡献较大的关键苦味化合物包括槲皮素 3-O-葡萄糖苷、槲皮素、熊果苷、异鼠李素等<sup>[7]</sup>。有研究者<sup>[8,9]</sup>建立高效液相色谱方法定量检测花椒中羟基- $\beta$ -山椒素。也有研究者<sup>[10,11]</sup>采用反相高效液相色谱法同时测定辣椒中辣椒素、二氢辣椒素和降二氢辣椒素含量, 该方法简便快捷, 应用该方法测定了 10 个品种辣椒中 3 个辣椒碱的含量, 结果稳定。

前期研究主要集中于酱卤牛肉中的风味物质种类, 以及香辛料对肉制品加工品质改善<sup>[12,13]</sup>、抗菌<sup>[14,15]</sup>及抗氧化方面<sup>[16,17]</sup>。然而对香辛料在酱卤牛肉加工过程中赋予牛肉的滋味物质种类及含量尚不明晰, 因此无法对酱卤牛肉的滋味进行精准调控。本研究以此为

切入点, 研究香辛料对酱卤牛肉滋味的赋味效应, 实现香辛料的科学复配。基于电子舌 (E-tongue) 对比单一香辛料与牛后腱肉煮制条件下肉样的滋味变化; 利用超高效液相色谱-质谱联用技术 (UPLC-MS/MS) 鉴定复合香辛料提取液、复合香辛料-牛后腱肉煮制提取液、盐水-牛后腱肉煮制提取液中的呈味物质, 阐明 13 种不同香辛料对酱卤牛肉的赋味效应, 为香辛料的科学复配与滋味调控提供技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

牛后腱 (Beef shank) 采自北京卓宸畜牧有限公司经检疫合格、质量约为 400 kg 的 2 岁龄草原黄牛, 屠宰后的牛采用吊挂风冷排酸 48 h (循环冷风风速 2 m/s、温度 0~4 °C、相对湿度 90%), 从 9 头情况相近的公牛胴体中分别取 2 块牛后腱, 共 52 块肉样, 4 °C 保藏以进行后续的试验; 花椒、辣椒、丁香、甘草、白芷、陈皮、八角、桂皮、白蔻、小茴香、山柰、香叶、草果购买自江苏卤江南公司; 甲醇、乙酸锌、亚铁氰化钾、冰乙酸 (均为分析纯), 购买自国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

BSA423S 电子天平, 赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司; HH-6 数显恒温水浴锅, 常州智博瑞仪器制造有限公司; FW-80 高速万能粉碎机, 北京永光明医疗仪器有限公司; 摩尔基因型超纯水器, 上海摩勒科学仪器有限公司; DH-101-3BS 电热恒温鼓风干燥箱, 天津市中环实验电炉有限公司; KQ-500B 型超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; Allegra X-12 Centrifuge 离心机, 美国贝克曼库尔特有限公司; RE-2000B 旋转蒸发仪, 上海亚荣生化仪器厂; SHZ-III 循环水真空泵, 上海知信实验仪器技术有限公司; Microfuge 20R Centrifuge 离心机, 美国贝克曼库尔特有限公司; Q Exactive Focus 组合四极杆 Orbitrap 质谱仪, 美国赛默飞世尔科技公司; 电子舌, 法国 Alpha

MOS 公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 电子舌检测

参照田晓静<sup>[18]</sup>和陶正清<sup>[19]</sup>的方法, 并做适当调整。将 42 块肉样随机分为十四组, 每组重约 600 g。将十四组肉样在同等条件下分别预煮 10 min 后捞出。再向每组肉样中加入 1.5 L 水、10 g 食盐。将花椒、辣椒、丁香、甘草、白芷、陈皮、八角、桂皮、白蔻、小茴香、山柰、香叶、草果香辛料样品用高速粉碎机粉碎, 各取 6 g 扎成料包分别加入到十三组肉样中, 每组试验组肉样与单一香辛料卤煮 40 min, 对照组不添加香辛料煮制 40 min。试验组与对照组均浸泡 90 min 后捞出备用。将上述十四组肉样分别用绞肉机充分搅碎并混合均匀, 各称取 20 g 于 250 mL 的锥形瓶中, 每组样品加入 200 mL 超纯水于 50 °C 下水浴 20 min, 以 10 000 r/min 离心 10 min, 离心温度为 4 °C, 取上清液过滤并将滤液过 0.45 μm 的微孔滤膜得电子舌检测液。

#### 1.3.2 牛后腱肉的卤制方法

将 10 块肉样随机分为两组, 每组约为 1 000 g。将两组肉样按照酱卤牛肉的生产工艺, 在同等条件下分别预煮 10 min 后捞出。对照组再加入 2 L 水、17 g 食盐卤煮 40 min 后浸泡 90 min 捞出。试验组加入 2 L 水、17 g 食盐、按酱卤牛肉中复合香辛料的比例配制的香辛料粉 4 包卤煮 40 min, 浸泡 90 min 后捞出。

#### 1.3.3 香辛料样品前处理

参考张洁<sup>[20]</sup>的方法, 并稍加修改。将花椒、辣椒、丁香、甘草、白芷、陈皮、八角、桂皮、白蔻、小茴香、山柰、香叶、草果香辛料样品放入数显鼓风干燥箱于 65 °C 干燥 4 h, 用高速粉碎机粉碎后过 60 目筛, 每种样品按酱卤牛肉中复合香辛料的比例称取 4 份并混合均匀, 加入 250 mL φ=80% 甲醇水溶液、0.5 mL 乙酸锌溶液和 0.5 mL 亚铁氰化钾溶液, 密封后开小孔超声提取 2 h, 温度为 60 °C。静置 10 min 后以 10 000 r/min 离心 10 min, 离心温度为 4 °C。将上清液过滤浓缩定容至 50 mL 的容量瓶, 用注射器吸取 2 mL 过 0.45 μm 的有机滤膜, 于 4 °C 下保存备用。

#### 1.3.4 酱卤牛肉样品前处理方法

参考方林明等<sup>[21]</sup>的方法, 并稍加修改。将上述两组肉样分别用绞肉机充分搅碎并混合均匀, 称取样品 5 g 置于 100 mL 的离心管中, 加入 20 mL φ=80% 的甲醇水溶液、0.5 mL 乙酸锌溶液和 0.5 mL 亚铁氰化钾溶液, 涡旋混匀。在 40 °C 的水浴下超声提取 20 min, 以 10 000 r/min 离心 10 min, 离心温度为 4 °C。取上清液

过滤并转移至 50 mL 的烧杯中, 沉淀物中再次加入 20 mL φ=80% 的甲醇水溶液, 涡旋混匀, 离心 10 min, 合并上清液并定容至 50 mL 的容量瓶中。用注射器吸取 2 mL 过 0.45 μm 的有机滤膜, 于 4 °C 下保存备用。

#### 1.3.5 色谱条件

参考 Yang 等<sup>[7]</sup>的方法, 并稍加修改。色谱柱: Waters Acquity UPLC HSS T3 C18 (2.1 mm×100 mm, 1.8 μm); 流动相: A 为 φ=0.1% 的甲酸和乙腈, B 为 φ=0.1% 的甲酸水溶液; 洗脱梯度: 0~15.0 min, 5%~90% B; 15.0~20.0 min, 90%~90% B; 20~20.10 min, 90%~5% B; 20.10~30 min, 5%~5% B; 流量 0.3 mL/min; 柱温 30 °C; 进样量 5 μL。

#### 1.3.6 质谱条件

参考雒晓梅等<sup>[22]</sup>的方法, 并稍加修改。离子源: 电喷雾离子源 (ESI); 鞘气 (N<sub>2</sub>) 和辅助气 (Ar) 流速分别为 25 L/min 和 8 L/min; 毛细管温度: 320 °C; 喷雾电压: 3 800 V (PIM) 或 3 400 V (负离子模式); 扫描模式: Full MS/dd-MS2, Full MS 分辨率 70 000, dd-MS2 分辨率 17 500, 扫描范围: 300~1 500, 碰撞能量: 15、30、45 V。

### 1.4 数据统计分析

电子舌数据由 Microsoft Excel 2019 软件处理数据并绘制雷达图, 并以“离差平方和法”作为组群合并准则, 以“欧式距离”作为度量准则, 利用 SPSS 20.0 软件进行聚类分析 (CA) 及差异显著性分析 ( $p < 0.05$ )。利用 Thermo Compound Discover 2.0 (CD) 分析软件对 UPLC-QE 采集的原始数据进行计算, 根据 OTCM 高分辨液质数据库、Chembook 数据库、Chemspider 数据库的化合物信息鉴定差异物质。CD 软件可充分利用高保真的 Orbitrap 数据来准确鉴定复杂基质中的化合物<sup>[22]</sup>。所有指标的测定均为 3 次平行测定结果。

## 2 结果与讨论

### 2.1 香辛料赋予酱卤牛肉的滋味分析

电子舌是一种用于分析滋味物质的有效手段, 其具有多种不同类型的传感器, 可以模拟人类的味觉感受。在炖煮不同部位牛肉的区分和鉴定<sup>[23]</sup>、饮料和调味品的品质评价<sup>[24,25]</sup>、茶叶品质分级<sup>[26,27]</sup>等方面已有应用。为探究酱卤牛肉加工过程中单一香辛料对牛后腱肉滋味的作用效果, 将单一香辛料与牛后腱肉进行煮制, 盐水煮制的牛后腱肉作为空白对照, 结果如图 1 所示。“0~100”的标度是将检测对象的评价指标以酸、甜、苦、鲜、咸五种基本味觉为统一尺度映射后



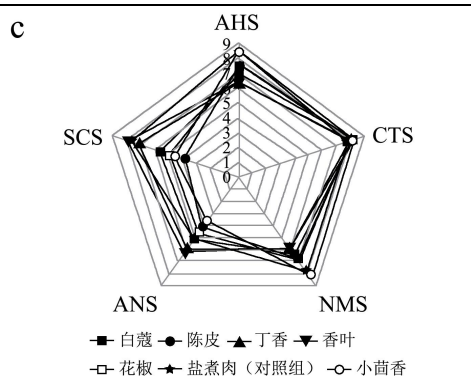


图2 单一香辛料对牛后腱肉滋味的影响雷达图

Fig.2 The radar map of effects of different spices on the taste of beef shank

注: AHS: 酸味; CTS: 咸味; NMS: 鲜味; ANS: 甜味; SCS: 苦味。

## 2.2 香辛料赋予酱卤牛肉的非挥发性物质分析

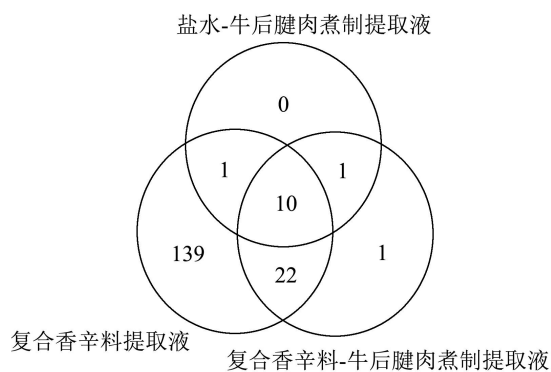


图3 复合香辛料提取液、复合香辛料-牛后腱肉煮制提取液、盐水-牛后腱肉煮制提取液中共有和独特物质的数量的 Venn 图

Fig.3 Venn diagram for numbers of shared and unique compounds among the extraction of mixed spice, extraction of beef shank stewed in mixed spice and extraction of beef shank stewed in salt water

香辛料在酱卤牛肉的加工过程中具有不可替代的作用,随着食品科学研究的不断深入,发现香辛料不仅对酱卤牛肉具有品质改善、增香<sup>[15]</sup>等作用,其在滋味方面的贡献也不可忽视。探究在酱卤牛肉的加工过程中,香辛料赋予酱卤牛肉的滋味物质,首先对复合香辛料提取液组、复合香辛料-牛后腱肉煮制提取液组、盐水-牛后腱肉煮制提取液组的非挥发性化合物进行解析与鉴定,确定香辛料赋予牛后腱肉的非挥发性化合物。将上述三个处理组的 UPLC-MS/MS 结果进行对比,绘制 Venn 图。如图 3 所示:有 139 种化合物在复合香辛料提取液组中检测到而在其他两组中未检出;有 1 种物质在复合香辛料-牛后腱肉煮制提取液中检测到而在其他两组中未检出,推测这种物质可能是复合香辛料与牛后腱肉煮制的过程中产生的,Wang

等<sup>[36]</sup>研究发现柚皮素、槲皮素等物质的糖苷代谢物在热处理下可转化为相应的苷元和糖体,Toldra<sup>[37]</sup>研究发现游离氨基酸可以通过 Streker 降解、美拉德反应等途径生成挥发性风味物质;在三个处理组中均能检测到的化合物共 10 种,表明这 10 种物质在香辛料及牛后腱肉中均存在,例如亮氨酸、胞嘧啶等物质;有 22 种化合物为复合香辛料提取液组和复合香辛料-牛后腱肉煮制提取液组所共有,而在盐水-牛后腱肉煮制提取液组中未检出,由此香辛料赋予牛后腱肉的非挥发性化合物共 22 种。

## 2.3 香辛料赋予酱卤牛肉的滋味物质鉴定

根据 OTCM 高分辨液质数据库、Chembook 数据库、Chemspider 数据库的化合物信息鉴定,确定香辛料提取液组与复合香辛料-牛后腱肉煮制提取液组、盐水-牛后腱肉煮制提取液组共鉴定到 174 种非挥发性化合物,如表 1 所示。其中黄酮类化合物共 60 种,香豆素类化合物共 19 种,生物碱类化合物共 18 种,萜类化合物共 16 种,酚及酚酸类化合物 15 种,有机酸类化合物共 12 种,其他种类化合物较少。黄酮类化合物是香辛料中广泛存在的一种物质,通常具有抗氧化、抗菌、抗炎等作用<sup>[38]</sup>,目前某些黄酮类化合物已经作为一种新型甜味剂应用到食品加工中,例如,二氢查尔酮具有甜味大、性质稳定、口感清爽等优点,已应用于口香糖、糖果等食品的加工工艺中<sup>[39]</sup>;生物碱类化合物主要存在于椒类香辛料中,如辣椒中的辣椒素、二氢辣椒素等;酚类化合物大多与单糖或者多糖结合形成糖苷,以结合态存在<sup>[40]</sup>;其他种类化合物主要为香辛料中易挥发性成分,可赋予酱卤牛肉独特的风味,例如桂皮中的肉桂醛具有特殊的肉桂香味。

通过差异分析确定香辛料赋予酱卤牛肉的非挥发性化合物共 22 种,如表 2 所示。其中黄酮类化合物共 16 种,包括槲皮甙、异橙黄酮、新橙皮甙、柚皮素、柚皮苷、甘草苷元-7-O-β-D-芹糖-4'-O-β-D-葡萄糖苷、芸香柚皮苷、橙皮苷、甘草苷、异甘草苷、甜橙黄酮、异槲皮苷、圣草次苷、桔皮素、川陈皮素、紫云英苷;酮类化合物 2 种,包括花椒油素、乙酰苯;酯类化合物、生物碱类化合物、香豆素类化合物、有机酸类化合物各 1 种,分别是对甲氧基肉桂酸乙酯、木兰花碱、佛手酚、对羟基肉桂酸。通过检索 OTCM 高分辨液质数据库、Chembook 数据库、Chemspider 数据库,确证了香辛料赋予酱卤牛肉的滋味物质共 8 种,其中新橙皮苷、甘草苷、乙酰苯具有甜味;柚皮苷、异槲皮苷、桔皮素、川陈皮素、紫云英苷具有苦味。与电子舌样品前处理方法相比,UPLC-MS/MS 样品前处理时



复合香辛料-牛后腱肉煮制提取液由 80% 甲醇溶液制备, 因此未检测到呈甜味及鲜味的氨基酸, 两者结果并不冲突。

## 2.4 香辛料赋予酱卤牛肉的滋味物质差异分析

热图可以通过颜色的深浅来直观的反映某种非挥发性化合物的含量变化, 因此依据三个处理组中 22

种非挥发性化合物的峰面积绘制热图, 结果如图 4 所示。图中红色表示高表达, 蓝色表示低表达。从图中条带可看出, 22 种非挥发性化合物在不同处理组中都有明确的高表达或低表达区域, 这些差异物质在复合香辛料提取液组中含量明显较高, 在复合香辛料-牛后腱肉煮制提取液组中含量较低, 在盐水-牛后腱肉煮制提取液中未检出。

表 1 复合香辛料提取液组、复合香辛料-牛后腱肉煮制提取液组、盐水-牛后腱肉煮制提取液中非挥发性物质鉴定

Table 1 Identification of non-volatile substances in the extraction of mixed spice, extraction of beef shank stewed in mixed spice and extraction of beef shank stewed in salt water

序号	化合物名称	保留时间/min	分子式	分子量	物质类别
1	乙酰苯	1.96	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	120.057 51	酮类
2	刺甘草查尔酮	7.82	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	270.089 08	酮类
3	花椒油素	10.11	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	196.073 56	酮类
4	诺卡酮	12.63	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> O	218.167 01	酮类
5	龙血素 B	2.70	C <sub>18</sub> H <sub>20</sub> O <sub>5</sub>	316.129 29	黄酮类
6	紫云英苷	3.49	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub>	448.100 56	黄酮类
7	原花青素 B2	3.85	C <sub>30</sub> H <sub>26</sub> O <sub>12</sub>	578.142 77	黄酮类
8	牡荆素	3.87	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>10</sub>	432.105 36	黄酮类
9	曲克芦丁	4.18	C <sub>33</sub> H <sub>42</sub> O <sub>19</sub>	742.233 21	黄酮类
10	芦丁	4.77	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	610.153 9	黄酮类
11	甘草苷元-7-O-β-D-芹糖-4'-O-β-D-葡萄糖苷	4.87	C <sub>26</sub> H <sub>30</sub> O <sub>13</sub>	550.168 64	黄酮类
12	圣草次苷	4.90	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>15</sub>	596.174 12	黄酮类
13	原花青素 B1	4.92	C <sub>30</sub> H <sub>26</sub> O <sub>12</sub>	578.142 71	黄酮类
14	金丝桃苷	4.99	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>12</sub>	464.095 69	黄酮类
15	异槲皮苷	4.99	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>12</sub>	464.095 48	黄酮类
16	槲皮素-3-葡萄糖醛酸苷	5.01	C <sub>21</sub> H <sub>18</sub> O <sub>13</sub>	478.074 82	黄酮类
17	甘草苷	5.01	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>9</sub>	418.126 38	黄酮类
18	甘草素	5.02	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	256.073 31	黄酮类
19	丁香醛	5.2	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	182.057 98	黄酮类
20	异鼠李素-3-O-新橙皮苷	5.24	C <sub>28</sub> H <sub>32</sub> O <sub>16</sub>	624.169 8	黄酮类
21	芸香柚皮苷	5.26	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>14</sub>	580.179 21	黄酮类
22	柚皮素	5.43	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	272.068 47	黄酮类
23	柚皮苷	5.44	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>14</sub>	580.179 21	黄酮类
24	水仙苷	5.44	C <sub>28</sub> H <sub>32</sub> O <sub>16</sub>	624.169 17	黄酮类
25	槲皮甙	5.52	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub>	448.100 56	黄酮类
26	橙皮苷	5.55	C <sub>28</sub> H <sub>34</sub> O <sub>15</sub>	610.189 77	黄酮类
27	新橙皮苷	5.72	C <sub>28</sub> H <sub>34</sub> O <sub>15</sub>	610.190 41	黄酮类
28	橙皮素	5.72	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	270.052 69	黄酮类
29	异甘草苷	6.18	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>9</sub>	418.126 38	黄酮类
30	芒柄花苷	6.22	C <sub>22</sub> H <sub>22</sub> O <sub>9</sub>	430.126 59	黄酮类
31	甘草查尔酮 B	6.66	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub>	286.084 06	黄酮类
32	棕矢车菊素	6.67	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	330.073 58	黄酮类
33	异樱花素	6.84	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub>	286.083 81	黄酮类
34	香蜂草苷	6.84	C <sub>28</sub> H <sub>34</sub> O <sub>14</sub>	594.195 23	黄酮类
35	木犀草素	7.02	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	286.048 09	黄酮类
36	槲皮素	7.08	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	302.042 77	黄酮类

37	射干苷	7.11	C <sub>22</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	462.116 29	黄酮类
38	山奈酚	8.05	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	286.048 03	黄酮类
39	异鼠李素	8.25	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	316.058 45	黄酮类
40	射干苷元	8.37	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	300.063 19	黄酮类
41	异橙黄酮	8.43	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	372.120 90	黄酮类
42	泽兰黄酮	8.67	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	316.058 58	黄酮类

续表 1

序号	化合物名称	保留时间/min	分子式	分子量	物质类别
43	刺芒柄花素	8.87	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	268.073 42	黄酮类
44	5-羟基-四氢萘酮	8.99	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	162.068 02	黄酮类
45	甜橙黄酮	9.16	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	372.120 66	黄酮类
46	甘草黄酮 A	9.61	C <sub>20</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub>	322.120 33	黄酮类
47	黄腐酚	9.76	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>5</sub>	354.146 93	黄酮类
48	川陈皮素	9.87	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>8</sub>	402.131 47	黄酮类
49	6-去甲氧基桔皮素	9.94	C <sub>19</sub> H <sub>18</sub> O <sub>6</sub>	342.109 95	黄酮类
50	淫羊藿素	10.12	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>6</sub>	368.125 83	黄酮类
51	鸢尾黄酮乙素	10.14	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	330.073 86	黄酮类
52	羟基芫花素	10.17	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	300.063 33	黄酮类
53	异黄腐醇	10.3	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>5</sub>	354.146 66	黄酮类
54	美迪紫檀素	10.53	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	270.089 28	黄酮类
55	桔皮素	10.64	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	372.120 90	黄酮类
56	甘草查尔酮 A	10.92	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	338.151 75	黄酮类
57	去甲基川陈皮素	11.38	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>8</sub>	388.115 42	黄酮类
58	光甘草定	11.49	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>4</sub>	324.135 97	黄酮类
59	光甘草酮	11.55	C <sub>20</sub> H <sub>16</sub> O <sub>5</sub>	336.099 8	黄酮类
60	异泽兰黄素	11.87	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>7</sub>	344.089 33	黄酮类
61	8-异戊烯基柚皮素	11.97	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>5</sub>	340.130 99	黄酮类
62	四甲基姜黄素	12.66	C <sub>25</sub> H <sub>28</sub> O <sub>6</sub>	424.188 68	黄酮类
63	桑黄酮	13.18	C <sub>25</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub>	422.173	黄酮类
64	桑辛素	14.93	C <sub>25</sub> H <sub>24</sub> O <sub>6</sub>	420.157 57	黄酮类
65	甲氧基香豆素	3.39	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	176.047 34	香豆素类
66	7-羟基香豆素	3.58	C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	162.031 61	香豆素类
67	滨蒿内酯	3.94	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	224.068 44	香豆素类
68	岩白菜素	4.34	C <sub>14</sub> H <sub>16</sub> O <sub>9</sub>	328.079 77	香豆素类
69	4-甲氧基水杨醛	5.07	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	152.047 35	香豆素类
70	蛇床子素	6.20	C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub>	244.109 83	香豆素类
71	毛两面针素	6.31	C <sub>16</sub> H <sub>20</sub> O <sub>6</sub>	326.136 41	香豆素类
72	香豆素	6.82	C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	146.036 78	香豆素类
73	水合氧化前胡素	6.99	C <sub>16</sub> H <sub>16</sub> O <sub>6</sub>	304.094 43	香豆素类
74	佛手酚	7.20	C <sub>11</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	202.026 61	香豆素类
75	佛手柑内酯	9.04	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	216.042 16	香豆素类
76	氧化前胡素	9.21	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub>	286.083 84	香豆素类
77	异橙皮内酯	9.34	C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> O <sub>4</sub>	260.104 80	香豆素类
78	7-去甲基软木花椒素	10.28	C <sub>14</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	230.093 99	香豆素类
79	蟛蜞菊内酯	10.50	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	314.043 02	香豆素类
80	花椒毒酚	11.41	C <sub>11</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	202.026 57	香豆素类

81	欧前胡素	11.41	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	270.088 90	香豆素类
82	异欧前胡素	12.23	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	270.088 91	香豆素类
83	佛手柑素	15.31	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	338.151 63	香豆素类
84	腺嘌呤	1.50	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N <sub>5</sub>	135.054 52	生物碱类
85	鸟嘌呤	1.60	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N <sub>5</sub> O	151.049 51	生物碱类
86	大麦芽碱	2.07	C <sub>10</sub> H <sub>15</sub> NO	165.115 46	生物碱类

续表 1

序号	化合物名称	保留时间/min	分子式	分子量	物质类别
87	N-甲基野靛碱	2.44	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> O	204.126 26	生物碱类
88	波尔定碱	4.10	C <sub>19</sub> H <sub>21</sub> NO <sub>4</sub>	327.146 79	生物碱类
89	木兰花碱	4.19	C <sub>20</sub> H <sub>23</sub> NO <sub>4</sub>	341.162 71	生物碱类
90	青藤碱	4.34	C <sub>19</sub> H <sub>23</sub> NO <sub>4</sub>	329.162 45	生物碱类
91	去亚甲基小檗碱	5.09	C <sub>19</sub> H <sub>17</sub> NO <sub>4</sub>	323.115 55	生物碱类
92	盐酸黄柏碱	5.37	C <sub>20</sub> H <sub>24</sub> ClNO <sub>4</sub>	150.067 88	生物碱类
93	药根碱	5.65	C <sub>20</sub> H <sub>19</sub> NO <sub>4</sub>	337.131 13	生物碱类
94	去氢吴茱萸碱	6.23	C <sub>19</sub> H <sub>15</sub> N <sub>3</sub> O	301.121 34	生物碱类
95	二氢血根碱	6.46	C <sub>20</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>4</sub>	333.099 84	生物碱类
96	氯化两面针碱	6.98	C <sub>21</sub> H <sub>18</sub> NO <sub>4</sub> Cl	347.115 58	生物碱类
97	石斛碱	9.80	C <sub>16</sub> H <sub>25</sub> NO <sub>2</sub>	263.188 20	生物碱类
98	辣椒素	10.46	C <sub>17</sub> H <sub>27</sub> NO <sub>3</sub>	293.198 86	生物碱类
99	天然辣椒素	10.64	C <sub>18</sub> H <sub>27</sub> NO <sub>3</sub>	305.198 86	生物碱类
100	吴茱萸次碱	10.80	C <sub>18</sub> H <sub>13</sub> N <sub>3</sub> O	287.105 62	生物碱类
101	二氢辣椒素	11.37	C <sub>18</sub> H <sub>29</sub> NO <sub>3</sub>	307.214 44	生物碱类
102	车叶草苷酸	2.45	C <sub>18</sub> H <sub>24</sub> O <sub>12</sub>	432.127 13	萜类
103	脱落酸	3.07	C <sub>15</sub> H <sub>20</sub> O <sub>4</sub>	264.135 95	萜类
104	大戟因子 L1	3.20	C <sub>32</sub> H <sub>40</sub> O <sub>8</sub>	570.279 00	萜类
105	龙胆苦苷	3.93	C <sub>16</sub> H <sub>20</sub> O <sub>9</sub>	356.111 13	萜类
106	马钱苷酸	4.16	C <sub>16</sub> H <sub>24</sub> O <sub>10</sub>	376.137 24	萜类
107	乌药醚内酯	6.06	C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> O <sub>4</sub>	260.104 83	萜类
108	莜木醇	7.19	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	236.177 45	萜类
109	去氢木香内酯	7.98	C <sub>15</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	230.130 57	萜类
110	甘草次酸	8.52	C <sub>30</sub> H <sub>46</sub> O <sub>4</sub>	470.339 22	萜类
111	苦玄参苷 IA	8.87	C <sub>41</sub> H <sub>62</sub> O <sub>13</sub>	808.425 41	萜类
112	柠檬苦素	9.47	C <sub>26</sub> H <sub>30</sub> O <sub>8</sub>	516.200 09	萜类
113	樟脑	9.90	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	152.120 11	萜类
114	软木花椒素	12.44	C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub>	244.109 81	萜类
115	α-香附酮	12.86	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> O	218.167 01	萜类
116	鼠尾草酚	13.36	C <sub>20</sub> H <sub>26</sub> O <sub>4</sub>	330.183 19	萜类
117	栎樱酸	16.09	C <sub>30</sub> H <sub>48</sub> O <sub>2</sub>	440.366 08	萜类
118	尿苷	1.40	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	244.069 49	核苷类
119	腺苷	1.51	C <sub>10</sub> H <sub>13</sub> N <sub>5</sub> O <sub>4</sub>	267.096 62	核苷类
120	鸟苷	1.60	C <sub>10</sub> H <sub>13</sub> N <sub>5</sub> O <sub>5</sub>	283.091 59	核苷类
121	胸苷	2.29	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	242.090 36	核苷类
122	益母草苷	3.50	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O <sub>9</sub>	394.148 08	糖苷类
123	丹皮酚原苷	4.07	C <sub>20</sub> H <sub>28</sub> O <sub>12</sub>	460.158 72	糖苷类
124	牡荆素鼠李糖苷	4.66	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>14</sub>	578.164 00	糖苷类



125	橙黄决明素-6-O-葡萄糖苷	6.67	C <sub>23</sub> H <sub>24</sub> O <sub>12</sub>	492.126 89	糖苷类
126	没食子酸甲酯	3.81	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>5</sub>	184.036 24	酯类
127	白木内酯 III	5.15	C <sub>15</sub> H <sub>20</sub> O <sub>3</sub>	248.141 03	酯类
128	光甘草内酯	8.08	C <sub>30</sub> H <sub>44</sub> O <sub>4</sub>	486.334 55	酯类
129	乌药内酯	8.31	C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub>	244.109 77	酯类
130	雷公藤内酯甲	9.06	C <sub>30</sub> H <sub>46</sub> O <sub>3</sub>	454.344 79	酯类

续表 1

序号	化合物名称	保留时间/min	分子式	分子量	物质类别
131	异丁香酚乙酸酯	10.84	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	206.094 23	酯类
132	棕榈酸甲酯	12.04	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	316.261 44	酯类
133	异土木香内酯	12.08	C <sub>15</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	232.146 18	酯类
134	对甲氧基肉桂酸乙酯	11.17	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	206.094 29	酯类
135	邻藜芦醛	2.62	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	166.063 02	醛类
136	对甲氧基苯甲醛	10.63	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	136.052 50	醛类
137	肉桂醛	11.17	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O	132.057 53	醛类
138	松柏醛	11.17	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	178.063 00	醛类
139	熊果苷	1.63	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> O <sub>7</sub>	272.089 80	酚类
140	原儿茶酸	3.03	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	154.025 44	酚类
141	刺五加苷 B	3.44	C <sub>17</sub> H <sub>24</sub> O <sub>9</sub>	389.168 40	酚类
142	(+)-儿茶素	3.70	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	290.079 10	酚类
143	儿茶精	4.15	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	290.079 06	酚类
144	圣草酚	4.91	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	288.063 10	酚类
145	鞣花酸	5.02	C <sub>14</sub> H <sub>6</sub> O <sub>8</sub>	302.006 40	酚类
146	山奈酚-3-O-芸香糖苷	5.18	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>15</sub>	594.158 70	酚类
147	桑黄素	5.52	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	302.042 39	酚类
148	甲基丁香酚	6.27	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	178.062 06	酚类
149	丹皮酚	8.73	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	166.062 92	酚类
150	隐绿原酸	3.61	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	354.095 08	酚酸类
151	原儿茶醛	3.73	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	138.030 41	酚酸类
152	绿原酸	4.03	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	354.095 33	酚酸类
153	咖啡酸	4.18	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	180.041 77	酚酸类
154	莽草酸	1.33	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	174.051 80	有机酸类
155	柠檬酸	1.44	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	192.026 13	有机酸类
156	对羟基肉桂酸	1.50	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	164.047 34	有机酸类
157	没食子酸	2.14	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	170.020 49	有机酸类
158	对羟基苯甲酸	2.24	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	138.030 41	有机酸类
159	肉桂酸	2.39	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	148.052 46	有机酸类
160	4-甲氧基水杨酸	2.75	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	168.041 29	有机酸类
161	右旋奎宁酸	3.57	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	192.062 46	有机酸类
162	4-甲氧基苯乙酸	3.63	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	166.061 88	有机酸类
163	水杨酸	6.42	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	138.030 41	有机酸类
164	甘草酸	8.52	C <sub>42</sub> H <sub>62</sub> O <sub>16</sub>	822.404 73	有机酸类
165	α-亚麻酸	15.62	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	278.224 39	有机酸类
166	L-酪氨酸	1.50	C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>3</sub>	181.073 96	氨基酸类
167	L-亮氨酸	1.64	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>	131.094 68	氨基酸类
168	L-脯氨酸	2.03	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>	115.063 63	氨基酸类

169	L-苯丙氨酸	8.02	C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub>	165.079 00	氨基酸类
170	蔗糖	1.15	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	342.116 60	其他种类
171	左旋肉碱	1.92	C <sub>7</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>3</sub>	161.105 15	其他种类
172	壬二酸	5.94	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O <sub>4</sub>	188.103 98	其他种类
173	大黄素	7.88	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	270.052 82	其他种类
174	(+)-松脂酚	10.10	C <sub>20</sub> H <sub>22</sub> O <sub>6</sub>	358.141 55	其他种类

表2 复合香辛料赋予酱卤牛肉的非挥发性物质鉴定

Table 2 The identification of the non-volatile substance difference in the sauced beef with different spices

序号	化合物名称	分子式	分子量	保留时间/min	峰面积		
					复合香辛料提取液	复合香辛料-牛后腱肉煮制提取液	盐水-牛后腱肉煮制提取液
1	对羟基肉桂酸	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	164.047 34	1.50	14 617 520.78	1 970 497.30	-
2	乙酰苯	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	120.057 51	1.96	13 739 830.70	519 507.33	-
3	紫云英苷	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub>	448.100 56	3.46	3 763 755.05	11 285.73	-
4	木兰花碱	C <sub>20</sub> H <sub>23</sub> NO <sub>4</sub>	341.162 71	4.19	92 523 322.99	684 657.07	-
5	甘草昔元-7-O-β-D-芹糖-4'-O-β-D-葡萄糖苷	C <sub>26</sub> H <sub>30</sub> O <sub>13</sub>	550.168 64	4.87	21 641 300.63	246 673.71	-
6	圣草次昔	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>15</sub>	596.174 12	4.90	21 728 490.49	259 555.44	-
7	异槲皮昔	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>12</sub>	464.095 48	4.99	109 399 327.60	976 211.04	-
8	甘草昔	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>9</sub>	418.126 38	5.01	14 768 324.62	310 119.83	-
9	芸香柚皮昔	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>14</sub>	580.179 21	5.26	14 150 586.57	151 287.14	-
10	柚皮素	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	272.068 47	5.41	29 694 305.22	591 244.37	-
11	柚皮昔	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>14</sub>	580.179 21	5.44	98 811 639.05	1 806 643.57	-
12	槲皮甙	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub>	448.100 56	5.52	54 530 143.16	390 718.53	-
13	橙皮昔	C <sub>28</sub> H <sub>34</sub> O <sub>15</sub>	610.189 77	5.55	33 315 395.68	611 959.56	-
14	新橙皮昔	C <sub>28</sub> H <sub>34</sub> O <sub>15</sub>	610.190 41	5.72	66 905 860.55	868 309.76	-
15	异甘草昔	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>9</sub>	418.126 38	6.18	15 008 696.75	16 459.59	-
16	佛手酚	C <sub>11</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	202.026 61	7.20	45 637 031.00	196 991.05	-
17	异橙黄酮	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	372.120 90	8.43	10 955 455.46	79 868.11	-
18	甜橙黄酮	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	372.120 66	9.16	71 867 772.87	909 982.90	-
19	川陈皮素	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>8</sub>	402.131 47	9.87	122 537 485.20	1 905 025.38	-
20	花椒油素	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	196.073 56	10.11	237 256 293.20	367 446.87	-
21	桔皮素	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	372.120 90	10.64	68 591 921.28	544 231.82	-
22	对甲氧基肉桂酸乙酯	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	206.094 29	11.17	639 702 234.70	1 127 692.14	-

注：-表示未检测到该物质。

香辛料赋予酱卤牛肉的非挥发性物质包括黄酮类物质、香豆素类物质和生物碱类物质。郑洁<sup>[41]</sup>等用超高效液相色谱法测定了柑橘中的酚酸和黄酮类化合物,其在不同品种,不同部位的柑橘中含量差异较大。不同的香辛料赋予酱卤牛肉的黄酮类化合物包括柚皮昔、新橙皮昔、陈皮昔、槲皮甙、甘草昔、芸香柚皮昔、异橙黄酮和紫云英昔等,其中大多数具有苦味,但新橙皮昔在氢化作用下可转化为新橙皮昔二氢查尔酮,甜度为蔗糖的950倍,且回味无苦味,可直接应用于各种食品中<sup>[39]</sup>,因此黄酮类化合物是香辛料赋予

酱卤牛肉的不可忽视的一类物质;香豆素的化学名称为12-苯并吡喃酮,是自然界中广泛存在的一种内酯类化合物,其在酸性条件下结构稳定,碱性条件下易开环。香豆素类化合物被广泛应用于香精香料以及食品添加剂中,但过量的香豆素类物质对肝肾具有毒害作用<sup>[42]</sup>,食品中最高用量为5 mg/kg。徐建军<sup>[43]</sup>等采用HPLC-MS/MS法在枳壳朴汤冻干粉中也测定到了佛手酚,结果表明香豆素类化合物在枳壳朴汤冻干粉中含量较低。由表1可知,佛手酚在酱卤牛肉中的含量也较低,推测香豆素类化合物在热加工过程中内酯

环水解开裂,导致了其含量的降低;生物碱类化合物是存在于自然界(主要为植物)中的一类含氮的碱性有机化合物,在其生物合成途径中氨基酸是起始物,主要发生环合反应和碳-氮键的裂解,因此生物碱类化合物总有一些相似的性质<sup>[44]</sup>。本研究在香辛料和酱卤牛肉中均检出了木兰花碱,其具有良好的抗心律失常<sup>[45]</sup>、抗炎<sup>[46]</sup>、抗氧化<sup>[47]</sup>及抗菌活性<sup>[48]</sup>等作用。辣椒碱是辣椒的主要成分,具有辛辣刺激的口感,在UPLC-MS/MS结果中未检出辣椒碱可能是由于辣椒在复合香辛料中的添加比例较低,因此辣椒碱含量低于检出限。

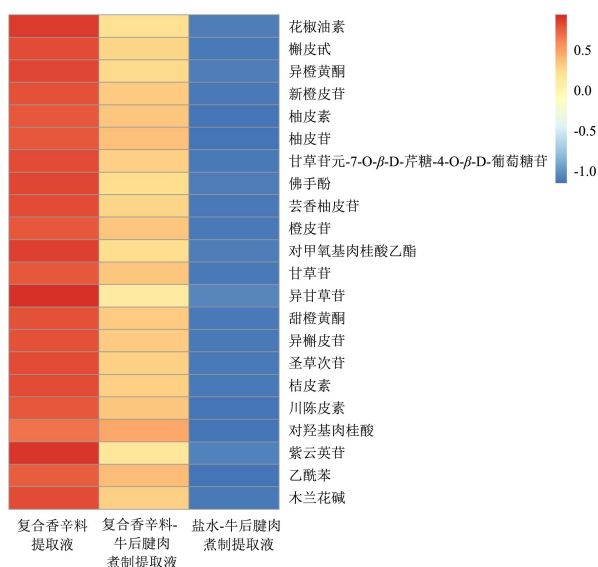


图4 不同处理组非挥发性物质的聚类热图

Fig.4 Clustering heatmap of non-volatile compounds in different treatment groups

### 3 结论

本研究采用电子舌和UPLC-MS-MS技术,结合OTCM高分辨液质数据库、Chembook数据库、Chemspider数据库,对13种香辛料赋予酱卤牛肉的滋味物质进行了解析。结果表明香辛料能赋予酱卤牛肉不同的滋味,主要包括甜味,鲜味和苦味,不同香辛料对酱卤牛肉滋味的作用效果不同,其中甘草、桂皮、八角、辣椒和丁香对甜味贡献突出;小茴香对鲜味具有增益作用;白芷、草果和香叶对苦味作用效果较大;复合香辛料赋予酱卤牛肉的滋味物质有8种,其中新橙皮苷、甘草苷、乙酰苯具有甜味,柚皮苷、异槲皮苷、桔皮素、川陈皮素、紫云英苷具有苦味,复合香辛料赋予酱卤牛肉的滋味物质主要为黄酮类化合物。本研究阐明了13种不同香辛料对酱卤牛肉的赋味效应,明确了复合香辛料赋予酱卤牛肉的滋味物质种类,为香辛料的科学复配与滋味调控提供技术指导。

### 参考文献

- [1] 张春晖.酱卤肉制品新型加工技术[M].北京:科学出版社,2017
- [2] 李娟.我国不同地区酱卤牛肉风味物质剖面分析[D].北京:中国农业科学院,2018
- [3] 高晓平,黄现青,赵改名.传统酱卤肉制品工业化生产中香辛料的调味调香[J].肉类研究,2010,2:35-36
- [4] 邓桃妹,彭灿,彭代银,等.甘草化学成分和药理作用研究进展及质量标志物的探讨[J].中国中药杂志,2021,46(11):2660-2676
- [5] ZHANG Tiantian, LU Chuanli, JIANG Jianguo. Bioactivity evaluation of ingredients identified from the fruits of *Amomum tsaoko crevost et Lemaire*, a Chinese spice [J]. Food & Function, 2014, 5(8)
- [6] 张晶,佟全胜,石磊岭,等.辣椒的化学成分研究进展[J].中成药,2009,31(12):1906-1912
- [7] YANG Qingqing, MEI Xiaofei, WANG Zhirong, et al. Comprehensive identification of non-volatile bitter-tasting compounds in *Zanthoxylum bungeanum* Maxim by untargeted metabolomics combined with sensory-guided fractionation technique [J]. Food Chemistry, 2021, 347
- [8] 王进,李欣,杨龙佳,等.高效液相色谱法测定贵州顶坛花椒中麻味成分羟基-β-山椒素的含量[J].中国调味品,2015,40(10):102-105
- [9] 张敬文.花椒中麻味物质标准品的制备及其含量测定[D].成都:西南交通大学,2016
- [10] 张晶,孙长波,石磊岭,等.RP-HPLC法测定辣椒中辣椒素、二氢辣椒素和降二氢辣椒素含量[J].药物分析杂志,2011,31(2):244-246
- [11] Chiang G. HPLC Analysis of capsaicins and simultaneous determination of capsaicins and piperine by HPLC-ECD and UV [J]. Journal of Food Science, 2006, 51(2): 499-503
- [12] 张根生,程健博,岳晓霞,等.花椒对哈尔滨风干肠菌系及其菌系对风味的影响[J].食品科学,2017,38(8):184-190
- [13] LU Fei, Kuhnle G, CHENG Qifeng. The effect of common spices and meat type on the formation of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in deep-fried meatballs [J]. Food Control, 2018, 92
- [14] LIU Qiong, ZHANG Min, Bhandari B. Effects of nano emulsion-based active coatings with composite mixture of star anise essential oil, polylysine, and nisin on the quality and shelf life of ready-to-eat yao meat products [J]. Food Control, 2020, 107
- [15] 李芳,李洪军,李少博,等.天然香辛料的功能特性及其在肉

- 与肉制品中的应用研究现状[J].食品与发酵工业,2020,46(20):274-281
- [16] Krishnan R, Banuskin S, Rakhavan K. Potential application of corn starch edible films with spice essential oils for the shelf-life extension of red meat [J]. Journal of Applied Microbiology, 2015, 119(6)
- [17] ZHANG Yanjun, Henning Susanne, LEE Rupo. Turmeric and black pepper spices decrease lipid peroxidation in meat patties during cooking [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2015, 66(3): 260-265
- [18] 田晓静.基于电子鼻和电子舌的羊肉品质检测[D].杭州:浙江大学,2014
- [19] 陶正清.盐水鸭加工过程中滋味变化及呈味肽分离鉴定的研究[D].南京:南京农业大学,2014
- [20] 张洁.香辛料主效成分测定及其在鸭脖制品卤制过程中的变化研究[D].武汉:武汉轻工大学,2017
- [21] 方林明,陶唐平,朱自德,等.高效液相色谱法测定食品中辣椒素类化合物[J].食品科技,2020,45(6):361-365
- [22] 雒晓梅,宿美凤,常晓燕,等.基于 LC-MS 联用的杜仲主要化学成分定性及定量分析[J].中国现代中药,2019,21(8):1029-1040
- [23] 宋泽.炖煮牛肉风味研究及其形成机理初探[D].上海:上海应用技术大学,2019
- [24] WEI Zhenbo, WANG Jun, LIAO Wenyan, et al. Technique potential for classification of honey by electronic tongue [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 94(3)
- [25] 王丹丹,凌霞,王念,等.基于电子舌技术对市售生抽酱油滋味品质评价[J].食品与发酵工业,2017,43(6):244-249
- [26] 王银诚,袁海波,李佳,等.基于电子舌技术的红茶滋味品质评价[J].食品安全质量检测学报,2017,8(1):195-201
- [27] 潘玉成,叶乃兴,江福英,等.电子舌在茶叶检测识别中的应用[J].茶叶科学,2016,36(6):621-630
- [28] 张云甫.芳香世界(一)-品味香料[J].中国调味品,2009,34(10):103-112.
- [29] 雷瑞萍.一种新型花椒调味料的制取工艺研究[J].中国调味品,2017,42(9):93-95,108
- [30] LU Muwen, CHEN Chengyu, LAN Yaqi. Capsaicin - the major bioactive ingredient of chili peppers: bio-efficacy and delivery systems [J]. Food & Function, 2020, 11(4): 2848-2860
- [31] ZHANG Runyang, LIU Huamin, MA Yuxiang, et al. Effects of roasting on composition of chili seed and storage stability of chili seed oil [J]. Food Science and Biotechnology, 2019, 28(5): 1475-1486
- [32] Schmid C, Mittermeier-Kleßinger V, Tabea Peters V C, et al. Quantitative mapping of flavor and pharmacologically active compounds in European licorice roots (*Glycyrrhiza glabra* L.) in response to growth conditions and arbuscular mycorrhiza symbiosis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(44): 13173-13189
- [33] Ashfaq M H, Siddique A, Shahid S. Antioxidant activity of *Cinnamon zeylanicum*: A review [J]. Asian Journal of Pharmaceutical Research, 2021, 11(2): 106-116
- [34] Kenzo K. Umami the fifth basic taste: history of studies on receptor mechanisms and role as a food flavor [J]. Biomed Research International, 2015, 2015: 189402
- [35] 张飞.小茴香油树脂的亚临界萃取及其特性和应用研究[D].郑州:郑州大学,2017
- [36] Wang H, Hua J, Yu Q, et al. Widely targeted metabolomic analysis reveals dynamic changes in non-volatile and volatile metabolites during green tea processing - Science Direct [J]. Food Chemistry, 2021, 363: 130131.1-130131.10
- [37] Toldra F, Aristoy M C, Flores M. Contribution of muscle aminopeptidases to flavor development in dry-cured ham [J]. Food Research International, 2000, 33: 181-185
- [38] 赵雪巍,刘培玉,刘丹,等.黄酮类化合物的构效关系研究进展[J].中草药,2015,46(21):3264-3271
- [39] 王雪,乔博,张健鑫,等.黄酮类化合物的应用研究进展[J].中国食品添加剂,2020,31(4):159-163
- [40] 李云龙,赵月亮,范大明,等.香辛料中植物化学物对肉制品品质及健康功效影响研究进展[J].食品科学,2021,42(5): 262-270
- [41] 郑洁,赵其阳,张耀海,等.超高效液相色谱法同时测定柑橘中主要酚酸和类黄酮物质[J].中国农业科学,2014,47(23): 4706-4717
- [42] 汪河滨.天然产物化学[M].北京:化学工业出版社,2016
- [43] 徐建军,任平,刘雅琳,等.HPLC-MS/MS 法同时测定枳壳厚朴汤冻干粉中 7 个香豆素类成分的含量[J].北京中医药大学学报,2018,41(7):585-592
- [44] Williams R M. Modern alkaloids: structure, isolation, synthesis, and biology [M]. John Wiley & Sons, 2007: 78-92
- [45] 胡静,王艳,宋丽丽,等.HPLC 测定中药巴豆中巴豆苷和木兰花碱的含量[J].中国实验方剂学杂志,2015,21(8):39-42
- [46] JIN Jingyi, XUE Haoyu, SUN Xiaoshu. Simultaneous determination of multiple compounds of Da-Huang-Xiao-Shi decoction in rat plasma by LC-MS/MS and its application in a pharmacokinetic study [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2019, 174: 8-18
- [47] WANG Lanjin, JIANG Zhengmeng, XIAO Pingting. Identification of anti-inflammatory components in *Sinomenii*

- caulis* based on spectrum-effect relationship and chemometric methods [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2019, 167: 38-48
- [48] LEE Hyojeoung , SONG Jaeyong, KIM Beomsoo. Biological synthesis of copper nanoparticles using *Magnolia kobus* leaf extract and their antibacterial activity [J]. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2013, 88(11): 1971-1977

现代食品科技