

# MAE-SAFE/GC-MS分析酱牛肉挥发性成分

段 艳<sup>1</sup>, 郑福平<sup>1,2,\*</sup>, 王 楠<sup>1</sup>, 陈海涛<sup>1,2</sup>, 黄明泉<sup>1,2</sup>, 孙宝国<sup>1,2</sup>

(1.北京工商大学 北京市食品风味化学重点实验室, 北京 100048;

2.北京工商大学 食品添加剂与配料北京市高等学校工程研究中心, 北京 100048)

**摘 要:** 采用微波辅助萃取耦合溶剂辅助风味蒸发法提取酱牛肉挥发性成分, 利用气相色谱-质谱联用仪结合保留指数定性分析酱牛肉的挥发性成分, 共鉴定出65种化合物, 包括11种醇, 10种醛, 3种酮, 8种含氮、含硫或杂环化合物, 9种酸, 6种酯, 3种醚, 14种烃和1种酚。采用嗅闻频率检测法对酱牛肉挥发性成分进行GC-O分析, 嗅觉检测频率 $\geq 5/11$ 的化合物有壬醛、5-甲基糠醛、薄荷酮、茴香脑、麦芽酚、反-肉桂醛、肉桂醇。

**关键词:** 酱牛肉; 挥发性成分; 微波辅助萃取耦合溶剂辅助风味蒸发; 气相色谱-质谱联用仪; 气相色谱-嗅觉探测仪

## Analysis of Volatiles in Sauced Beef by Microwave-Assisted Extraction Coupled with Solvent-Assisted Flavor Evaporation and Gas Chromatography-Mass Spectrometry

DUAN Yan<sup>1</sup>, ZHENG Fu-ping<sup>1,2,\*</sup>, WANG Nan<sup>1</sup>, CHEN Hai-tao<sup>1,2</sup>, HUANG Ming-quan<sup>1,2</sup>, SUN Bao-guo<sup>1,2</sup>

(1. Beijing Key Laboratory of Flavor Chemistry, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;

2. Beijing Higher Institution Engineering Research Center of Food Additives and Ingredients, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** Volatile components of sauced beef were extracted by microwave-assisted extraction coupled with solvent-assisted flavor evaporation (MAE-SAFE) and identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) combined with retention indices. Totally 65 volatile compounds were identified, including 11 alcohols, 10 aldehydes, 3 ketones, 8 nitrogenous compounds, sulfur compounds and heterocyclic compounds, 9 acids, 6 esters, 3 ethers, 14 hydrocarbons and 1 phenol. As analyzed by gas chromatography-olfactometry (GC-O), the compounds with detection frequency larger than or equal to 5/11 were nonanal, 5-methyl furfural, piperiton, anethole, maltol, (*E*)-cinnamaldehyde and cinnamyl alcohol.

**Key words:** sauced beef; volatile compounds; microwave-assisted extraction coupled with solvent-assisted flavor evaporation (MAE-SAFE); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); gas chromatography-olfactometry (GC-O)

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)14-0250-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201314051

酱卤制品是肉加调味料和香辛料, 以水为加热介质, 煮制而成的中国传统熟肉类制品<sup>[1]</sup>。肉香味来源于烹煮过程产生的一些挥发性成分, 对于肉香味产生的机理, 不少学者进行了研究。研究<sup>[2]</sup>表明, 在加热烹煮过程中, 牛肉中的不挥发性成分——瘦肉组织与脂肪组织之间发生一系列复杂化学反应, 生成对牛肉香味有贡献的挥发性成分。到目前为止, 肉类挥发性化合物已分离并鉴定出来的约有600种以上, 对牛肉风味有贡献的化合物主要是内酯类、呋喃类、噻唑类、含硫化合物和吡嗪类。例如5-甲基呋喃甲醛的味道具有烧焦、焦糖味, 4-羟基-5-甲基-二氢呋喃酮是牛肉姜汤中的重要风味成分, 内

酯类特别是那些未饱和的能用来改良人造奶油的风味, 噻吩类是具有香味强度的赋香剂<sup>[3]</sup>。本实验主要研究酱牛肉中的挥发性成分, 初步研究了对酱牛肉风味具有重要作用的化合物。

关于牛肉挥发性成分的报道不多, 多采用的提取方法是固相微萃取和同时蒸馏萃取法。藏明伍等<sup>[4]</sup>采用顶空固相微萃取气质联用分析了北京清真酱牛肉挥发性风味化合物, 慕艳梅等<sup>[5]</sup>采用同时蒸馏萃取-气质联用分析了月盛斋酱牛肉的挥发性成分。本实验采用了微波辅助萃取耦合溶剂辅助风味蒸发法对酱牛肉挥发性成分进行提取, 并利用气质联机、气相嗅闻法对挥发性成分进行分析。

收稿日期: 2012-06-29

基金项目: 北京市新世纪百万人才工程项目

作者简介: 段艳(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为香料化学。E-mail: duanyan320@163.com

\*通信作者: 郑福平(1969—), 男, 教授, 博士, 研究方向为香料化学。E-mail: zhengfp@th.btbu.edu.cn

微波辅助萃取(microwave assisted extraction, MAE)具有快速、高效、省溶剂、环境友好等优点。从1986年起微波开始应用到有机分析中的样品预处理即微波辅助萃取。目前微波辅助萃取主要应用于有机污染物的检测<sup>[6-10]</sup>、生物活性物质的提取<sup>[11-14]</sup>。Craveiro<sup>[15]</sup>和Chen<sup>[16]</sup>等用微波辅助萃取对香精挥发油进行了研究。将微波辅助萃取运用于酱牛肉的挥发性风味化合物的萃取并未见于报道。微波辅助萃取设备简单、提取完全<sup>[17]</sup>。本实验将MAE与溶剂辅助风味蒸发(solvent assisted flavor evaporation, SAFE)结合起来,既避免长时间的高温加热,又解决了高沸点物质分离难的问题。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

天福号酱牛肉 市购。

二氯甲烷(分析纯,重蒸后使用)、无水硫酸钠(分析纯) 国药集团化学试剂有限公司; C<sub>7</sub>~C<sub>30</sub>正构烷烃(色谱纯) 北京化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

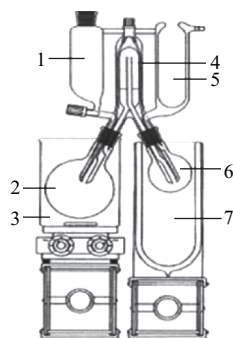
ETHOS E微波辅助萃取仪 意大利Milestone公司; SAFE装置 定制; XDS5复合涡轮分子泵 英国Edwards公司; N-EVAP-12干浴氮吹仪 美国Organomation Associates公司; 6890N-5973i气相色谱-质谱联用仪(配MSD Chem Station D.01.02.16数据处理系统和Nist08质谱图数据库)、6890N- Sniffer9000气相色谱-嗅辨仪 美国Agilent公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品前处理

将市售的酱牛肉切碎至颗粒状,在液氮中粉碎至粉末,于-20℃条件下保存待用。

#### 1.3.2 MAE-SAFE法提取挥发性成分



1.滴液漏斗; 2.蒸馏瓶; 3.超级恒温水槽;  
4.蒸馏头; 5.冷阱; 6.收集烧瓶; 7.保温瓶。

图1 SAFE装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the SAFE equipment

MAE: 分别称取5g酱牛肉粉末,装入6个萃取罐,每罐中加入40mL二氯甲烷,进行微波辅助萃取。萃取程序: 20min升到43℃,保持10min,排风10min,待罐内温度降至室温,合并萃取液,抽滤,收集滤液。

SAFE: 将MAE法得到的滤液经滴液漏斗缓慢滴入如图1所示2号蒸馏烧瓶(250mL)内,3号超级恒温水槽和循环水的温度均为50℃,在5号冷阱和7号冷阱中加入液氮,分子涡轮泵使系统压力降至 $5 \times 10^{-3}$  mbar左右,滴加约15min。待6号蒸馏烧瓶(250mL)内的二氯甲烷提取液融化后,无水Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>干燥,过滤,得澄清的二氯甲烷提取液。旋转蒸发至10mL,氮吹至0.25mL备用。

#### 1.3.3 气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析

色谱柱: DB-Wax毛细管柱(30m×250μm, 0.25μm); 进样口温度: 250℃; 升温程序: 起始温度40℃,保持3min,以8℃/min升到180℃,再以2℃/min升到190℃,再以10℃/min升到230℃,最后以5℃/min升到250℃,保持3min; 载气流速1.0mL/min,进样量2μL,不分流。

质谱条件: 电子电离(electron ionization, EI)离子源; 电子能量70eV; 离子源温度230℃; 传输线温度280℃; 溶剂延迟5min; 质量扫描范围: 30~550u。

#### 1.3.4 气相色谱-嗅觉(gas chromatography-olfactometry, GC-O)分析

色谱条件: 同1.3.3节中色谱条件; 嗅觉检测条件: 辅助线温度220℃。

将1.3.3节中得到样品进行GC-O分析。进样体积2μL,由11名同学组成评香小组,通过检测嗅闻仪流出的气体,记录其气味特征,同时一部分样品被气相色谱的检测器检测,并记录下气相色谱图。统计每一种气味被检测到的频率,检测频率数越大,则对样品整体香味的贡献就越大。

#### 1.3.5 定性定量方法

定性分析: 运用NIST 08谱库检索,只保留匹配度大于等于70的成分; 结合文献中报道的保留指数进一步对化合物进行定性。

保留指数的计算公式<sup>[18]</sup>:  $RI = 100 \times [n + (T_i - T_n) / (T_{n+1} - T_n)]$

式中:  $T_i$ 为待测组分的保留时间;  $T_n$ 为具有 $n$ 个碳原子的正构烷烃的保留时间;  $T_{n+1}$ 为具有 $n+1$ 个碳原子的正构烷烃的保留时间。

定量分析: 采用面积归一化法对各组分进行定量分析,得到各组分的相对含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 GC-MS结果

取浓缩后的提取液,经GC-MS分析,总离子流图见图2,其挥发性化合物的分析结果见表1。

表1 酱牛肉挥发性成分的GC-MS分析结果  
Table 1 GC-MS analytical results of volatile compounds in sauced beef

| 序号        | 保留时间/min | 化合物名称                                                                        | 相对含量/% | 匹配度 | 保留指数 | 文献保留指数 | 定性方式  |
|-----------|----------|------------------------------------------------------------------------------|--------|-----|------|--------|-------|
| 醇类        | 1        | (R)-2-butano (R)-2-丁醇                                                        | 0.04   | 78  | 1018 |        | MS    |
|           | 2        | 1-hexanol 1-己醇                                                               | 0.07   | 72  | 1332 | 1345   | MS RI |
|           | 3        | 2-ethyl-1-hexanol 2-乙基-1-己醇                                                  | 0.12   | 78  | 1467 | 1473   | MS RI |
|           | 4        | linalol 里哪醇                                                                  | 0.32   | 94  | 1523 | 1545   | MS RI |
|           | 5        | terpinen-4-ol 4-萜烯醇                                                          | 0.96   | 97  | 1584 | 1602   | MS RI |
|           | 6        | 2-furan methanol 糠醇                                                          | 2.2    | 97  | 1627 |        | MS RI |
|           | 7        | $\alpha$ -terpineol $\alpha$ -松油醇                                            | 0.83   | 90  | 1677 | 1689   | MS RI |
|           | 8        | 5-methyl-2-furan methanol 5-甲基糠醇                                             | 0.64   | 81  | 1690 |        | MS    |
|           | 9        | phenylethyl alcohol 苯乙醇                                                      | 0.26   | 87  | 1882 | 1903   | MS RI |
|           | 10       | cinnamyl alcohol 肉桂醇                                                         | 0.35   | 94  | 2248 |        | MS    |
|           | 11       | 3-furan methanol 3-呋喃甲醇                                                      | 0.25   | 72  | 2401 |        | MS    |
| 醛类        | 12       | hexanal 己醛                                                                   | 0.14   | 91  | 1069 | 1073   | MS RI |
|           | 13       | heptanal 庚醛                                                                  | 0.08   | 78  | 1170 | 1183   | MS RI |
|           | 14       | nonanal 壬醛                                                                   | 0.61   | 90  | 1376 | 1392   | MS RI |
|           | 15       | furfural 糠醛                                                                  | 0.62   | 91  | 1433 | 1447   | MS RI |
|           | 16       | 5-methyl furfural 5-甲基糠醛                                                     | 0.8    | 93  | 1546 |        | MS    |
|           | 17       | 4-methoxy-benzaldehyde 茴香醛                                                   | 1.01   | 95  | 1999 |        | MS    |
|           | 18       | (E)-cinnamaldehyde 反-肉桂醛                                                     | 1.41   | 97  | 2012 |        | MS    |
|           | 19       | hexadecanal 十六醛                                                              | 1.16   | 99  | 2116 | 2137   | MS RI |
|           | 20       | vanillin 香兰素                                                                 | 0.16   | 93  | 2517 |        | MS RI |
|           | 21       | 5-(hydroxymethyl)-2-furancarboxaldehyde 5-羟甲基-2-呋喃甲醛                         | 8.35   | 94  | 2459 |        | MS    |
| 酮类        | 22       | 3-hydroxy-2-butanone 3-羟基-2-丁酮                                               | 1.14   | 78  | 1261 | 1286   | MS RI |
|           | 23       | 1-hydroxy-2-propanone 1-羟基-2-丙酮                                              | 0.63   | 80  | 1273 |        | MS    |
|           | 24       | piperiton 薄荷酮                                                                | 0.4    | 90  | 1712 |        | MS    |
|           | 25       | pentanoic acid 戊酸                                                            | 0.79   | 59  | 1703 |        | MS    |
| 酸类        | 26       | hexanoic acid 己酸                                                             | 1.86   | 83  | 1810 | 1833   | MS RI |
|           | 27       | heptanoic acid 庚酸                                                            | 0.46   | 76  | 1917 | 1943   | MS RI |
|           | 28       | octanoic acid 辛酸                                                             | 1.24   | 86  | 2022 |        | MS    |
|           | 29       | 2-heptenoic acid 2-庚烯酸                                                       | 0.13   | 94  | 2039 |        | MS    |
|           | 30       | nonanoic acid 壬酸                                                             | 0.67   | 94  | 2129 | 2157   | MS RI |
|           | 31       | decanoic acid 癸酸                                                             | 0.64   | 91  | 2237 |        | MS    |
|           | 32       | benzoic acid 苯甲酸                                                             | 0.12   | 80  | 2384 |        | MS    |
|           | 33       | dodecanoic acid 十二烷酸                                                         | 0.27   | 97  | 2449 | 2479   | MS RI |
|           | 34       | ethyl lactate 乳酸乙酯                                                           | 0.29   | 56  | 1318 | 1303   | MS    |
| 酯类        | 35       | hexyl fomite 甲酸己酯                                                            | 0.07   | 72  | 1332 |        | MS    |
|           | 36       | methyl 2-furoate 2-糠酸甲酯                                                      | 1.44   | 83  | 1974 |        | MS    |
|           | 37       | ethyl cinanamate 肉桂酸乙酯                                                       | 0.24   | 93  | 2105 |        | MS    |
|           | 38       | 3-(4-methoxyphenyl)-2-propenoic acid, ethyl ester 3-(4-甲氧基苯基)-2-丙烯酸乙酯        | 0.39   | 97  | 2493 |        | MS    |
|           | 39       | 2H-1-benzopyran-2-one 香豆素                                                    | 0.1    | 94  | 2412 |        | MS    |
| 醚类        | 40       | 2-methoxy-ethanol 乙二醇甲醚                                                      | 0.05   | 91  | 1158 |        | MS    |
|           | 41       | eucalyptol 桉树脑                                                               | 0.3    | 97  | 1196 |        | MS    |
|           | 42       | 1-methoxy-4-(1-propenyl)-benzene 茴香脑                                         | 3.51   | 98  | 1802 |        | MS    |
| 含氮、含硫及杂环类 | 43       | 2-pentyl furan 2-戊基呋喃                                                        | 0.05   | 94  | 1214 | 1231   | MS RI |
|           | 44       | 2-acetyl furan 2-乙酰基呋喃                                                       | 0.18   | 90  | 1477 | 1483   | MS RI |
|           | 45       | dimethyl sulfone 二甲亚砜                                                        | 0.69   | 91  | 1868 |        | MS    |
|           | 46       | benzothiazole 苯并噻唑                                                           | 0.28   | 81  | 1931 | 1955   | MS RI |
|           | 47       | maltol 麦芽酚                                                                   | 8.58   | 91  | 1938 | 1968   | MS RI |
|           | 48       | caprolactam 己内酰胺                                                             | 0.44   | 81  | 2165 |        | MS    |
|           | 49       | 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one 2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃酮 | 0.76   | 70  | 2230 |        | MS RI |
|           | 50       | niacinamide 烟酰胺                                                              | 0.15   | 96  | 2921 |        | MS    |
| 酚类        | 51       | butylated hydroxytoluene 2,6-二叔丁基苯酚                                          | 7.38   | 97  | 1889 |        | MS    |
| 烃类        | 52       | D-limonene D-柠檬烯                                                             | 0.06   | 91  | 1184 | 1192   | MS RI |
|           | 53       | tetradecane 十四烷                                                              | 0.16   | 98  | 1394 | 1400   | MS RI |
|           | 54       | pentadecane 十五烷                                                              | 0.69   | 96  | 1493 | 1500   | MS RI |
|           | 55       | 7-methyl-pentadecane 7-甲基十五烷                                                 | 0.26   | 86  | 1532 |        | MS    |
|           | 56       | hexadecane 十六烷                                                               | 1.62   | 98  | 1593 | 1600   | MS RI |
|           | 57       | 7,9-dimethyl hexadecane, 7,9-二甲基十六烷                                          | 1.14   | 90  | 1613 |        | MS    |
|           | 58       | (E)-2-tridecene 反-2-十三烯                                                      | 0.79   | 64  | 1637 |        | MS    |
|           | 59       | 2-methyl hexadecane 2-甲基十六烷                                                  | 1.01   | 96  | 1647 |        | MS    |
|           | 60       | 2,6,10,14-tetramethyl pentadecane 2,6,10,14-四甲基十五烷                           | 2.02   | 97  | 1661 |        | MS    |
|           | 61       | heptadecane 十七烷                                                              | 1.53   | 94  | 1693 | 1697   | MS RI |
|           | 62       | (Z)-7-tetradecene 顺-7-十四碳烯                                                   | 0.49   | 70  | 1735 |        | MS    |
|           | 63       | 2,6,10,14-tetramethyl hexadecane 2,6,10,14-四甲基十六烷                            | 1.26   | 91  | 1767 |        | MS    |
|           | 64       | octadecane 十八烷                                                               | 0.77   | 95  | 1792 | 1800   | MS RI |
|           | 65       | 1-octadecene 1-十八烯                                                           | 0.39   | 98  | 2460 |        | MS    |

注：文献保留指数参考文献[19]；“MS”代表NIST谱库检索；“RI”代表保留指数定性。

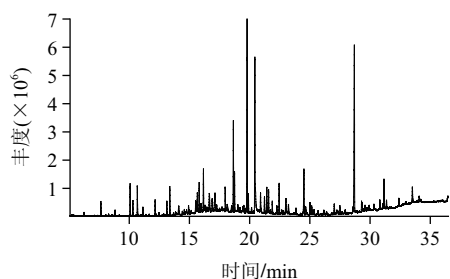


图2 酱牛肉挥发性成分总离子流图

Fig.2 Total ion chromatograms of volatile compounds in sauces beef

表1中只保留了匹配度 $\geq 70$ 的化合物或者文献保留指数与样品保留指数之差在 $\pm 30$ 以内的化合物,并认为是可靠的。

由表1可以看出,在酱牛肉挥发性成分中鉴定出来的主要是脂肪氧化和降解产物如醇类、醛类、酮类、烃类和酸类,氨基酸的氨基和羰基的美拉德反应产物如含氮、含硫或杂环类。

醇类化合物主要来自脂肪氧化,文献[18]报道饱和醇的风味阈值较高,对酱牛肉整体风味贡献较小,不饱和醇的风味阈值较低,对风味贡献较大。綦艳梅等<sup>[5]</sup>采用同时蒸馏萃取-气质联用法分析了月盛斋酱牛肉的挥发性成分,共检测到12种醇。其中,里哪醇、4-萜烯醇、糠醇、 $\alpha$ -松油醇等不饱和醇在本实验都有检出,另外,本实验还检出了5-甲基糠醇、肉桂醇、3-呋喃甲醇等不饱和醇。

醛类、酮类主要来源于脂质氧化和降解,Strecker降解反应也是其重要来源之一<sup>[20]</sup>。醛的阈值一般很低,具有脂肪香味,是肉品香味的主要构成部分。在9种醛类物质中,以5-羟甲基-2-呋喃甲醛、反-肉桂醛、十六醛、茴香醛含量较大。本实验只检出3种酮类化合物,其中,3-羟基-2-丁酮具有令人愉快的奶香气。

酸类在牛肉挥发性成分报道中很少,本实验共检出9种,大部分是低分子质量的酸,对牛肉的酸香有一定的贡献。脂肪酸和醇缩合形成酯,酯类具有油香气息<sup>[21]</sup>,虽然酸类、酯类对牛肉的香气贡献不大,但有一些化合物是形成杂环化合物的重要中间体,因此对形成肉香气具有不可忽视的基底作用<sup>[22]</sup>。

醚类化合物在风味物质中也相当重要,大多具有强烈而愉快的香气<sup>[23]</sup>。本实验检出的茴香脑占3.5%,对牛肉的风味起到了重要的作用。

含氮、含硫或杂环类化合物主要来自美拉德反应的产物或氨基酸的热解,阈值较低,是肉品最重要的风味呈味物<sup>[24]</sup>。从甲基到辛基取代的呋喃化合物在牛肉风味中都存在,最丰富的是2-位取代的化合物,本实验检出2-戊基呋喃、2-乙酰基呋喃。吡喃类化合物一般具有青草味,有报道在牛肉的挥发性成分中发现吡喃衍生物,本

实验检出麦芽酚(2-甲基-3-羟基-4-吡喃)有麦芽香气。

只检测到一种酚类物质,2,6-二叔丁基苯酚,此物质是食品中常用的抗氧化剂。

据微波辅助萃取原理<sup>[25]</sup>,介电常数及介质损耗大的物料对微波吸收能力大,微波加热时只对具有一定极性的溶剂和物料进行加热。本实验选择二氯甲烷作为萃取溶剂,能够快速高效地渗入到物料中,萃取更加充分,另外物料中的极性大的成分能够被选择性加热,也促进了极性大的物质的萃取效率。藏明伍等<sup>[20]</sup>在固相微萃取香港酱牛肉实验中检测到12种醇,没有检测到酸。綦艳梅等<sup>[5]</sup>在同时蒸馏萃取月盛斋酱牛肉实验中检测到12种醇、4种酸。本实验共检测到11种醇、9种酸,在一定程度上促进了极性大的成分的萃取。

由于肉制品样品基质复杂,常含有较多脂肪、蛋白质等化合物,一般在微波辅助萃取后需进一步处理去掉难挥发性的物质才能进行气质联机分析。陈代武等<sup>[26]</sup>在微波辅助萃取-气相色谱-质谱法测定腊肉中多环芳烃含量中采用净化柱的方法去掉干扰物质的影响。李杰红等<sup>[27]</sup>在分析桑叶挥发性成分时,采用了微波辅助萃取-固相微萃取联用技术来获得目标成分。本实验以酱牛肉为原料,将微波辅助萃取与溶剂辅助风味蒸发技术联用,为复杂基质为基底的物质萃取提供了一定的参考依据。

## 2.2 GC-O结果

11名同学组成的评香小组,采用嗅觉检测频率法对MAE-SAFE法所得酱牛肉挥发性成分进行GC-O分析,共检测到11种挥发性香成分,将这11种化合物的保留时间和香气特征与GC-MS结果进行对比对照,确定出这11种化合物的种类,各香成分的保留指数、香气特征及嗅觉检测频率见表2。

表2显示有7种香成分嗅觉检测频率 $\geq 5/11$ ,分别为壬醛、5-甲基糠醛、薄荷酮、茴香脑、麦芽酚、反-肉桂醛、肉桂醇。初步推断,这7种物质对酱牛肉风味的形成起到了重要的作用。

表2 酱牛肉挥发性成分的GC-O分析结果

Table 2 GC-O results of volatile compounds in sauced beef

| 保留时间/min | 化合物    | 保留指数 | 嗅觉检测频率 | 香味描述                   |
|----------|--------|------|--------|------------------------|
| 8.47     | 庚醛     | 1170 | 2/11   | 脂肪气味                   |
| 11.75    | 壬醛     | 1376 | 11/11  | 花香                     |
| 14.91    | 5-甲基糠醛 | 1546 | 10/11  | 具有辛香气息、坚果香             |
| 18.22    | 薄荷酮    | 1712 | 7/11   | 类似药材的香气                |
| 19.37    | 茴香脑    | 1802 | 5/11   | 具有八角茴香的特征香气            |
| 20.53    | 麦芽酚    | 1938 | 6/11   | 具有焦奶油硬糖的特殊香气           |
| 21.46    | 茴香醛    | 2012 | 4/11   | 有像梔子或类似山楂的香气           |
| 22.26    | 反-肉桂醛  | 2039 | 5/11   | 有强烈的桂皮油和肉桂油的香气,温和的辛香气息 |
| 23.54    | 壬酸     | 2129 | 4/11   | 脂肪气息                   |
| 24.15    | 肉桂醇    | 2248 | 7/11   | 有类似风信子与青香香气            |
| 28.43    | 香豆素    | 2412 | 3/11   | 具有类似黑香豆的干草香气           |

### 3 结 论

3.1 本实验将微波辅助萃取与溶剂辅助风味蒸发两种方法联起来运用,既发挥出微波萃取的优点(高效、低溶剂、不经过高温加热)又解决了微波萃取后难挥发成分难分离的难题。在挥发性成分的提取方法上具有一定的创新性,将两种萃取方法结合起来,而不是仅仅局限于一种方法,对于醇极性较大的成分的萃取具有很显著的效果,但对于极性小的成分如萜烯、含氮、含硫及杂环的萃取不是很明显,还需要进一步的处理如衍生化处理、提高检测手段等,以提高检测灵敏度。

3.2 通过对酱牛肉挥发性成分的GC-O分析,确定出壬醛、5-甲基糠醛、薄荷酮、茴香脑、麦芽酚、反-肉桂醛、肉桂醇可能对酱牛肉的风味有重要贡献。对牛肉风味成分的鉴定不仅对改善牛肉加工工艺提供一定的理论基础,也为调配出更加逼真的牛肉香精提供了参考数据。

### 参考文献:

- [1] 魏文平,梁成云,金春香.中国、韩国、日本酱牛肉风味的比较与分析[J].肉类研究,2008,21(11):56-61.
- [2] 苏扬.牛肉的风味化学及风味物质的探讨[J].四川轻化工学院学报,2000,13(2):68-72.
- [3] 张开诚.肉类的风味化学[J].食品科学,1991,22(4):1-4.
- [4] 藏明伍,王宇,韩凯,等.北京清真酱牛肉挥发性风味化合物的研究[J].食品工业科技,2010(8):70-73.
- [5] 綦艳梅,孙宝国,黄明泉,等.同时蒸馏萃取-气质联用分析月盛斋酱牛肉的挥发性风味成分[J].食品科学,2010,31(18):370-374.
- [6] SUN Lei, LEE H K. Microwave-assisted extraction behavior of non-polar and polar pollutants in soil with analysis by high-performance liquid chromatography[J]. Journal of Separation Science, 2002, 25(1/2): 67-76.
- [7] DIAGNE R G, FOSTER G D, KHAN S U. Comparison of soxhlet and microwave-assisted extractions for the determination of fenitrothion residues in beans[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(11): 3204-3207.
- [8] MOLINS C, HOGENDOORN E A, HEUSINKVELD H A G. Microwave assisted solvent extraction (MAE) for the efficient determination of traxines in soil sample with aged residues[J]. Chromatographia, 1996, 43(9/10): 527-532.
- [9] BUDZINSKI H, LETELLIER M, THOMPSON S, et al. Combined protocol for the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorobiphenyls (PCBs) from sediments using focused microwave assisted (FMW) extraction at atmospheric pressure[J]. Fresenius J Anal Chem, 2000, 367(2): 165-171.
- [10] MELANIE K, ANDERSSON J T. Microwave-assisted extraction of polycyclic aromatic compounds from coal[J]. Fresenius J Anal Chem, 2001, 370(7): 970-972.
- [11] 唐克华,于华忠,田建林.天仙果红色素的微波提取及特性研究[J].食品工业科技,2002(3):20-23.
- [12] 刘传斌,李宁,白凤武.酵母胞内海藻糖微波破细胞提取与传统提取比较[J].大连理工大学学报,2001,41(2):169-172.
- [13] YOUNG J. Microwave-assisted extraction of the fungal metabolite ergosterol and total fatty acids[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1995, 43(11): 2904-2910.
- [14] 高歧.植物样品中单宁的微波溶出快速测定法研究[J].分析测试学报,1997,16(3):76-78.
- [15] CRAVEIRO A A, MATOS F J A, ALENCAR J W, et al. Microwave oven extraction of an essential oil[J]. Flavor and Fragrance Journal, 1989, 4(1): 43-44.
- [16] CHEN S S, SPIRO M. Study of microwave extraction of essential oil constituents from plant materials[J]. Journal of Microwave and Electromagnetic Energy, 1994, 29(4): 231-241.
- [17] AMARNI F, KADI H. Study of microwave-assisted solvent extraction of oil from olive cake using hexane comparison with the conventional extraction[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(2): 322-327.
- [18] 谢建春.现代香味分析技术与应用[M].北京:中国标准出版社,2008:17-18.
- [19] LRI & Odour Database[DB/OL]. <http://www.odour.org.uk/>.
- [20] 臧明伍,王宇,韩凯,等.香港酱牛肉挥发性风味化合物的研究[J].肉类研究,2009,23(6):46-51.
- [21] 刘源,徐幸莲,周光宏.南京酱牛肉风味研究初报[J].江苏农业科学,2004(5):101-104.
- [22] 宋永青,乔晓玲,王宇,等.固相微萃取和气相色谱-质谱法测定北京酱牛肉中的挥发性成分[J].现代科学仪器,2009(4):63-66.
- [23] 张纯,张智勇,平田孝.动态顶空进样法分析月盛斋的挥发性风味组分[J].食品与发酵工业,1994(4):47-53.
- [24] 李建军,文杰,陈继兰,等.烘烤鸡肉挥发性风味物的微捕集和GC-MS分析[J].分析测试学报,2003,22(1):58-61.
- [25] 李核,李攻科,张展霞.微波辅助萃取技术的进展[J].分析化学评述与进展,2003,31(10):1261-1268.
- [26] 陈代武,王芳.微波辅助萃取-气相色谱-质谱法测定腊肉中多环芳烃含量[J].理化检验:化学分册,2009,45(10):1180-1183.
- [27] 李杰红,陈代武.微波辅助萃取-固相微萃取联用技术分析桑叶挥发性成分[J].林产化学与工业,2007,27(3):107-110.