

# 平遥与月盛斋酱牛肉挥发性成分分析

綦艳梅, 陈海涛\*, 陶海琴, 孙宝国  
(北京工商大学食品学院, 北京 100048)

**摘要:** 采用同时蒸馏萃取法结合气质联用技术对平遥和月盛斋酱牛肉的挥发性成分进行分析鉴定, 结果分别鉴定出 64、63 种挥发性成分, 其中, 共有的成分为柠檬烯、乙酸乙酯、2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮、苯甲醛、苯乙醛、十四醛、十五醛、十六醛、乙醇、2-甲基二氢-3(2H)-呋喃酮、糠醛、5-甲基糠醛、茴香脑、十六酸等物质; 平遥酱牛肉特有的成分有(E)-2-辛烯醛、3,4-二甲基苯甲醛、异丙醇、2-丁醇、2-甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、乙酸、癸酸等物质; 月盛斋酱牛肉特有的挥发性物质有松油烯、反式石竹烯、2-庚酮、薄荷烯酮、(E)-肉桂醛、桉叶油醇、芳樟醇、4-萜烯醇、2-乙酰基呋喃等成分。

**关键词:** 酱牛肉; 挥发性香味成分; 同时蒸馏萃取(SDE); 气质联用(GC-MS)

## Analysis of Volatile Compounds of Pingyao and Yueshengzhai Spiced Beef by Gas Chromatography-Mass Spectrometry

QI Yan-mei, CHEN Hai-tao\*, TAO Hai-qin, SUN Bao-guo  
(School of Food and Chemical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** The volatile compound composition of Pingyao and Yueshengzhai spiced beef was analyzed by simultaneous distillation extraction (SDE) followed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results indicated that 64 and 65 volatile compounds were identified in Pingyao spiced beef and Yueshengzhai spiced beef, respectively. Limonene, ethyl acetate, 2,3-pentanedione, 3-hydroxy 2-butanone, benzaldehyde, benzeneacetaldehyde, tetradecanal, pentadecanal, hexadecanal, ethanol, dihydro-2-methyl-2-3(2H)-furanone, furfural, 5-methyl-2-furan, carboxaldehyde, 1-methoxy-4-(1-propenyl)-benzene and hexadecanoic acid were simultaneously found in both brands of spice beef. The unique compounds of Pingyao spiced beef were (E)-2-octenal, 3,4-dimethyl-benzaldehyde, isopropyl alcohol, 2-butanol, methyl-pyrazine, 2,6-dimethyl-pyrazine, acetic acid, n-decanoic acid and so on. As for Yueshengzhai spiced beef, the unique compounds were 1-methyl-4-(1-methylethyl)-1,4-cyclohexadiene, caryophyllene, 2-heptanone, 3-methyl-6-(1-methylethyl)-2-cyclohexen-1-one, (E)-Cinnamaldehyde, eucalyptol, 3,7-Dimethyl-1,6-octadien-3-ol, 4-Methyl-1-(1-methylethyl)-3-cyclohexen-1-ol, 1-(2-Furanyl)-ethanone.

**Key words:** spiced beef; volatile constituents; simultaneous distillation extraction (SDE); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)22-0251-06

同时蒸馏萃取是 Nickerson 和 Likens 在 1964 年发展起来的一种用于提取、分离和富集试样中挥发性、半挥发性成分的有效方法。该法不仅将水蒸气蒸馏和馏出液的溶剂萃取两步合二为一, 对微量成分的提取效率很高<sup>[1]</sup>; 而且便于操作, 避免了操作困难, 已被广泛应用于食品、饮料、香精香料和烟草中挥发性和半挥发性组分中的分析<sup>[2]</sup>。

酱牛肉是中国传统饮食文化的精华之一, 其因选料

精、加工细、辅料配方有独到之处, 火候适足、瘦而不柴、肥而不腻而深受广大消费者的喜爱。其中, 平遥酱牛肉以其外观红润, 肉质坚实, 咸淡适中, 清香无腥, 瘦而不柴, 而被人们称为“肉秀”。月盛斋酱牛肉则以其独有的肉香、酱香、药香、油香融为一体的特色而深受人们的欢迎; 目前对酱牛肉风味的研究比较少, 故本研究采用同时蒸馏萃取-气相色谱-质谱联用(simultaneous distillation and extraction gas

收稿日期: 2011-06-30

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD23B01)

作者简介: 綦艳梅(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品香精香料。E-mail: yilian12345678@126.com

\* 通信作者: 陈海涛(1973—), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向为食品香精香料。E-mail: chenht@th.btbu.edu.cn

chromotography-mass spectrometry SDE-GC-MS)对平遥和月盛斋酱牛肉的挥发性香气成分进行分离鉴定,旨在对中国传统饮食文化的研究提供一定的科学依据,进而为特色酱牛肉香精的开发提供一定的理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

平遥酱牛肉(PY) 山西省平遥酱牛肉集团有限公司;  
月盛斋酱牛肉(YSZ) 市售。

无水乙醚(分析纯,用前纯化处理);无水硫酸钠(分析纯,用前干燥处理); $C_8 \sim C_{30}$ 正构烷烃(色谱纯)北京化学试剂有限公司;氮气(纯度99.9%)北京氮普北分气体工业有限公司。

### 1.2 仪器与设备

同时蒸馏萃取装置 北京玻璃仪器厂;DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器 河南省予华仪器有限公司;RT252C 型旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;6980N-5973i 气-质联用仪 美国 Agilent 公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 挥发性香味成分的提取

采用同时蒸馏萃取法,利用乙醚为萃取溶剂,称取一定量经绞碎的酱牛肉置于1L圆底烧瓶中,按一定比例加入蒸馏水,加入磁力搅拌子,置于SDE装置重相一端,油浴锅加热物料,并保持牛肉汤的沸腾;另取一定量乙醚与少量沸石加入250mL圆底烧瓶中,水浴加热,连续提取4h,萃取液经冷却至室温后,加入适量干燥的无水硫酸钠,置于冰箱过夜,过滤,所得滤液用旋转蒸发器浓缩至约5mL,氮气吹扫至0.5mL左右,对制备液的挥发性成分采用GC-MS进行分析鉴定。

#### 1.3.2 色谱条件

色谱柱:DB-WAX 毛细管柱(30m  $\times$  250  $\mu$ m, 0.25  $\mu$ m);载气(He)流速1.0mL/min,进样量1  $\mu$ L;分流比20:1;进样口温度:240  $^{\circ}$ C;升温程序:起始温度35  $^{\circ}$ C,保持1min,以20  $^{\circ}$ C/min升至50  $^{\circ}$ C,保持2min,再以6  $^{\circ}$ C/min升至200  $^{\circ}$ C,保持15min,最后以15  $^{\circ}$ C/min升至240  $^{\circ}$ C,保持4min。

#### 1.3.3 质谱条件

EI 离子源;离子源温度230  $^{\circ}$ C;电子能量70eV;四级杆温度150  $^{\circ}$ C;质量扫描范围  $m/z$  20~450,溶剂延迟2min。

#### 1.3.4 香气成分的鉴定

挥发性化合物的鉴定结果以Nist 08 谱库检索和色谱保留指数<sup>[3]</sup>为主,结合人工图谱解析共同确定,化合物相对含量的确定采用峰面积归一化法。

## 2 结果与分析

采用同时蒸馏萃取方法,利用乙醚为萃取溶剂分别提取平遥酱牛肉与月盛斋酱牛肉的挥发性成分,所得萃取液经浓缩后分别进行GC-MS分析,鉴定出的酱牛肉挥发性成分见表1。

从表1可知,平遥酱牛肉和月盛斋酱牛肉经SDE-GC-MS方法共检出94种挥发性成分,其中,平遥酱牛肉检出烃类16种、酯类2种、酮类5种、醛类13种、醇类8种、含氮、含硫及杂环的化合物13种、醚类1种、酸类4种、酚类2种,共检出64种挥发性物质,含量较高的成分有十五醛、十六醛、(Z)-13-十八烯醛、甲酸乙酯、乙酸乙酯、乙醇、1,16-十六烷二醇等;月盛斋酱牛肉检出烃类13种、酯类1种、酮类6种、醛类11种、醇类11种、含氮、含硫及杂环的化合物16种、醚类1种、酸类1种、酚类2种,共检出63种挥发性成分,含量较高的成分主要有茴香脑、(E)-肉桂醛、十六醛、十八醛、1,16-十六烷二醇、十六酸等。

比较两种酱牛肉挥发性成分的提取结果,差异比较明显,共同检出的物质有辛烷、柠檬烯、十五烷、十七烷、1,19-二十烷烯、乙酸乙酯、2,3-丁二酮、2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮、异戊醛、正己醛、苯甲醛、苯乙醛、十四醛、十五醛、十六醛、(Z)-7-十六烯醛、十八醛、(Z)-13-十八烯醛、乙醇、(E)-2-十二烯-1-醇、1,16-十六烷二醇、2-戊基呋喃、2-甲基二氢-3(2H)-呋喃酮、糠醛、5-甲基糠醛、糠醇、2-乙酰基吡咯、1,2-环氧十六烷、对甲氧基苯甲醛、1,2-环氧十八烷、茴香脑、十六酸、2,6-二叔丁基对甲基苯酚,其中,乙酸乙酯具有醚香、甜的如菠萝的果香及葡萄、樱桃香韵,同时还有酒样味道,它是酱肉产品中风味的主要贡献化合物;2,3-丁二酮、2,3-戊二酮<sup>[29]</sup>和3-羟基-2-丁酮<sup>[30]</sup>具有强烈的奶香气,对酱牛肉风味的形成具有十分重要的作用;正己醛有特有的清香青草气味,来自 $\omega$ -6 不饱和脂肪酸;苯甲醛具有较浓重苦杏仁香气和焦味,苯乙醛气味香甜,有玫瑰花香,发酵韵味,些微壤香,类似蜜带蜡香,它们很可能是氨基酸的斯特雷克尔氨基酸反应的产物;2-乙酰基吡咯具有爆玉米花香,是脯氨酸与单糖的Maillard反应产物<sup>[31]</sup>。糠醛呈甜香、木香、面包香、焦糖香,并带有烘烤食品的气味,被认为是美拉德反应早期阶段产生的风味活性中间体,是其他杂环化合物的前体<sup>[32]</sup>;5-甲基糠醛具有甜香、辛香以及咖啡、焦糖的气息,在腐乳、酱油等大豆发酵调味品中检出,并且已被鉴定为产品的特征香味物质<sup>[33]</sup>,这可能与酱牛肉在煮制过程中加入酱油等调味品有关;茴香脑是大料的主要成分,也是产生酱香的主要物质。

表1 平遥与月盛斋牛肉挥发性成分的GC-MS分析结果

Table 1 Identified volatile compounds and analytical information about them in Pingyao and Yueshengzhai spiced beef

| 保留时间 /min | 化合物名称                                            | 分子式                                                             | 相对含量 /%                                      |       | 保留指数<br>计算值 / 文献值        | 匹配度                       | 鉴定方法  |       |
|-----------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------|--------------------------|---------------------------|-------|-------|
|           |                                                  |                                                                 | PY                                           | YSZ   |                          |                           |       |       |
| 2.32      | octane 辛烷                                        | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>                                  | 0.07                                         | 0.49  | 797/800 <sup>[4]</sup>   | 95                        | MS、RI |       |
| 2.70      | 4-methyl-octane 4-甲基辛烷                           | C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>                                  |                                              | 0.21  | 852/823                  | 91                        | MS、RI |       |
| 3.17      | nonane 壬烷                                        | C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>                                  | 0.10                                         |       | 907/900 <sup>[4]</sup>   | 95                        | MS、RI |       |
| 5.13      | toluene 甲苯                                       | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>                                   | 0.04                                         |       | 1029/1028 <sup>[4]</sup> | 87                        | MS、RI |       |
| 6.54      | undecane 十一烷                                     | C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>                                 | 0.02                                         |       | 1098/1100 <sup>[4]</sup> | 71                        | MS、RI |       |
| 8.71      | limonene 柠檬烯                                     | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                                 | 0.19                                         | 0.17  | 1190/1191 <sup>[5]</sup> | 98                        | MS、RI |       |
| 9.83      | 1-methyl-4-(1-methylethyl)-1,4-cyclohexadiene松油烯 | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                                 |                                              | 0.04  | 1237/1238 <sup>[6]</sup> | 83                        | MS、RI |       |
| 9.99      | 1,3,5,7-cyclooctatetraene 环辛四烯                   | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>                                   | 0.06                                         |       | 1244                     | 96                        | MS    |       |
| 10.30     | 3,7-dimethyl-undecane 3,7- 二甲基 - 十一烷             | C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>                                 | 0.04                                         |       | 1257                     | 77                        | MS    |       |
| 11.63     | tridecane 十三烷                                    | C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>                                 | 0.09                                         |       | 1314                     | 71                        | MS    |       |
| 13.93     | tetradecane 十四烷                                  | C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>                                 | 0.08                                         |       | 1416                     | 61                        | MS    |       |
| 14.17     | 1,2,3,4-tetramethyl-benzene 1,2,3,4- 四甲苯         | C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>                                 | 0.05                                         |       | 1427/1430 <sup>[7]</sup> | 96                        | MS、RI |       |
| 烷 烃       | 15.60                                            | pentadecane 十五烷                                                 | C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>              | 0.96  | 1493 <sup>[4]</sup>      | 89                        | MS、RI |       |
|           | 17.58                                            | caryophyllene 反式石竹烯                                             | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>              |       | 1589/1592 <sup>[4]</sup> | 64                        | MS、RI |       |
|           | 18.10                                            | hexadecane 十六烷                                                  | C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>              | 0.02  | 1615                     | 93                        | MS    |       |
|           | 19.59                                            | heptadecane 十七烷                                                 | C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>              | 0.25  | 0.13                     | 1692/1700 <sup>[4]</sup>  | 96    | MS、RI |
|           | 20.15                                            | naphthalene 萘                                                   | C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>               | 0.33  |                          | 1722/1723 <sup>[8]</sup>  | 91    | MS、RI |
|           | 21.44                                            | octadecane 正十八烷                                                 | C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>              |       | 0.14                     | 1792/1800 <sup>[4]</sup>  | 90    | MS、RI |
|           | 22.20                                            | 2-methyl-naphthalene 2-甲基萘                                      | C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>              | 0.07  |                          | 1836                      | 96    | MS    |
|           | 23.20                                            | pentadecane 十九烷                                                 | C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>              |       | 0.11                     | 1894/1900 <sup>[4]</sup>  | 72    | MS、RI |
|           | 26.20                                            | 1,15-hexadecadiene 1,15-十六二烯                                    | C <sub>16</sub> H <sub>30</sub>              |       | 1.01                     | 2077                      | 89    | MS    |
|           | 26.49                                            | heneicosane 二十一烷                                                | C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>              |       | 0.16                     | 2096/2100 <sup>[4]</sup>  | 91    | MS、RI |
|           | 28.62                                            | 1,19-eicosadiene 1,19- 二十烷烯                                     | C <sub>20</sub> H <sub>38</sub>              | 1.64  | 0.87                     | 2232                      | 91    | MS    |
|           | 29.57                                            | 4-methyldocosane 4- 甲基二十二烷                                      | C <sub>23</sub> H <sub>48</sub>              |       | 1.01                     | 2294                      | 75    | MS    |
|           | 小计                                               |                                                                 | 4.01                                         | 4.54  |                          |                           |       |       |
| 酯 类       | 2.45                                             | formic acid, ethyl ester 甲酸乙酯                                   | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> | 3.53  |                          | 816/814 <sup>[9]</sup>    | 91    | MS、RI |
|           | 2.93                                             | ethyl acetate 乙酸乙酯                                              | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> | 3.53  | 0.47                     | 881/884 <sup>[10]</sup>   | 91    | MS、RI |
|           | 小计                                               |                                                                 | 7.06                                         | 0.47  |                          |                           |       |       |
| 酮 类       | 3.04                                             | 2-butanone 2- 丁酮                                                | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O              | 0.14  |                          | 895/893 <sup>[11]</sup>   | 82    | MS、RI |
|           | 4.03                                             | 2,3-butanedione 2,3- 丁二酮                                        | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> | 0.13  | 0.06                     | 966/971 <sup>[12]</sup>   | 86    | MS、RI |
|           | 5.53                                             | 2,3-pentanedione 2,3- 戊二酮                                       | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> | 0.25  | 0.11                     | 1048/1056 <sup>[4]</sup>  | 91    | MS、RI |
|           | 8.33                                             | 2-heptanone 2- 庚酮                                               | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O             |       | 0.12                     | 1174/1180 <sup>[4]</sup>  | 91    | MS、RI |
|           | 10.71                                            | 3-hydroxy 2-butanone 2- 羟基 -2- 丁酮                               | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> | 0.48  | 0.17                     | 1274/1280 <sup>[13]</sup> | 91    | MS、RI |
|           | 19.02                                            | 4-(1-methylethyl)-2-cyclohexen-1-one<br>4-(1- 甲基乙基)-2- 环己烷-1- 酮 | C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O             |       | 0.11                     | 1662/1669 <sup>[5]</sup>  | 83    | MS、RI |
|           | 20.09                                            | 3-methyl-6-(1-methylethyl)-<br>2-cyclohexen-1-one薄荷烯酮           | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O            |       | 0.13                     | 1719                      | 97    | MS    |
|           | 21.66                                            | 2-tridecanone 2-十三烷酮                                            | C <sub>13</sub> H <sub>26</sub> O            | 0.04  |                          | 1804/1808 <sup>[4]</sup>  | 95    | MS、RI |
|           |                                                  | 小计                                                              |                                              | 1.04  | 0.70                     |                           |       |       |
|           | 3.24                                             | 3-methyl-butanal 异戊醛                                            | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O             | 0.05  | 0.06                     | 913/906 <sup>[4]</sup>    | 75    | MS、RI |
|           | 6.03                                             | hexanal 正己醛                                                     | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O             | 0.06  | 0.20                     | 1073/1075 <sup>[4]</sup>  | 80    | MS、RI |
|           | 14.03                                            | (E)-2-octenal (E)-2-辛烯醛                                         | C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O             | 0.07  |                          | 1420/1425 <sup>[4]</sup>  | 73    | MS、RI |
| 醛 类       | 15.93                                            | benzaldehyde 苯甲醛                                                | C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O              | 0.51  | 1.01                     | 1508/1515 <sup>[4]</sup>  | 96    | MS、RI |
|           | 18.29                                            | benzeneacetaldehyde 苯乙醛                                         | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O              | 0.05  | 0.03                     | 1625/1623 <sup>[4]</sup>  | 70    | MS、RI |
|           | 19.75                                            | dodecanal 十二醛                                                   | C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O            | 0.10  |                          | 1700/1708 <sup>[4]</sup>  | 83    | MS、RI |
|           | 21.51                                            | 3,4-dimethyl-benzaldehyde 3,4- 二甲基苯甲醛                           | C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O             | 0.05  |                          | 1796                      | 94    | MS    |
|           | 23.55                                            | tetradecanal 十四醛                                                | C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O            | 1.32  | 0.80                     | 1914/1910 <sup>[14]</sup> | 91    | MS、RI |
|           | 25.31                                            | pentadecanal 十五醛                                                | C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O            | 2.15  | 1.13                     | 2021                      | 95    | MS    |
|           | 25.41                                            | (E)-cinnamaldehyde (E)-肉桂醛                                      | C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O              |       | 1.99                     | 2028/2032 <sup>[15]</sup> | 98    | MS、RI |
|           | 27.04                                            | hexadecanal 十六醛                                                 | C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O            | 30.90 | 18.9                     | 2130/2121 <sup>[16]</sup> | 94    | MS、RI |
|           | 27.54                                            | cis-7-hexadecenal cis-7- 十六烯醛                                   | C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O            | 1.71  | 0.33                     | 2163                      | 91    | MS    |
|           | 28.10                                            | octadecanal 十八醛                                                 | C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O            | 2.29  | 1.87                     | 2198                      | 81    | MS    |
|           | 30.79                                            | (Z)-13-octadecenal (Z)-13- 十八烯醛                                 | C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O            | 5.24  | 0.89                     | 2361                      | 98    | MS    |

续表 1

| 保留时间 /min | 化合物名称                                                    | 分子式                                                 | 相对含量 /% |       | 保留指数<br>计算值 / 文献值         | 匹配度  | 鉴定方法  |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------|-------|---------------------------|------|-------|
|           |                                                          |                                                     | PY      | YSZ   |                           |      |       |
|           | 小计                                                       |                                                     | 44.50   | 27.21 |                           |      |       |
|           | 3.40 isopropyl alcohol 异丙醇                               | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O                     | 0.04    |       | 925/926 <sup>[17]</sup>   | 87   | MS、RI |
|           | 3.51 ethanol 乙醇                                          | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O                     | 2.96    | 1.24  | 933/930 <sup>[4]</sup>    | 91   | MS、RI |
|           | 4.95 2-butanol 2-丁醇                                      | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O                    | 0.05    |       | 1020/1019 <sup>[18]</sup> | 72   | MS、RI |
|           | 9.00 eucalyptol 桉叶油醇                                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O                   |         | 0.26  | 1203/1204 <sup>[19]</sup> | 96   | MS、RI |
|           | 14.47 1-octen-3-ol 1-辛烯-3-醇                              | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O                    | 0.07    |       | 1441/1445 <sup>[11]</sup> | 80   | MS、RI |
|           | 16.53 3,7-dimethyl-1,6-octadien-3-ol 芳樟醇                 | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O                   |         | 0.77  | 1538/1548 <sup>[20]</sup> | 91   | MS、RI |
| 醇类        | 17.69 4-methyl-1-(1-methylethyl)-3-cyclohexen-1-ol 4-萜烯醇 | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O                   |         | 0.69  | 1594/1594 <sup>[6]</sup>  | 96   | MS、RI |
|           | 19.52 <i>alpha</i> terpineol $\alpha$ -松油醇               | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O                   |         | 0.27  | 1689/1685 <sup>[4]</sup>  | 90   | MS、RI |
|           | 20.93 (E)-2-undecen-1-ol (E)-2-十一烯-1-醇                   | C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O                   | 0.11    |       | 1764                      | 77   | MS    |
|           | 22.68 (E)-2-dodecen-1-ol (E)-2-十二烯-1-醇                   | C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O                   | 2.76    | 2.41  | 1872                      | 83   | MS    |
|           | 24.88 2-hexyl-1-octanol 2-己基-1-辛醇                        | C <sub>14</sub> H <sub>30</sub> O                   |         | 0.20  | 1994                      | 76   | MS    |
|           | 26.36 (E)-2-tridecen-1-ol (E)-2-十三烯-1-醇                  | C <sub>13</sub> H <sub>26</sub> O                   | 1.82    |       | 2088                      | 84   | MS    |
|           | 27.72 3,7,11-trimethyl-1-dodecanol                       | C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> O                   |         | 0.40  | 2175                      | 75   | MS    |
|           | 28.04 1,16-hexadecanediol 1,16-十六烷二醇                     | C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>      | 19.10   | 5.32  | 2338                      | 94   | MS    |
|           | 小计                                                       |                                                     | 26.91   | 12.09 |                           |      |       |
|           | 2.42 thiirane 环硫乙烷                                       | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> S                     |         | 0.45  | 813                       | 78   | MS    |
|           | 9.48 2-pentyl-furan 2-正戊基呋喃                              | C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O                    | 0.05    | 0.13  | 1223/1231 <sup>[4]</sup>  | 90   | MS、RI |
|           | 10.19 dihydro-2-methyl-2-(3(2H)-furanone                 | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>        | 0.14    | 0.07  | 1253                      | 83   | MS    |
|           | 10.23 2-甲基二氢-3(2H)-呋喃酮                                   | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>        | 0.04    |       | 1254/1260 <sup>[4]</sup>  | 81   | MS、RI |
|           | 11.74 2,6-dimethyl-pyrazine 2,6-二甲基吡嗪                    | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>        | 0.03    |       | 1318/1319 <sup>[4]</sup>  | 70   | MS、RI |
|           | 14.02 2-furfurylthiol 2-呋喃甲硫醇                            | C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> OS                    |         | 0.13  | 1420                      | 80   | MS    |
|           | 14.65 furfural 糠醛                                        | C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>        | 0.12    | 0.14  | 1449/1447 <sup>[4]</sup>  | 97   | MS、RI |
| 含氮、       | 15.55 1-(2-furanyl)-ethanone 2-乙酰基呋喃                     | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>        |         | 0.10  | 1490/1497 <sup>[4]</sup>  | 91   | MS、RI |
| 含硫、       | 16.97 5-methyl-2-furancarboxaldehyde 5-甲基糠醛              | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>        | 0.04    | 0.17  | 1559/1555 <sup>[21]</sup> | 91   | MS、RI |
| 及杂        | 18.06 acetylpyrazine 2-乙酰基吡嗪                             | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub> O      |         | 0.09  | 1613/1618 <sup>[22]</sup> | 72   | MS、RI |
| 环类        | 18.71 2-furanmethanol 糠醇                                 | C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>        | 0.19    | 0.20  | 1646/1647 <sup>[21]</sup> | 97   | MS、RI |
|           | 19.21 3-thiophenecarboxaldehyde 3-噻吩甲醛                   | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> S                     | 0.06    |       | 1673/1678 <sup>[23]</sup> | 87   | MS、RI |
|           | 19.78 5-methyl-2-furanmethanol 5-甲基-2-呋喃甲醇               | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>        | 0.04    |       | 1702                      | 87   | MS    |
|           | 19.85 3-(methylthio)-1-propanol 3-甲硫基丙醇                  | CH <sub>3</sub> S(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> OH |         | 0.17  | 1706                      | 98   | MS    |
|           | 19.98 5-methyl-2-thiophenecarboxaldehyde                 | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> OS                    |         | 0.09  | 1713                      | 86   | MS    |
|           | 24.29 1-(1H-pyrrol-2-yl)-ethanone 2-乙酰基吡咯                | C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> NO                    | 0.04    | 0.12  | 1959/1959 <sup>[24]</sup> | 93   | MS、RI |
|           | 24.74 tetradecyl-oxirane 1,2-环氧十六烷                       | C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O                   | 2.98    | 2.03  | 1986                      | 84   | MS    |
|           | 25.18 4-methoxy-benzaldehyde 对甲氧基苯甲醛                     | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>        | 0.05    | 2.00  | 2013/2011 <sup>[25]</sup> | 95   | MS、RI |
|           | 27.26 1-(4-methoxyphenyl)-2-propanone                    | C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>      |         | 0.56  | 2145                      | 90   | MS    |
|           | 27.85 hexadecyl-oxirane 1,2-环氧十八烷                        | C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O                   | 1.10    | 1.04  | 2182                      | 90   | MS    |
|           | 小计                                                       |                                                     | 4.88    | 7.49  |                           |      |       |
| 醚类        | 18.90 estragole 对烯丙基苯甲醚                                  | C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O                   |         | 0.08  | 99                        | 1656 | MS    |
|           | 21.82 1-methoxy-4-(1-propenyl)-benzen 茴香脑                | C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O                   | 0.85    | 20.50 | 1813                      | 98   | MS    |
|           | 小计                                                       |                                                     | 0.85    | 20.58 |                           |      |       |
|           | 14.28 acetic acid 乙酸                                     | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>        | 0.23    |       | 1432/1435 <sup>[4]</sup>  | 91   | MS、RI |
|           | 28.98 <i>n</i> -decanoic acid 癸酸                         | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>      | 0.06    |       | 2256/2258 <sup>[26]</sup> | 90   | MS、RI |
| 酸类        | 40.40 tetradecanoic acid 十四酸                             | C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>      | 0.23    |       | 2683                      | 99   | MS    |
|           | 47.35 <i>n</i> -hexadecanoic acid 十六酸                    | C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>      | 4.17    | 4.54  | 2900/2900 <sup>[27]</sup> | 99   | MS、RI |
|           | 小计                                                       |                                                     | 4.69    | 4.54  |                           |      |       |
|           | 23.30 butylated hydroxytoluene                           | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O                   | 0.10    | 0.72  | 1899/1902 <sup>[28]</sup> | 98   | MS、RI |
|           | 25.06 2-ethyl-3-hydroxy-4H-pyran-4-one 乙基麦芽酚             | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>        |         | 0.48  | 2006                      | 95   | MS    |
| 酚类        | 29.58 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-phenol                  | C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O                   | 0.09    |       | 2295                      | 96   | MS    |
|           | 小计                                                       |                                                     | 0.19    | 1.20  |                           |      |       |
|           | 总计                                                       |                                                     | 94.13   | 78.82 |                           |      |       |

注：MS 为质谱分析法；RI 为保留指数法。

平遥酱牛肉特有的成分有壬烷、十一烷、环辛四烯、3,7-二甲基-十一烷、十三烷、十四烷、1,2,3,4-四甲苯、甲酸乙酯、2-丁酮、2-十三烷酮、(E)-2-辛烯醛、3,4-二甲基苯甲醛、异丙醇、2-丁醇、(E)-2-十一烯-1-醇、2-甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、3-噻吩甲醛、5-甲基-2-呋喃甲醇、乙酸、癸酸、十四酸、2,4-二叔丁基苯酚等物质,其中,壬烷、十一烷、萘等碳氢化合物主要来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂,是脂质降解产生的熟牛肉芳香化合物,因香味阈值很高,对牛肉香气贡献不大,但对提高肉品整体香味具有不可忽视的基底作用;甲酸乙酯有赋予酱牛肉果香甜味的作用;平遥酱牛肉中分析出来2-丁酮、2-十三烷酮可能是由含有 $\beta$ -羰基的脂肪酸甘油酯热解产生的,与2,3-丁二酮、2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮等酮类物质一起对平遥酱牛肉特征风味的形成具有十分重要的作用;(E)-2-辛烯醛具有青香和脂肪的气息;烷基吡嗪最有可能是由斯特雷克降解生成的 $\alpha$ - $\beta$ -氨基酮自身缩合而成的,主要产生烘烤香气、坚果香气和烤花生香气,检出的2-甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪,对平遥酱牛肉特征风味的形成具有十分重要的作用;乙酸、癸酸及十四酸主要来自脂肪的水解以及脂肪氧化,由于酸的香味阈值较大,对牛肉的特征风味贡献不大。

月盛斋酱牛肉特有的挥发性香味成分有4-甲基辛烷、松油烯、反式石竹烯、正十八烷、十九烷、2-庚酮、薄荷烯酮、(E)-肉桂醛、桉叶油醇、芳樟醇、4-萜烯醇、 $\alpha$ -松油醇、2-己基-1-辛醇、2-呋喃甲硫醇、2-乙酰基呋喃、2-乙酰基吡嗪、3-甲硫基丙醇、对甲氧基苯基丙酮、对烯丙基苯甲醚、乙基麦芽酚等挥发性物质,其中松油烯、反式石竹烯、桉叶油醇、芳樟醇、4-萜烯醇、 $\alpha$ -松油醇、薄荷烯酮、对烯丙基苯甲醚很可能是酱牛肉加工添加的各种辛香料的挥发性成分,这与月盛斋酱牛肉煮制过程中所加的多种香辛料中草药有密切联系,也是月盛斋酱牛肉具有其特征风味的原因所在;2-呋喃甲硫醇稀释后具有咖啡香气、焦糖香;2-乙酰基呋喃具有甜的、杏仁、坚果、烤香、烟熏香;乙基麦芽酚能延长食品储存期,已被广泛用于食品中,同时对酱牛肉香味的改善和增强具有显著效果。

### 3 结 论

3.1 采用SDE-GC-MS分析两种酱牛肉,共分析出93种挥发性香味成分,其中烃类24种、酯类2种、酮类8种、醛类14种、醇类16种、含氮、含硫及杂环的化合物20种、酸类4种、酚类3种、醚类2种。

3.2 综合参考文献,结合各组分含量及阈值大小,确定平遥酱牛肉的重要挥发性风味物质可能是:柠檬烯、乙酸乙酯、2,3-丁二酮、2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮、2-十三烷酮、十四醛、十五醛、苯甲醛、甲基二氢-3(2H)-呋喃酮、糠醛、糠醇等物质;月盛斋酱牛肉挥发性成分的物质可能是:柠檬烯、松油烯、反式石竹烯、乙酸乙酯、2,3-丁二酮、2,3-戊二酮、2-庚酮、3-羟基-2-丁酮、异戊醛、正己醛、苯甲醛、桉叶油醇、芳樟醇、4-萜烯醇、茴香脑、5-甲基糠醛、糠醛、2-乙酰基吡嗪等。

### 参考文献:

- [1] 谢建春,孙宝国,郑福平,等.采用同时蒸馏萃取-气相色谱/质谱分析小茴香的挥发性成分[J].食品与发酵工业,2004,30(12):113-116.
- [2] 李桂花,何巧红,杨君.一种提取复杂物质中易挥发组分的有效方法-同时蒸馏萃取及其在应用[J].理化检验:化学分册,2009,45(4):491-496.
- [3] 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.
- [4] LRI and Odour database[DB/OL].<http://www.odour.org.uk/index.html>.
- [5] PALA-PAUL J, BROPHY J J, PEREZ-ALONSO M J, et al. Essential oil composition of the different parts of *Eryngium corniculatum* Lam. (Apiaceae) from Spain[J]. Chromatogr A, 2007, 1175(2): 289-293.
- [6] LOPES D, STROBL H, KOLODZIEJCZYK P. 14-Methylpentadecano-15-lactone (Muscolide): a new macrocyclic lactone from the oil of *Angelica archangelica* L.[J]. Chemistry and Biodiversity, 2004, 1(12): 1880-1887.
- [7] SHIRATSUCHI H, SHIMODA M, IMAYOSHI K, et al. Volatile flavor compounds in spray-dried skim milk powder[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 42(4): 984-988.
- [8] LEE K G, LEE S E, TAKEOKA G R, et al. Antioxidant activity and characterization of volatile constituents of beechwood creosote[J]. Sci Food Agric, 2005, 85(9): 1580-1586.
- [9] DREGUS M, ENGEL K H. Volatile constituents of uncooked Rhubarb (*Rheum rhubarbarum* L.) stalks[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(22): 6530-6536.
- [10] TATSUKA K, SUEKANE S, SAKAI Y, et al. Volatile constituents of kiwi fruit flowers: simultaneous distillation and extraction versus headspace sampling[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38(12): 2176-2180.
- [11] UMANO K, SHIBAMOTO T. Analysis of headspace volatiles from overheated beef fat[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1987, 35(1): 14-18.
- [12] SHIMODA M, SHIBAMOTO T. Isolation and identification of headspace volatiles from brewed coffee with an on-column GC/MS method[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38(3): 802-804.
- [13] UMANO K, HAGI Y, TAMURA T, et al. Identification of volatile compounds isolated from round kumquat (*Fortunella japonica* Swingle) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 42(9): 1888-1890.
- [14] MARQUES F A, MCELFFRESH J S, MILLAR J G. Kováts retention indexes of monounsaturated C<sub>12</sub>, C<sub>14</sub>, and C<sub>16</sub> alcohols, acetates and aldehydes commonly found in lepidopteran pheromone blends[J]. Braz Chem Soc, 2000, 11(6): 592-599.

- [15] LEE S J, UMANO K, SHIBAMOTO T, et al. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties[J]. Food Chemistry, 2005, 91(1): 131-137.
- [16] GANCEL A L, OLLE D, OLLITRAULT P, et al. Leaf and peel volatile compounds of an interspecific citrus somatic hybrid [*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swing. + *Citrus paradisi* Macfayden] [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2002, 17(6): 416-424.
- [17] CHYAU C C, MAU J L. Release of volatile compounds from microwave heating of garlic juice with 2,4-decadienals[J]. Food Chemistry, 1999, 64(4): 531-535.
- [18] FRÖHLICH O, DUQUE C, SCHREIER P. Volatile constituents of curuba (*Passiflora mollissima*) fruit[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1989, 37(2): 421-425.
- [19] RUIZ PEREZ-CACHO P, MAHATTANATAWEE K, SMOOT J M, et al. Identification of sulfur volatiles in canned orange juices lacking orange flavor[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(14): 5761-5767.
- [20] TU N T M, ONISHI Y, SON U S, et al. Characteristic odour components of *Citrus inflata* Hort. Ex Tanaka (Mochiyu) cold-pressed peel oil [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2003, 18(5): 454-459.
- [21] FAN Wenlai, QIAN M C. Characterization of aroma compounds of Chinese “Wuliangye” and “Jiannanchun” liquors by aroma extract dilution analysis[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(7): 2695-2704.
- [22] CHA Y J, CADWALLADER K R. Aroma-active compounds in skip-jack tuna sauce[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(3): 1123-1128.
- [23] FERRAR G, LABLANQUIE O, CANTAGREL R, et al. Determination of key odorant compounds in freshly distilled cognac using GC-O, GC-MS, and sensory evaluation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(18): 5670-5676.
- [24] WONG J M, BERNHARD R A. Effect of nitrogen source on pyrazine formation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1988, 36(1): 123-129.
- [25] NAGARAJAN S, RAO L J M, GUIRUDUTT K N. Chemical composition of the volatiles of *Decalepis hamiltonii* (Wight & Arn)[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2001, 16(1): 27-29.
- [26] FRÖHLICH O, DUQUE C, SCHREIER P. Volatile constituents of curuba (*Passiflora mollissima*) fruit[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1989, 37(2): 421-425.
- [27] MOIO L, PIOMBINO P, ADDEO F. Odour-impact compounds of Gorgonzola cheese[J]. Journal of Dairy Research, 2000, 67(2): 273-285.
- [28] PENNARUN A L, PROST C, HAURE J, et al. Comparison of two microalgal diets. 2. Influence on odorant composition and organoleptic qualities of raw oysters (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(7): 2011-2018.
- [29] 陈舜胜, 蒋根栋. 中华绒螯蟹蟹肉挥发性风味成分分析[J]. 食品科学, 2009, 30(20): 308-311.
- [30] 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.
- [31] 赵建新, 顾小红, 刘杨岷, 等. 传统豆酱挥发性风味化合物的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 684-687.
- [32] 刘源, 周光宏, 徐幸莲, 等. 南京盐水鸭挥发性风味化合物的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(1): 166-170.
- [33] 秦礼康, 丁霄霖. 传统陈窖豆豉耙和霉菌型豆豉挥发性风味化合物研究[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 275-280.