

# 固相微萃取-气相色谱-质谱法对比分析湘菜类地沟油与市售植物油中的挥发性成分

李小凤<sup>1</sup>, 王超<sup>1</sup>, 汪勇<sup>1</sup>, 黄晓兰<sup>2</sup>, 林晓珊<sup>2</sup>, 吴惠勤<sup>2</sup>

(1. 暨南大学理工学院食品科学与工程系, 广东广州 510632) (2. 中国广州分析测试中心, 广东广州 510070)

**摘要:** 采用固相微萃取结合气相色谱-质谱联用 (SPME/GC-MS) 技术, 对广州市大型湘菜饭店下水道隔油池中的 41 种地沟油样品和 25 种市售植物油样品中的挥发性成分进行对比分析, 研究表明: 地沟油中已确定的挥发性成分 113 种, 植物油中确定的挥发性成分 71 种。地沟油中醛类与烯烃类挥发性成分种类最多, 而植物油中醛类与其它类挥发性成分种类最多; 地沟油中酸类物质百分含量最大, 而植物油中只含微量的酸类物质; 地沟油中含有醚类与芳香类物质, 而植物油中未检出; 烯烃类中地沟油普遍含有柠檬烯, 而植物油中未检出; 另外, 其它类中地沟油普遍含有大蒜素, 而植物油中未检出。因此, 可以选择大量酸类、醚类、芳香类、柠檬烯及大蒜素作为湘菜类地沟油的判定成分, 为鉴别地沟油与植物油掺假等提供有力的依据。

**关键词:** 固相微萃取/气相色谱-质谱; 湘菜; 市售植物油; 地沟油; 挥发性成分

文章编号: 1673-9078(2015)3-242-248

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.3.040

## Comparison of Volatile Components in Commercial Vegetable Oils and Gutter Oils from Hunan Cuisine

LI Xiao-feng<sup>1</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>, WANG Yong<sup>1</sup>, HUANG Xiao-lan<sup>2</sup>, LIN Xiao-shan<sup>2</sup>, WU Hui-qin<sup>2</sup>

(1. College of Science and Technology, Jinan University, Guangzhou 510632, China) (2. Guangdong Provincial Public Laboratory of Analysis and Testing Technology, China National Analytical Center, Guangzhou 510070, China)

**Abstract:** Solid phase micro-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry (SPME/GC-MS) was applied to analyze the volatile components in 25 commercial vegetable oils and 41 gutter oils from the interceptor sewers of Hunan cuisine restaurants in Guangzhou. In total, 113 types of volatile components were detected in gutter oils, and 71 types were found in vegetable oils. Aldehydes and alkenes were the most abundant components of gutter oils, while vegetable oils contained mainly aldehydes and other volatile components. Acid components were most abundant in gutter oils, and vegetable oils contained only trace amounts of acids. Ethers and aromatics were detected in gutter oils but not in vegetable oils. Gutter oils generally contained limonene, which were not detected in vegetable oils. In addition, allicin was detected in gutter oils but not in vegetable oils. Therefore, large amounts of acids, ethers, aromatics, limonene, and allicin can be used as indicators for gutter oils. This provides a strong basis for the identification of gutter oils and adulterated vegetable oils.

**Key words:** solid phase micro-extraction/gas chromatography-mass spectrometry; Hunan cuisine; commercial vegetable oil; gutter oil; volatile components

地沟油, 又称溜水油、泔水油, 泛指各类废弃劣质油, 包括从下水道中捞取的餐厨废油、反复使用的酸败煎炸老油以及由劣质动物皮肉、内脏加工后提取出来的动物油脂<sup>[1]</sup>。一些不法商家受利益驱动, 将地沟油炼制后, 冒充普通的植物油又重新回到了餐桌上, 对社会与食品安全造成了非常大的危害。据估计, 每年返回餐桌的地沟油约有 200~300 万 t, 引起群众对

餐桌安全的担心。地沟油最大来源为餐饮业油水分离系统或城市大型饭店下水道的隔油池中捞取的油腻漂浮物。食用地沟油对人体的危害极大, 轻则引起消化不良、腹泻, 严重的会引发贫血、肝病, 长期食用则有诱发癌症的危险。

近 10 年来, 卫生部全力组织科研团队研究地沟油鉴别方法, 但尚未找到较有效的鉴别手段。目前对于地沟油的检测, 主要测定其外源污染物和其固有成分 (又称内源性组分) 的变化。其中对于外源性污染物, 主要检测的是: 常规理化指标包括水分含量、比重、折光率、酸价、过氧化值、羰基值、碘值等<sup>[2]</sup>;

收稿日期: 2014-07-11

基金项目: 广东省战略新兴产业核心技术攻关项目 (2012A03230016)

作者简介: 李小凤 (1990-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 油脂加工

通讯作者: 王超 (1979-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品安全与检测

重金属包括Fe、Pb、Cr、Zn、Mn及与之相关的电导率等<sup>[1]</sup>；动物油脂包括胆固醇<sup>[4]</sup>；矿物油污染包括C<sub>9-14</sub>烷烃和油脂氧化变质的二级产物乙醛等<sup>[5]</sup>；真菌毒素包括黄曲霉毒素B等。而对于内源性组分变化指标，则主要包括D-甘油酸、氧化甘油三酯、脂肪酸相对不饱和度、低碳数脂肪酸、油脂特征指纹图谱等<sup>[6]</sup>。Stelios Spaniolas等<sup>[7]</sup>采用单芯片毛细管电泳系统测定叶绿体*trnL*基因内含子区的方法研究食用植物油的掺假；蔡波太等<sup>[8]</sup>对60种市售植物油和地沟油样品分别进行了核磁H谱测定，建立了12个鉴别指标，对样品进行聚类分析，并将样品分为8大类，建立了判别函数，可检测和判别未知油的来源和品质等。而吴惠勤研究组<sup>[9]</sup>采用固相微萃取富集、气相色谱联合质谱测定了油脂的微量挥发性成分杂质，根据食用油和地沟油微量风味成分的差异鉴别地沟油，其建立的固相微萃取/气相色谱-质谱（SPME/GC-MS）方法在卫生部国家食品安全风险评估中心的盲样考核，对地沟油阳性样品的判断准确率高达95.5%。

湘菜，作为中国八大菜系之一，发展迅速，遍及中国大小城市。湘菜调味尤重酸辣。多用酸泡菜做调料，佐以辣椒烹制。因此在烹调的过程中，辣椒和其他调味料中的风味成分会迁移到油中，从而改变了油中风味物质组成。因此本研究是在前期研究的基础上，针对广州市大型湘菜饭店下水道隔油池中经简单处理后的地沟油和常用植物油，采用所建立的SPME/GC-MS方法对其挥发性成分进行分析，从而找到鉴别湘菜类地沟油的鉴别指标。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

41种地沟油样品为广州市联谊创业环保科技有限公司提供，25种不同品牌不同种类的8种常用植物油由广州市天河区岗顶家乐福及百花超市购买。

### 1.2 仪器

Agilent 6890 GC/5973i MS气相色谱-质谱联用仪（美国安捷伦公司），自制SPME固相微萃取头NACC-1。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品前处理和固相微萃取（SPME）

将收集的地沟油过滤除去树叶，辣椒等大体积物质，取6 mL经过预处理的地沟油装入10 mL带有聚四氟乙烯密封盖的顶空瓶中，密封，将带有NACC-1专用萃取头的固相微萃取针穿过密封塞插入顶空瓶中，

推出NACC-1萃取头（萃取头距样品表面约1 cm），于室温下萃取30 min后，取出固相微萃取针迅速插入气相色谱进样口中，在240 °C下解吸10 min，采用GC-MS测定其挥发性成分。

#### 1.3.2 GC-MS分析<sup>[9]</sup>

色谱条件：AB-5MS弹性石英毛细管柱（30 m×0.25 mm, 0.25 μm）；载气为氦气（纯度99.999%）；柱流量为0.7 mL/min，采用分流模式（分流比为10:1）；进样量为1.0 μL；进样口温度240 °C；升温程序：140 °C保持2 min，以8 °C/min升温至280 °C。

质谱条件：离子源：EI源；离子源温度：230 °C；四极杆温度：150 °C；气相色谱-质谱接口温度：280 °C；电子能量：70 eV；电子倍增器电压：1500 V；固相微萃取的解吸时间为10 min；扫描方式：SCAN，扫描范围29-450 u。

#### 1.3.3 数据处理方法

样品于确定的分析条件下进行SPME/GC-MS测定，得到TIC图，通过与NTST谱库对照、文献参考确定出挥发性成分，仅报道匹配度大于90的化合物，然后通过对湘菜类地沟油与植物油中的挥发性成分进行研究分析。

## 2 结果与讨论

本研究利用SPME/GC-MS技术，针对广州市大型湘菜饭店下水道隔油池中的地沟油和食用植物油中的挥发性成分进行了分析。结果发现湘菜类地沟油的挥发性成分主要包括烷烃类、烯烃类、醛类、酮类、酸类、酯类、酚类、醇类、醚类、芳香类和其它等。下面我们将对不同类化合物在不同来源的地沟油和食用植物油中的分布进行分析。

### 2.1 烷烃类

结果发现湘菜类地沟油中的烷烃类化合物包括：正戊烷，正己烷，正辛烷，正癸烷，正十一烷，正十二烷，正十三烷，正十四烷，1-氯己烷和环十二烷等。这些烷烃类化合物在不同来源的湘菜类地沟油的分布如下图1所示。其中大部分湘菜类地沟油中含有正戊烷（34种），正十一烷（21种）和正十四烷（10种）。图2为25种不同类型植物油中烷烃类化合物的分布图，主要包括正戊烷（4种），正己烷（1种），正十一烷（5种），和正十四烷（4种），与地沟油相比，食用植物油中不含环烷烃和卤化烃，且烷烃的种类和百分含量都有大幅度下降。烷烃类化合物的气味阈值通常较高，对油脂气味贡献较小。油脂中存在这些烷烃类化合物可能主要是由脂肪酸氧化降解会生成的，而卤

化烃可能是环境污染转移而来的<sup>[10]</sup>。

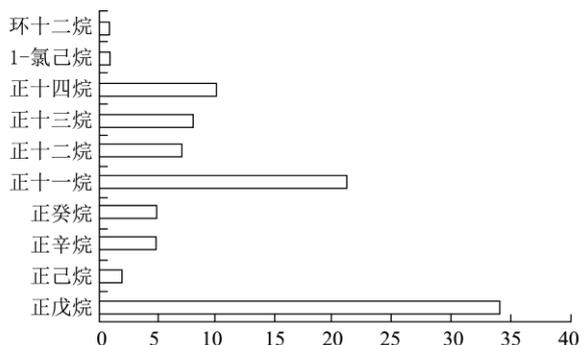


图1 烷烃类化合物在不同来源的湘菜地沟油的分布

Fig.1 Distribution of alkanes in gutter oils from Hunan cuisine of different origins

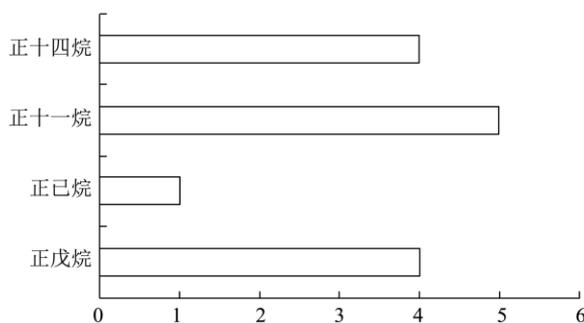


图2 烷烃类化合物在不同种类食用植物油中的分布

Fig.2 Distribution of alkanes in various types of vegetable oils

## 2.2 烯烃类

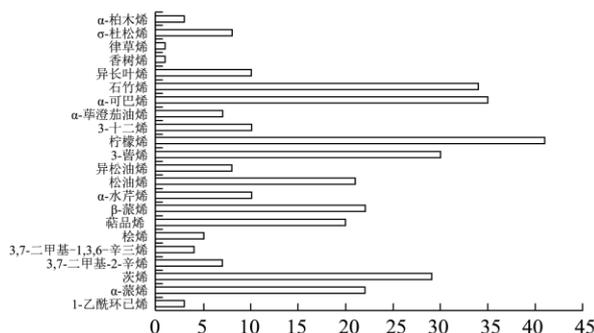


图3 烯烃类化合物在不同来源的湘菜地沟油的分布

Fig.3 Distribution of alkenes in gutter oils from Hunan cuisine of different origins

结果发现湘菜类地沟油中的烯烃类化合物包括: 3-萜烯, 茨烯, alpha-蒎烯, beta-蒎烯, 桉烯, 柠檬烯, 蒎品烯, 松油烯, 石竹烯, alpha-可巴烯, sigma-杜松烯等。这些烯烃类化合物在不同来源的湘菜类地沟油的分布如下图所示。其中大部分来源的湘菜类地沟油中含有石竹烯(34种), 柠檬烯(41种), alpha-可巴烯(35种), alpha-蒎烯(22种), beta-蒎烯(22种), 3-萜烯(30

种)。图4为植物油中烯烃类化合物的分布图, 主要包括石竹烯(25种), alpha-可巴烯(24种), alpha-葎澄茄油烯(23种), sigma-杜松烯(23种), alpha-紫穗槐烯(18种), 律草烯(16种)等。与植物油对比, 湘菜类地沟油中普遍都含有柠檬烯, 其它烯烃类种类相似, 其百分含量地沟油大于植物油。烯烃类化合物可能是脂肪酸氧化降解而来或者是在烹饪过程中加入的香精香料所致, 如柠檬烯为花椒的主要香辛成分<sup>[11]</sup>。

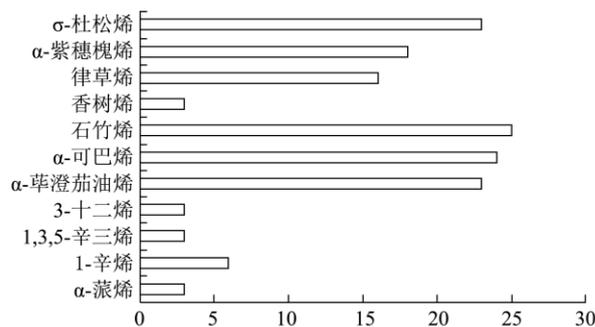


图4 烯烃类化合物在不同种类食用植物油中的分布

Fig.4 Distribution of alkenes in various types of vegetable oils

## 2.3 醛类

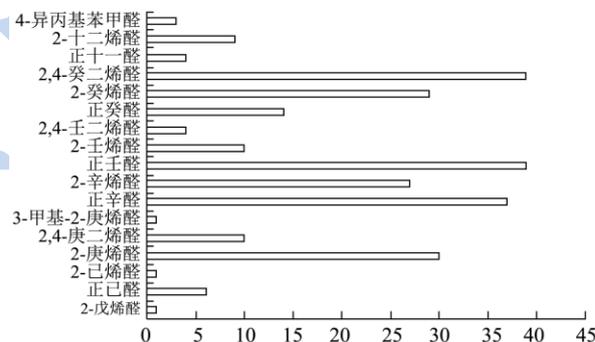


图5 醛类化合物在不同来源的湘菜地沟油的分布

Fig.5 Distribution of aldehydes in gutter oils from Hunan cuisine of different origins

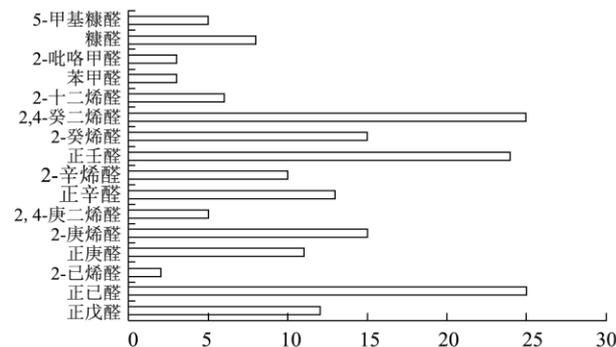


图6 醛类化合物在不同种类食用植物油中的分布

Fig.6 Distribution of aldehydes in various types of vegetable oils

结果发现湘菜类地沟油中的醛类化合物包括: 正

己醛 (37 种), 2-庚烯醛 (30 种), 正壬醛 (39 种), 2-癸烯醛 (29 种), 2,4-癸二烯醛 (39 种), 2-辛烯醛 (27 种) 等。这些醛类化合物在不同来源的湘菜类地沟油的分布如下图 5 所示。图 6 为植物油中醛类化合物的分布图, 主要包括正己醛 (25 种), 正壬醛 (24 种), 2,4-癸二烯醛 (25 种), 2-庚烯醛 (15 种) 2-癸烯醛 (15 种) 等。醛类化合物主要来源于不饱和脂肪酸的氧化降解, 它的阈值较低, 气味贡献较大。

### 2.4 酮类

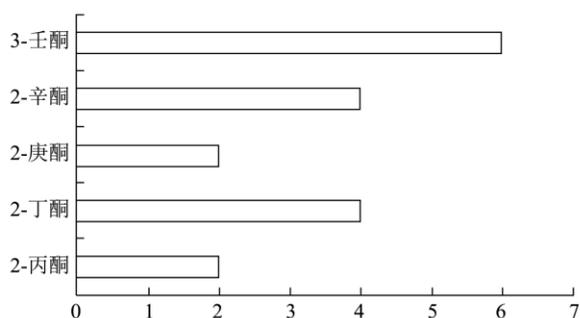


图 7 酮类化合物在不同来源的湘菜地沟油的分布

Fig.7 Distribution of ketones in gutter oils from Hunan cuisine of different origins

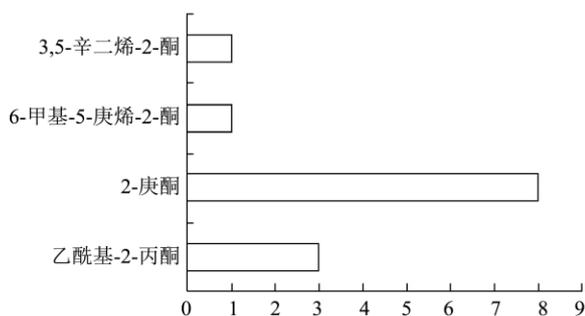


图 8 酮类化合物在不同种类食用植物油中的分布

Fig.8 Distribution of ketones in various types of vegetable oils

结果发现湘菜类地沟油中的酮类化合物包括: 2-丙酮 (2 种), 2-丁酮 (4 种), 2-庚酮 (2 种), 2-壬酮 (6 种), 3-辛酮 (4 种) 等。这些酮类化合物在不同来源的湘菜类地沟油的分布如下图 7 所示。图 8 为植物油中酮类化合物的分布图, 主要包括 2-庚酮 (8 种), 乙酰基-2-丙酮 (3 种), 6-甲基-5-庚烯-2-酮 (1 种), 3,5-辛二烯-2-酮 (1 种) 等。酮类化合物主要来源于不饱和脂肪酸的热氧化降解、微生物氧化产生或氨基酸降解。它一般具有果香和药香, 如 2-庚酮是亚油酸的氧化产物, 具有奶酪、香蕉和药香味<sup>[12]</sup>。

### 2.5 酸类

结果发现湘菜类地沟油中的酸类化合物包括: 乙酸 (41 种), 丙酸 (41 种), 丁酸 (39 种), 戊酸 (38 种) 等。这些酸类化合物在不同来源的湘菜类地沟油的分布如下图 9 所示。图 10 为植物油中酸类化合物的分布图, 主要包括乙酸 (5 种), 正丙酸 (1 种), 正戊酸 (2 种), 正庚酸 (4 种), 正己酸 (1 种) 等。植物油中不含酸类物质或者含极微量的小分子饱和脂肪酸, 地沟油中大量的酸类物质可能是油脂受氧、光、水、热、微生物等作用, 逐渐氧化或水解而变质酸败所带来的<sup>[13]</sup>。

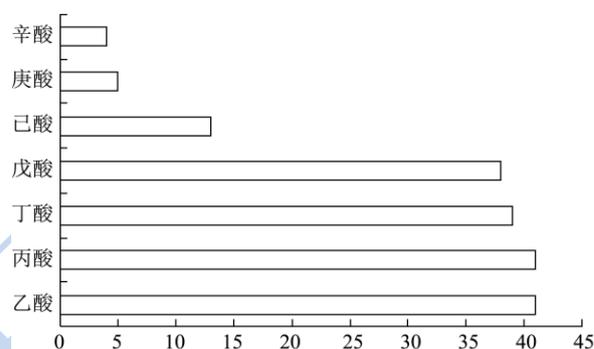


图 9 酸类化合物在不同来源的湘菜地沟油的分布

Fig.9 Distribution of acids in gutter oil from Hunan cuisine of different origins

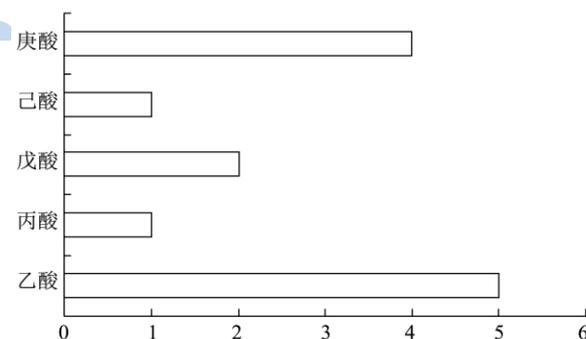


图 10 酸类化合物在不同种类食用植物油中的分布

Fig.10 Distribution of acids in various types of vegetable oils

### 2.6 酯类

结果发现湘菜类地沟油中的酯类化合物包括: 戊酸丙酯 (19 种), 三醋酸甘油酯 (11 种), 丙酸丙酯 (3 种) 等。这些酯类化合物在不同来源的湘菜类地沟油的分布如下图 11 所示。图 12 为植物油中酯类化合物的分布图, 主要包括三醋酸甘油酯 (20 种), 2,4-癸二烯酸甲酯 (12 种), 乙酸叶醇酯 (2 种) 等。酯

类化合物一般认为是脂肪酸氧化降解产生的醇和小分子脂肪酸通过酯化反应产生的。它的阈值较低，气味贡献较大。

种），2, 6-二叔丁基对甲酚（2 种）等。酚类化合物总类及百分含量都较小。

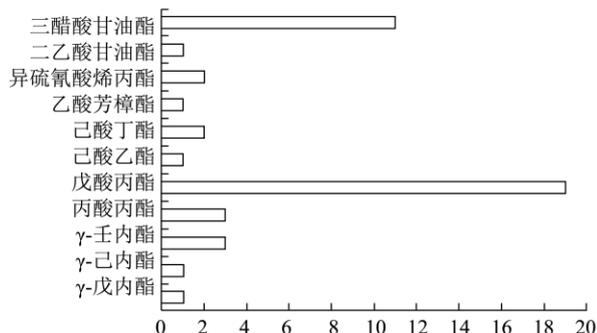


图 11 酯类化合物在不同来源的湘菜地沟油的分布

Fig.11 Distribution of esters in gutter oil from Hunan cuisine of different origins

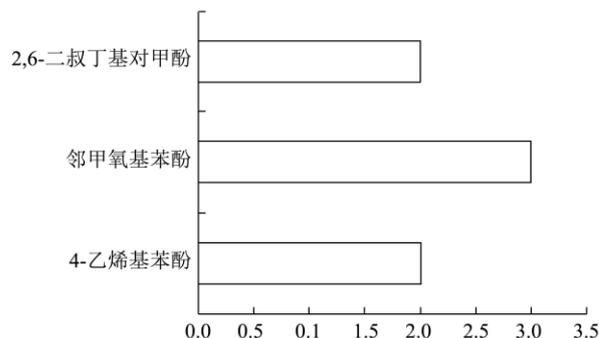


图 14 酚类化合物在不同种类食用植物油中的分布

Fig.14 Distribution of phenols in various types of vegetable oils

## 2.8 醇类

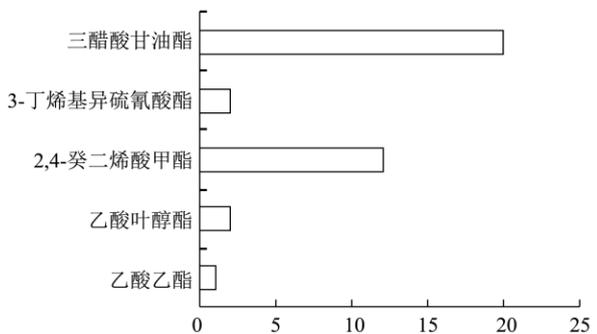


图 12 酯类化合物在不同种类食用植物油中的分布

Fig.12 Distribution of esters in various types of vegetable oils

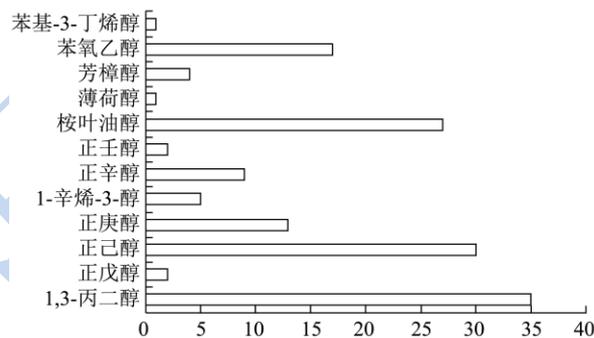


图 15 醇类化合物在不同来源的湘菜地沟油的分布

Fig.15 Distribution of alcohols in gutter oil from Hunan cuisine of different origins

## 2.7 酚类

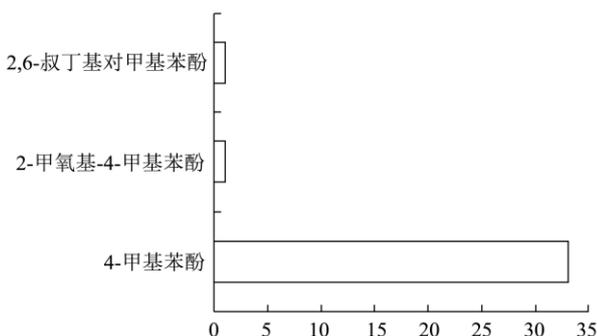


图 13 酚类化合物在不同来源的湘菜地沟油的分布

Fig.13 Distribution of phenols in gutter oils from Hunan cuisine of different origins

酚类化合物在不同来源的湘菜类地沟油的分布如下图 13 所示，主要有：4-甲基苯酚（33 种），2-甲氧基-4-甲基苯酚（1 种），2, 6-叔丁基对甲基苯酚（1 种）等。图 13 为植物油中酚类化合物的分布图，主要包括 4-乙烯基苯酚（2 种），邻甲氧基苯酚（3

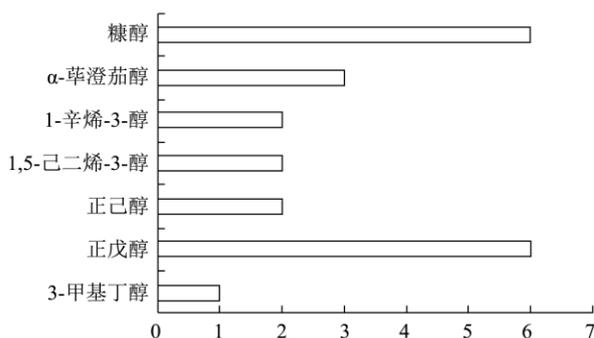


图 16 醇类化合物在不同种类食用植物油中的分布

Fig.16 Distribution of alcohols in various types of vegetable oils

结果发现湘菜类地沟油中的醇类化合物包括：1, 3-丙二醇（35 种），正己醇（30 种），桉叶油醇（27 种），苯氧乙醇（17 种），正庚醇（13 种）等。这些醇类化合物在不同来源的湘菜类地沟油的分布如下图 15 所示。图 16 为植物油中醇类化合物的分布图，主要包括正戊醇（6 种），糠醇（6 种），α-萜澄茄醇（3 种），正己醇（2 种）等。醇类化合物来源可能是脂

肪酸的二级氢过氧化物的降解或者是由羰基化合物还原所致，如正己醇与正戊醇分别是油酸与亚油酸的氧化分解产物<sup>[14]</sup>。醇类物质一般气味较柔和，具有植物香。

## 2.9 醚类

结果发现湘菜类地沟油中的醚类化合物包括：4-烯丙基苯甲醚（13种），对烯丙基茴香醚（38种），甲基烯丙基二硫醚（1种），二甲基二硫醚（1种），二烯丙基硫醚（1种）等。这些醚类化合物在不同来源的湘菜类地沟油的分布如下图17所示。与地沟油对比，植物油中几乎不含醚类物质。地沟油中醚类化合物可能是由烹饪过程中加入的香辛料和调味剂转移所致，如对烯丙基茴香醚又名茴香脑，主要来源于八角茴香、大茴香等香辛料中<sup>[10]</sup>。

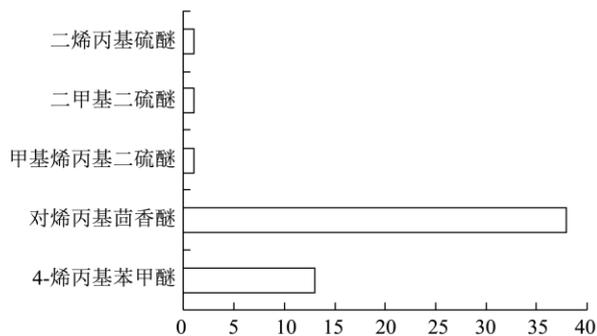


图17 醚类化合物在不同来源的湘菜地沟油的分布

Fig.17 Distribution of ethers in gutter oils from Hunan cuisine of different origins

## 2.10 芳香类

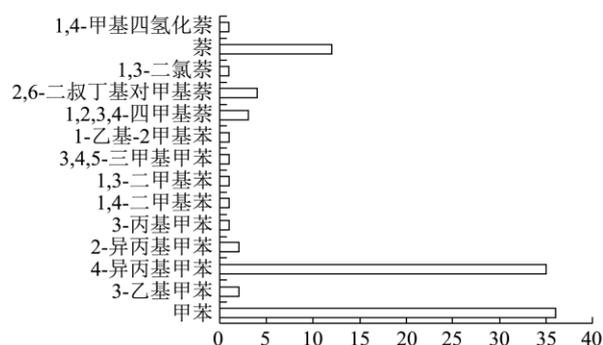


图18 芳香类化合物在不同来源的湘菜地沟油的分布

Fig.18 Distribution of aromatics in gutter oils from Hunan cuisine of different origins

结果发现湘菜类地沟油中的芳香类化合物包括：甲苯（36种），4-异丙基甲苯（35种），萘（12种），2,6-二叔丁基对甲基苯（4种）等。这些芳香类化合物在不同来源的湘菜类地沟油的分布如下图18所示。与

地沟油对比，植物油中几乎不含芳香类。一些芳香类化合物具有一定的毒性，地沟油中这些芳香类化合物可能来源是环境中其它化工品污染所致<sup>[15]</sup>。

## 2.11 其它类

其它类主要包括一些含氮化合物，含硫化合物，含氧化合物等。结果发现湘菜类地沟油中主要包括：2-正戊基咪喃（38种），大蒜素（37种）等。这些化合物在不同来源的湘菜类地沟油的分布如下图19所示。图20为植物油中其它化合物的分布图，主要包括2-正戊基咪喃（22种），叔丁基对苯醌（6种），2-甲基吡嗪（6种），3-乙基-2,5-甲基吡嗪（5种）等。2-正戊基咪喃是亚油酸氢过氧化物的降解产物，其含量会随着氧化程度的增加而增加<sup>[16]</sup>。含硫化合物可以给食品带来芳香或者不良气味，大蒜素可能是由烹饪过程中加入的香辛料和调味剂转移所致。含氮化合物包括吡嗪类，吡咯类等，主要来源于油脂反应生成或者本身是脂溶性挥发性物质<sup>[17]</sup>。

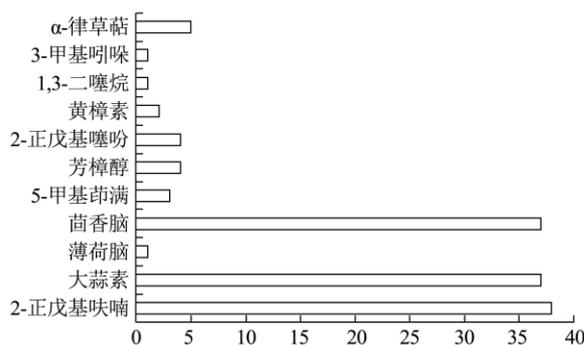


图19 其它化合物在不同来源的湘菜地沟油的分布

Fig.19 Distribution of other components in gutter oil of Hunan cuisine of different origins

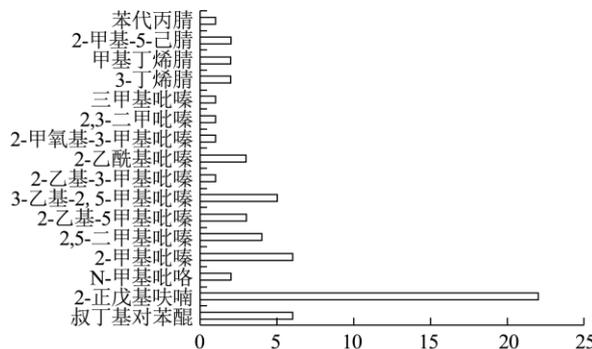


图20 其它化合物在不同种类食用植物油中的分布

Fig.20 Distribution of other components in various types of vegetable oils

## 3 结论

3.1 本研究针对广州市大型湘菜饭店下水道隔油池

中经简单处理的地沟油和 25 种常用植物油, 采用 SPME/GC-MS 技术, 对其中的挥发性成分进行了定性分析, 为鉴别地沟油与植物油掺假等提供参考依据。得到的主要结果如下:

3.2 用SPME/GC-MS对地沟油及植物油挥发性成分进行测定, 在地沟油中总共确定出挥发性成分113种, 常用食物油中确定出挥发性成分71种, 具体种类分布如表1所示。

表 1 地沟油与植物油中挥发性成分比较

Table 1 Comparison between volatile components in gutter oils and vegetable oils

	烷烃	烯烃	醛类	酮类	酸类	酯类	酚类	醇类	醚类	芳香类	其它
地沟油	10	22	17	5	7	11	3	12	5	14	7
植物油	4	11	16	4	5	5	3	7	-	-	16

注: “-”表示未检出。

3.3 从表1可以看出醛类与烯烃类挥发性成分种类最多, 地沟油中含有醚类与芳香类, 植物油中未检出, 地沟油中醚类与芳香类化合物可能来源是烹饪过程中加入的香料或者环境中其它化工品污染所致。

3.4 地沟油普遍含有柠檬烯与大蒜素, 而植物油中未出; 另外通过归一化峰面积相对含量考察各类物质含量, 发现地沟油中酸类物质含量最大, 而植物油中只含微量的酸类物质。表明大量的酸类物质、柠檬烯以及大蒜素可以作为地沟油的判定成分。本研究将对后续鉴别精炼后地沟油和掺假植物油中的主要特征性挥发成分奠定基础。

## 参考文献

- [1] 潘剑宇,尹平河. 滴水油,煎炸老油与合格食用植物油的鉴别研究[J]. 食品科学, 2003, 24(8): 27-29  
PAN Jian-yu, YIN Ping-he. Identification of gutter oils and vegetable oils [J]. Food Science, 2003, 24(8): 27-29
- [2] Maniak B, Szmigielski M, Piekarski W, et al. Physicochemical changes of post-frying sunflower oil [J]. International Agrophysics, 2009, 23: 243-248
- [3] 胡小泓,刘志金,郑雪玉,等.应用电导率检测滴水油方法的研究[J].食品科学,2007,28(11):482-484  
HU Xiao-hong, LIU Zhi-jin, ZHENG Xue-yu, et al. Research on electroconductivity detection of gutter fat [J]. Food Science, 2007, 28(11): 482-484
- [4] Kardani F, Daneshfar A, Sahrai R. Determination of  $\beta$ -sitosterol and cholesterol in oils after reverse micelles with triton X-100 coupled with ultrasound-assisted back-extraction by a water/chloroform binary system prior to gas chromatography with flame ionization detection [J]. Analytica Chimica Acta, 2011, 701(2): 232-237
- [5] 李殷,毕承路,冯华刚,等.顶空-气质联用法测定滴水油中的挥发性有机化合物[J].质谱学报,2012,33(5):308-314  
LI Yin, BI Cheng-lu, FENG Hua-gang, et al. Identification of gutter oil by headspace GCMS [J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2012, 33(5): 308-314
- [6] 曹文明,薛斌,杨波涛,等.地沟油检测技术的发展与研究[J].粮食科技与济,2011,36(1):41-44  
CAO Wen-ming, XUE Bin, YANG Bo-tao, et al. Development and research of waste oil detection technology [J]. Grain Science and Technology and Economy, 2011, 36(1): 41-44
- [7] Spaniolas S, Bazakos C, Awad M, et al. Exploitation of the chloroplast trnL(UAA) intron polymorphisms for the authentication of plant oils by means of a lab-on-a-chip capillary electrophoresis system [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(16): 6886-6891
- [8] 蔡波太,袁龙飞,周影,等.基于<sup>1</sup>H NMR指纹图谱结合多变量分析的地沟油检测方法[J].中国科学,2013,43(5):558-567  
CAI Bo-tai, YUAN Long-fei, ZHOU Ying, et al. Identification of illegal cooking oils by using <sup>1</sup>H NMR fingerprints combined with multivariate analysis [J]. China Science, 2013, 43(5): 558-567
- [9] 吴惠勤,黄晓兰,陈江韩,等.SPME/GC-MS鉴别地沟油新方法[J].分析测试学报,2012,31(1):1-6  
WU Hui-qin, HUANG Xiao-lan, CHEN Jiang-han, et al. A novel method for the identification of gutter oils using SPME/GC-MS [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2012, 31(1): 1-6
- [10] 吴惠勤,黄晓兰,林晓珊,等.SPME/GC-MS鉴别地沟油新方法(III)[J].分析测试学报,2013,32(11):1277-1282  
WU Hui-qin, HUANG Xiao-lan, LIN Xiao-shan, et al. A novel method for the identification of gutter oils using SPME/GC-MS(III) [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2013, 32(11): 1277-1282
- [11] 罗凯,朱琳,阚建全.气相色谱法测定不同产地花椒挥发油中芳樟醇和柠檬烯含量的研究[J].中国粮油学报,2012, 27(8):119-123  
LUO Kai, ZHU Lin, KAN Jian-quan. Content determination of limonene and linalool for the different producing areas

- zanthoxylum by GC [J]. Journal of Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(8): 119-123
- [12] Mansur M A, Bhadra A, Takamura H, Matoba T. Volatile flavor compounds of some sea fish and prawn species [J]. Fisheries Science, 2003, 69(4): 864-866
- [13] 邓鹏,王守经,王文亮.食用油氧化机理及检测方法研究[J].中国食物与营养,2008,8:17-19  
DENG Peng, WANG Shou-jing, WANG Wen-liang. Edible oil oxidation mechanism and detection methods [J]. Food and Nutrition in China, 2008, 8: 17-19
- [14] Beltran S A, Ramos S M, Grane N, et al. Classification of almond cultivars using oil volatile compound determination by HS-SPME-GC-MS [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2011, 88(3): 329-336
- [15] Purcaro G, Morrison P, Moret S, et al. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils using solid-phase microextraction-comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled with time-of-flight mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography A, 2007, 1161: 284-291
- [16] Baran O U, Pamela W, Earl H. Effects of linalyl oleate on soybean oil flavor and quality in a frying application [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2007, 84(2): 157-163
- [17] Whitfield F B. Volatiles from interaction of maillard reactions and lipids [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1992, 31(1-2): 1-58