

地沟油鉴别检测方法研究进展

王 崑¹, 刘连利¹, 仪淑敏^{2*}

(1.渤海大学实验管理中心, 锦州 121013; 2.渤海大学化学化工与食品安全学院,
辽宁省食品安全重点实验室, 锦州 121013)

摘 要:近年来,随着生活水平的越来越高,食品安全问题越来越受到人们的重视。地沟油是目前我国食品安全非常关注的问题之一。本文简要地概述了地沟油的概念、种类及其危害,对目前地沟油的鉴别和检测方法进行综述。本文通过对当前多种检测方法(傅里叶变换红外光谱分析法、脂肪酸组成分析法等)的综合比对,发现现有这些方法并不能准确鉴定地沟油。此外,对地沟油鉴别存在的难点进行分析。最主要的技术难点有两处:(1)经深度精炼,地沟油中的可以用来检测的物质大部分都除去了,很多方法对于深度精炼地沟油的检测不适用。(2)有些方法只适用于部分特定来源的地沟油,不具有广泛的意义。以期寻求一种快速可行,具有广泛代表性的地沟油检测方法。

关键词:地沟油;危害;检测方法

Advances of the distinguishing and detection of illegal cooked oil

WANG Wei¹, LIU Lian-Li¹, YI Shu-Min^{2*}

(1. Laboratory Management Center, Bohai University, Jinzhou 121013, China; 2. College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China)

ABSTRACT: Recently, food security has drawn increasingly attention with the development of living standards. Illegal cooked oil is one of the most concerned problems of currently food safety. In this paper, the concept, classification and harm of the illegal cooked oil were introduced, and some present identification and detection methods were described. This paper based on the current comprehensive comparison of inspection methods (FITR, analysis of fatty acids *etc.*), found that these methods could not accurately discriminate the illegal cooked oil. Furthermore, existing difficulties of the illegal cooked oil discrimination were analyzed. The detection methods of the illegal cooked oil had two major technique difficulties as following: (1) Substances detected had been removed after refining, causing many methods unable to detect all of the illegal cooked oil; (2) Some methods were only applicable to some particular source of drainage oil, and did not have extensive meaning. This paper aimed to find out a rapid, feasible and broadly representative method to discriminate the illegal cooked oil.

KEY WORDS: illegal cooked oil; harm; detection methods

*通讯作者: 仪淑敏, 副教授, 主要研究方向为水产品质量与安全。E-mail: yishumin@163.com

*Corresponding author: YI Shu-Min, Associate Professor, College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety Bohai University, 19 Science and Technology Road, Jinzhou 121013, China. E-mail: yishumin@163.com

1 引言

地沟油是废弃动物油脂、泔水油、多次反复加热使用及从餐饮企业下水道收集的垃圾油的总称^[1]。主要包括包括四大类: 地沟油(狭义)、泔水油(潲水油)、煎炸老油和废弃动物油脂^[2]。

食用油在食品加工过程中发生一系列化学反应, 产生大量的有害物质, 无论怎样精炼都无法完全去除, 这类油脂是不能再作为食用油使用的。但是, 一些不法分子利用收集到的地沟油加工成劣质食用油卖给餐饮企业, 谋取暴利。经过精炼的地沟油很难通过感官指标鉴别, 现有的各种地沟油检测方法都存在各种缺陷, 如灵敏度不高, 只能检测特定来源的地沟油等。所以必须对地沟油的共有性质进行研究, 以期研究出具有相当准确度和广泛意义的鉴别检测方法。

2 地沟油中有害物质的产生原因

地沟油(狭义)和泔水油与金属器皿和水泥壁接触, 含有多种有害重金属元素; 微生物、寄生虫等会大量繁殖; 油脂逐渐发生水解、氧化等一系列化学反应, 产生游离脂肪酸、脂肪酸的二聚体和多聚体、过氧化物、多环芳烃类物质、低分子分解产物等, 有些物质如醛、酮等是导致地沟油特殊酸腐恶臭气味的重要因素^[3]。

煎炸老油由于长时间高温加热, 油脂与空气中的氧以及煎炸食物所带入的水分作用, 使油脂发生水解、氧化、缩合等一系列复杂化学反应, 致使油黏度增加, 色泽加深, 过氧化值升高, 产生一系列挥发性物质、饱和及不饱和的醛、酮、内酯等, 甚至变性为有毒物质^[1,4,5]。

废弃动物油脂本身就可能采用病死肉或腐败变质的肉及脂肪, 这些原料原有的一些有害物质可能会转移到加工后的油脂中, 生产这些油脂产品的必定是无生产资格的黑窝点, 卫生无法保证, 微生物、重金属都可能超标, 而且在加工过程中也要较长时间的高温加热, 也会产生和煎炸老油类似的不良反应。

3 地沟油所含有的有害物质对人体的影响^[1,3,6]

地沟油含有大量对人体有害的物质, 包括酸败过程中生成的过氧化物, 反复高温加热食用油产生的多种聚合物如苯并芘、丙烯酰胺等。微生物繁殖产生的有害物质, 还有一些外来有害物质也会对人体产生影响。长期食用会对人体产生不良影响。冉莉等^[7]对泔水油的食用安全性进行毒理学观察, 在 30 d 喂养实验中, 除低剂量(2.5g/kg)泔水油外均可导致大鼠体质量增重减慢和食物利用率降低, 高(10.0g/kg)剂量泔水油可导致大鼠血清总蛋白和球蛋白含量降低, 中(5.0g/kg)、高剂量泔水油可导致大鼠肝脏系数增加及肝脏发生不同程度的病理改变。此次实验所用的泔水

油急性毒性实验结果为阴性, 遗传毒性实验和 30 d 喂养实验结果为阳性。

4 地沟油鉴别检测方法研究进展

4.1 感官检验

通过观察食用油的色泽、透明度、气味及品尝等方法, 初步判断植物油的品质。感官检验直观、快速, 但是准确性差^[8]。

4.2 常规油脂理化指标法

根据《食用植物油卫生标准的分析方法》(GB/T 5009.37-2003), 检测油脂的多种常规理化指标, 如含水量、酸值、过氧化值、羟基价、碘价、比重、折光率等。若这些常规理化指标中有一个或多个检测数据不符合国家标准的强制性规定, 则推断该油脂可能为地沟油^[9]。

王乐^[10]用市售植物油和地沟油作对比, 分别参照国标方法测定样品的酸价、过氧化值、碘价、折光指数及熔点。发现地沟油的各项检测值远远偏离正常食用油允许范围。

曹维金^[11]分别参照国标方法测定样品的透明度、气滋味、色泽、酸价、过氧化值、碘值、折光率、极性物和相对密度等常规指标, 发现气滋味指标对鉴别“地沟油”与食用植物油的有效性最高, 其次为透明度、酸值指标。此方法对深度精炼地沟油准确性差。

4.3 胆固醇含量判定法

一般植物油中仅含有极其微量(低于 50 μ g/mL)的胆固醇, 而动物油中含有大量的胆固醇, 地沟油常是多种不同来源的废弃食用油脂混合而成, 往往含动物油脂。利用极性毛细管色谱柱可将油脂中的胆固醇很好地分离, 氢火焰离子化检测器检测, 从而可鉴别油样中是否混有动物油^[12]。

张亿^[13]采用超高效液相色谱-三重四级杆质谱仪法, 大气压化学电离源(APCI)正离子模式, 多反应检测方式测定胆固醇浓度。可用于植物油类物质中胆固醇含量测定。

陈初良^[14]利用比色法测定了地沟油和合格植物油中胆固醇的含量, 可以判定植物油中是否含有动物油脂。

但是有的地沟油中不含动物油, 如用于煎炸面制品的煎炸老油等, 所以此方法只能判断植物油中是否含有动物油脂, 不能推断是否混有地沟油。

4.4 氧化产物检测

油脂氧化后会产生烃、醇、醛、酮、酸、酯、内酯和少量芳香与杂环化合物(丙烯酰胺、多环芳烃类等), 新鲜食用油几乎不含这些小分子化合物。地沟油在薄层色谱中表现为明显的拖尾斑, 而新鲜植物油则没有拖尾斑, 并且其比移值和斑点形状与食用植物油有很大区别。因此, 刘庆菊^[15]假设目标油样的主要成分分为甘油三酯和其他杂质两大类, 通过对其基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱

(MALDI-TOF-MS)峰的分析及高压液相色谱峰的聚类判别,实现地沟油的分析检测。王世成^[16]等采用液相色谱-大气压化学电离质谱方法,分析了食用油脂和地沟油的甘油三酯,结果表明,地沟油中存在5种亚油酰基氧化产物,其中含有亚油酸环氧化物的TAG分子对判别贡献率较大,可作为地沟油区别于正常油脂的标志成分。

赵海香^[17]根据植物油中脂肪酸以甘油三酯的形式存在,地沟油中脂肪酸以脂肪酸甲酯的形式存在,利用气相色谱-质谱的全扫描模式检测脂肪酸甲酯,若植物油样品脂肪酸甲酯种类多、含量高,则可判定为有地沟油掺假。

4.5 电导率法

地沟油会混入大量的水溶性物质,如食盐等调味品和洗涤剂等,这类物质会大幅提高水的电导率。另外,食物经过高温加工后,部分有机物分解成可电离的盐类,经提取进入水相,也会造成电导率升高。而正常的食用油脂中水溶性物质含量极低^[18-20]。

任佳丽^[21]采用压电换能器辅助的方法来测定电导率。与传统电导方法相比,它有很强的抗背景电解质干扰的能力,能在大量电解质存在的条件下使用。相比直接测电导率,响应灵敏度有所提高。基于地沟油的电导率的显著改变以及压电换能器对电导率的变化(尤其是稀电解质)有灵敏的频率响应,可以利用压电换能器进行泔水油的快速鉴别。

不同实验方法得到的电导率结果相差较大,而且不适合检测深度精炼地沟油。

4.6 气质联用检测油脂的挥发性成分

该方法采用顶空进样技术或顶空固相微萃取进样技术,收集地沟油中氧化产生的小分子挥发性物质,并进行气质联用检测。王乐^[10]采用气质联用测定地沟油的挥发性物质,鉴定了44个组分,占总组分的99.46%。挥发性成分中相对含量最高的物质是D-甘油酸,此物质在对照食用油中未被检出。

李红^[22]采用顶空固相微萃取与气质联用技术,确认了泔水油中主要共有挥发性成分,并将这些成分进行主成分分析,建立了泔水油挥发性成分的指纹图谱评价模型,并通过主成分分析的投影显示法实现对样品进行聚类及与正常油的区分。

吴惠勤^[23]通过固相微萃取(SPME)/气相色谱-质谱联用发现了地沟油的特征成分为反式脂肪酸及烯腈类、乙酸或己酸等。

4.7 脂肪酸相对不饱和度

天然的食用植物油含有高含量的不饱和脂肪酸,因此有着比较高的脂肪酸相对不饱和度,一般在4~6.2之间。不饱和脂肪酸的热稳定性较差,在高温下其氧化分解速度远高于饱和脂肪酸,进行热加工的植物油其脂肪酸相对不饱和度值会不断降低。

尹平河^[24]用气质联用法对7种地沟油和5种合格成品食用油中所有脂肪酸进行分析。研究发现,废油脂中部分不饱和脂肪酸受到氧化,使脂肪酸相对不饱和度值明显小于同种类食用油中的脂肪酸相对不饱和度值。李晓英^[25]也采用类似的方法,除了发现泔水油、煎炸老油中脂肪酸相对不饱和度明显小于合格植物油,也在其中检测到了十三烷酸(含量约0.27%)和十七烷酸(含量约6.49%)等奇数碳脂肪酸。

此方法主要问题是不同来源的地沟油的脂肪酸相对不饱和度值相差比较大,不同种类的植物油本身脂肪酸相对不饱和度值相差也比较大,若在一个脂肪酸相对不饱和度比较大的食用植物油中掺入一个脂肪酸相对不饱和度比较低的地沟油,如果掺入量不大,就不能依据脂肪酸相对不饱和度值来判断了。

4.8 测黄曲霉毒素法

黄军^[26]利用薄层分析法,加上柱色谱分离及红外分析,测得泔水油中黄曲霉毒素B₁比新鲜食用油高出许多,因此该指标可作为检测地沟油的方法之一。

4.9 测表面活性剂残留法

部分地沟油中含有餐具洗涤过程中常用的表面活性剂十二烷基苯磺酸钠(SDBS)。新鲜合格食用油中不含此类物质,因此可通过检测SDBS来发现泔水油^[27]。刘薇^[28]利用荧光分析法对泔水油中SDBS进行分析,泔水油经水洗预处理后,水相中SDBS具有特征荧光 $\lambda_{ex}/\lambda_{em}=230/290$ nm波峰出现,合格食用油的水相在此波长处没有波峰出现。张寒俊等^[29]研究发现在pH6.0磷酸氢二钠-柠檬酸缓冲溶液中十二烷基苯磺酸钠能使丁基罗丹明B的荧光发生猝灭,因此以丁基罗丹明B为荧光探针,用同步荧光猝灭法测定地沟油中的微量十二烷基苯磺酸钠,结果表明荧光猝灭程度与十二烷基苯磺酸钠质量浓度呈线性关系,检测限为0.152 μ g/mL,具有较好的准确度和回收率。但并不是所有地沟油都含有表面活性剂,且通过深层精炼,可除去表面活性剂。

4.10 测重金属法

王乐等采用HNO₃-H₂O₂酸体系进行微波消解、电感耦合等离子体质谱法测定了地沟油中微量元素的含量,发现Fe、Cr、Zn、Mn在地沟油中的含量明显超出正常食用油^[10,30]。但是郭岚^[31]发现散装精炼菜籽油较散装菜籽油中金属元素含量明显降低,说明经精炼后可能会将这些金属元素较好除去。

4.11 测固体脂肪含量法

王乐等利用脉冲式核磁共振(NMR)方法分别检测了掺入废弃动物油的植物油、泔水油和3种食用植物油(花生油、菜籽油和大豆油)在10℃和0℃下的固体脂肪含量。

结果与 0 °C 下, 地沟油的固体脂肪含量为 26.51% 和 43.25%, 泔水油达到了 9.47% 和 12.60%, 而食用植物油的固体脂肪含量很小甚至为 0。随着地沟油和泔水油在食用植物油中掺入量的增多, 固体脂肪含量随之增大。实验结果表明, 食用植物油中只要掺加了餐饮业废油脂 1% 以上即可检出。但 NMR 实验器材昂贵^[32]。

4.12 脂肪酸组成分析法

每种食用油都有其特定的脂肪酸组成。混合油脂在脂肪酸的组成和含量上与单一油脂有明显区别。泔水油、混有废弃动物油的植物油具有多种油脂的脂肪酸谱图特征。因此建立常见食用油脂的脂肪酸色谱图, 也可用于鉴别地沟油^[33,34]。

李晓英^[35]采用气质联用检测脂肪酸组成, 发现地沟油中油酸含量比合格植物油低得多, 可能是因为油酸等不饱和脂肪酸的双键在长期放置或反复使用过程中局部转变成含羰基的物质所致, 而且地沟油中还出现了油酸异构体。另外, 煎炸老油中的硬脂酸含量是两种合格植物油的 2 倍多, 在泔水油和煎炸老油两种油样中检测到十三烷酸和十七烷酸奇数碳脂肪酸, 泔水油中的十七烷酸含量达到 6.49%, 而另两种合格植物油中则无, 因而具有鉴别意义。

王继芬^[36]采用气质联用法对动、植物油中的脂肪酸品种及相对含量进行检测, 通过对脂肪酸品种分析, 相对百分含量大小比较及不饱和度统计初步确定了动物油和植物油之间的差异点, 根据这些差异点可以对动物油和植物油进行区分。可用来鉴别掺入动物油的地沟油。

刘江海^[37]发现精炼植物油反式脂肪酸含量低于 2%, 毛泔水中反式脂肪酸含量增加到 3% 以上。随着精炼的进行, 反式脂肪酸比例逐渐上升, 这是在脱色和脱臭工艺环节, 由于氧化和高温, 自由基活动活跃, 脂肪酸结构易发生改变生成反式脂肪酸造成的。采用检测反式脂肪酸的方法也可以鉴别地沟油。

但是, 如果地沟油掺入的比例低, 要做出正确判断就比较困难。毛新武等^[38]用气相色谱法对普通油样和废弃油样进行检测, 对硬脂酸含量进行独立样本检验, 由于废弃油中动物油含量较低, 结果显示普通油与废弃油相比没有显著差异。

4.13 检测动物基因法

地沟油是多种不同来源的废弃油脂混合而成, 往往含有动物油脂, 可以根据分子生物学基因鉴定方法, 鉴定油脂中的动物基因。王晶晶等^[39]采用 Taqman 荧光 PCR 技术检测地沟油中猪源性成分, 采用此技术可以扩增出地沟油中的猪线粒体细胞色素 b(Cyt b) 基因, 将可用于地沟油的检测。

杨永存^[40]采用实时荧光 PCR 方法筛选出具有动物组织特异性的基因片段, 通过检测这段基因片段, 能够正确

区分正常食用植物油和地沟油样品。

但此方法成本太高, 操作性低, 而且地沟油各有不同, 有些煎炸油是不含有动物基因的^[41]。

4.14 检测钠元素法

在食品加工中, 氯化钠、谷氨酸钠是经常使用的调味品, 而食用油一般不含这类物质。所以是否含有钠元素可作为区分普通劣质油脂与各类地沟油的特异性指标^[33,38]。

王利^[42]用原子吸收分光光度法来测定钠元素的含量, 实验结果表明合格食用油中基本检测不出钠离子, 而实验所用炸麻花油和炸油条油中则均能检出, 这也说明重复煎炸的油中会残留钠离子。

吴鼎^[43]利用基于主成分分析和人工神经网络的激光诱导击穿光谱证实, 钠元素含量可以作为地沟油鉴别的特征成分。

4.15 检测辣椒碱法

根据中国的饮食习惯, 辣椒是常用的调料。辣椒碱作为辣椒的有效成分能在烹饪过程中不被完全破坏并溶于油中, 并且不易去除。毛丽莎^[44]、吴惠勤^[45]、张忠^[46]分别建立了利用高效液相色谱-串联质谱, 检测地沟油中辣椒碱的方法。王龙星^[47]采用固相萃取-液相色谱-串联质谱技术检测地沟油中辣椒碱。此方法已经成为国家卫生部最新公布的 4 种地沟油仪器检测方法之一。但是, 也不是所有的我国饮食中都加辣椒, 所以也不能确定没有检测出辣椒碱的食用油就不是地沟油。

4.16 紫外分光光度法

地沟油会掺入部分动物油脂以及在炒菜、油炸时, 溶解了食物中的一些成分, 如色素、调料、食物中的类脂化合物等, 在可见光区的吸收系数变大, 透光性变差。因此可利用紫外可见光谱仪对合格食用油和地沟油进行吸收光谱扫描, 观察它们的谱线之间的区别^[48]。

王耀^[49]报道利用地沟油在 668nm 紫外可见吸收光谱吸收特征峰和平头峰加宽的特征来鉴别地沟油和花生油。试验表明花生油与地沟油在紫外可见区的吸收光谱有很大的不同。

4.17 傅里叶变换红外光谱分析法

胡宗智^[50]研究得出未经处理的食用植物油与地沟油具有相似的红外光谱特征, 经离心分离后地沟油的谱图出现明显变化, 而且该研究还认为地沟油及合格食用植物油经过一定的处理后, 利用傅里叶变换红外光谱分析法结合电导率法可实现对它们的快速鉴别。

Vlachos^[51]利用傅立叶转换红外光谱仪检测橄榄油掺伪低价值植物油。

许洪勇^[52]等利用傅里叶变换红外光谱仪, 采用加热顶空法鉴别地沟油。实验结果表明, 地沟油在波数 2 880、

2 940、2 966/cm 处有区别于食用植物油的特征吸收峰。由图谱检索与 GC-MS 分析, 地沟油加热顶空条件下所测特征峰, 是由饱和烷烃等物质产生的。

但是杨冬燕等^[53]又发现利用在傅立叶变换红外光谱 1120~1097/cm 波段吸收峰差异可以用来鉴别地沟油, 说明此方法尚不成熟。

4.18 测定生物胺法

地沟油中生物胺主要由其原料中腐败变质的蛋白质所产生, 为地沟油所特有, 在正常的食用植物油中并不含有生物胺。靳智^[54]采用丹磺酰氯柱前衍生, 高效液相色谱同时测定地沟油中 5 种生物胺, 并对方法的精密性、检出限、回收率等进行了评价, 结果显示该方法可满足测试要求。

4.19 介电性质法

未使用过的新鲜油脂都是弱极性的, 其极化成分质量分数一般在 3%~5% 左右。经过长时间反复加热, 极化成分会逐渐增加。应用介电常数的变化, 可以确定油中极化成分总含量的变化^[55]。石清丽^[56]发现煎炸老油、潲水油(毛油)、潲水油(精炼)等介电常数明显变大。因此, 可以用油品的介电特性作为其品质评价的一个依据。

4.20 测定乙酸根离子

黄儒添^[57]发现地沟油中含有大量的乙酸根阴离子, 而合格食用油中几乎不含乙酸根离子, 利用离子色谱仪可检测食用油样品中的乙酸根离子含量, 以此初步判断食用油中是否掺入地沟油。

4.21 拉曼光谱法

邓平建^[58]采用拉曼光谱-聚类分析法, 发现在 532 nm 激光光源的扩展光谱及一阶导数光谱中, 花生油与低价植物油及精炼地沟油光谱的信息量最大, 样品间光谱形态的差异显著, 谱峰得到有效分离。可准确鉴定各种类型的掺伪花生油。但是没有建立在所有的植物油中都可以采用的分析方法。

5 检测方法的主要技术难点

以上的检测方法除了本身在方法上的不完善以外, 最主要的技术难点有两处: (1) 经深度精炼, 地沟油中的可以用来检测的物质大部分都除去了, 很多方法对于深度精炼地沟油的检测不适用。(2) 有些方法如动物基因检测法、测黄曲霉毒素法、表面活性剂检测、紫外分光光度法、测定生物胺法、介电性质法、测定乙酸根离子等只适用于部分特定来源的地沟油, 不具有广泛的意义。

6 国外对地沟油研究的报道

国外对地沟油有严格的管理制度, 流向餐桌的可能很小。所以文献集中在对地沟油的综合利用方面。Sun^[59]

研究利用潲水油在选矿工业中制备选矿药剂; Mo-hamad^[60]等研究了利用废弃棕榈油生产生物柴油的方法; Shu^[61]等采用碳基固体酸催化剂, 利用废弃植物油合成生物柴油; Kasirajan^[62]采用硫酸氢铝作为催化剂利用混合废弃植物油生产生物柴油, Pandey^[63]研究了精炼餐饮业废油脂的处理和重新利用。

7 展望

地沟油来源广泛, 化学结构复杂, 而且不法分子大都是把地沟油精炼后掺入合格食用油中再销售, 更是增加了检测难度, 因此一直都没有建立起权威性的检测方法。现有的检测方法有的只能检测某种来源的地沟油; 有的灵敏度不够, 不能检测经过精炼的地沟油, 或不能检测掺入量较少的地沟油。要解决这个问题应采用两种方法: (1) 多指标联合鉴别地沟油, 即把多种有效检测方法联合使用。(2) 研究重点应放在食用油加工过程中发生的脂肪氧化过程, 从而研究其变化过程中所产生的特定物质, 并选择适合的检测方法。食用油中最主要的成分是三酰甘油, 而地沟油的共性是都经历了高温加热。因此, 应高度关注食用油中的主要成分三酰甘油在高温加热过程中化学结构的变化。通过检测这些变化产生的化学物质来判断是否是地沟油应该可以到达良好的效果。

参考文献

- [1] 段宝荣, 谭树志. 地沟油检测技术及应用进展[J]. 西部皮革, 2011, 33(12): 51-54.
Duan BR, Tan SZ. Progress on detection methods and application of illegal cooked oil [J]. West Leather, 2011, 33(12): 51-54.
- [2] 曹文明, 薛斌, 杨波涛, 等. 地沟油检测技术的发展与研究[J]. 粮食科技与经济, 2011, 36(1): 41-44.
Cao WM, Xue B, Yang BT, et al. Research and development illegal cooked oil detection technology [J]. Grain Technol Eco, 2011, 36(1): 41-44.
- [3] 李臣, 周洪星, 石骏, 等. 地沟油的特点及其危害[J]. 农产品加工. 综合刊, 2010, (6): 69-70.
Lin C, Zhou HX, Shi J, et al. Characteristics and harm of illegal cooked oil [J]. FARM Prod Proc, 2010, (6): 69-70.
- [4] Van GastelA, Mathur R, Roy VV, et al. Ames mutagenicity tests of repeatedly heated edible oils [J]. Food Chem Toxicology, 1984, 22 (5): 403-405
- [5] 潘剑宇, 尹平河, 余汉豪, 等. 潲水油、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 JY, Yin PH, Yu HH, et al. Study on identification of the hogwash fat, frying oils and good edible vegetable oils [J]. Food Sci, 2003, 24(8): 27-29.
- [6] 黄颺, 徐娇, 郎晓东. 废弃食用油脂的危害与管理[J]. 中国卫生监督杂志, 2007, 14(2): 109-111.
Huang B, Xu J, Lang XD. The harm and management of waste edible oils and fats [J]. Chin J Health Inspect, 2007, 14(2): 109-111.
- [7] 冉莉, 周永, 朱俊东, 等. 潲水油的急性毒性和遗传毒性研究[J]. 第三

- 军医大学学报, 2011, 33(13): 1366-1369.
- Ran L, Zhou Y, Zhu JD, *et al.* Acute toxicity and genetic toxicity of hogwash fat [J]. *J Third Milit Med Univ*, 2011, 33(13): 1366-1369.
- [8] 卢海燕, 王欣, 赵婷婷, 等. “地沟油”常见检测方法及低场核磁共振法的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2013, 4(5): 1428-1436.
- Lu HY, Wang X, Zhao TT, *et al.* Research progress on the common detection methods and LF-NMR of illegal cooked oil [J]. *J Food Saf Qual*, 2013, 4(5): 1428-1436.
- [9] 胡小泓. 稍水油鉴别方法的研究[J]. *食品工业*, 2010, 4: 98-100.
- Hu XH. Study on the Identification method of Slightly water oil [J]. *Food Ind*, 2010, 4: 98-100.
- [10] 王乐, 刘尧刚, 陈凤飞, 等. 地沟油的污染及变质情况研究[J]. *武汉工业学院学报*, 2007, 26(4): 1-4.
- Wang L, Liu YG, Chen FF, *et al.* Study on pollution and deterioration of the illegal cooked oil [J]. *J Wuhan Polytech Univ*, 2007, 26(4): 1-4.
- [11] 曹维金, 杨永存, 招辉, 等. 基于常规指标鉴别“地沟油”与食用植物油的有效性评估卫生研究, 2014, (43)2: 311-312.
- Chao WJ, Yang YC, Zhao H, *et al.* The effectiveness evaluation of based on the conventional indexes to identify " illegal cooked oil " and edible vegetable oil [J]. *J Hyg Res*, 2014, (43)2: 311-312.
- [12] 张蕊, 祖丽亚, 樊铁, 等. 测定胆固醇含量鉴别地沟油的研究[J]. *中国油脂*, 2006, 31(5): 65-67.
- Zhang R, Zu LY, Fan T, *et al.* Distinguishing Illegal cooked oil in edible vegetable oil by determination of cholesterol content [J]. *China Oil Fat*, 2006, 31(5): 65-67.
- [13] 张亿, 杨梅, 陈红, 等. 微波萃取技术在食用植物油与泔水油中胆固醇含量测定的应用[J]. *中国卫生检验杂志*, 2011, 21(7): 1658-1660.
- Zhang Y, Yang M, Chen H, *et al.* The application of microwave extraction method on determination of cholesterol level in vegetable oils and waste oils [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2011, 21(7): 1658-1660.
- [14] 陈初良, 张惠琴, 甘云娟, 等. 食用植物油掺入动物油脂鉴别方法的研究[J]. *粮油食品科技*, 2009, 17(3): 41-42.
- Chen CL, Zhang HQ, Gan YJ, *et al.* Study on the identification method of edible vegetable oil and animal oil incorporation [J]. *Sci Technol Cereal Oil Food*, 2009, 17(3): 41-42.
- [15] 刘庆菊, 蔡波太, 袁龙飞, 等. 基于高压液相色谱法的地沟油聚类分析方法研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2013, 4(2): 401-409.
- Liu QJ, Cai BT, Yuan LF, *et al.* The clustering analysis of the illegal cooked oil based on high pressure liquid chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2013, 4(2): 401-409.
- [16] 王世成, 范津杉, 王颜红, 等. 液相色谱-大气压化学电离质谱分析鉴别地沟油中的氧化成分[J]. *分析化学*, 2014, (42)5: 741-746.
- Wang SC, Fan JS, Wang YH, *et al.* Determination of oxidation products oflycerides in illegal cooked oil using high performance liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry [J]. *Chin J Anal Chem*, 2014, (42)5: 741-746.
- [17] 赵海香, 任荷玲, 许秀丽, 等. 应用脂肪酸甲酯快速筛选植物油中掺假地沟油[J]. *食品科学*, 2014, (35)16: 148-152.
- Zhao HX, Ren HL, Xu XL, *et al.* Rapid screening for gutter oil adulteration in vegetable oil based on fatty acid methyl esters [J]. *Food Sci*, 2014, (35)16: 148-152.
- [18] 吉礼, 车振明, 李明元. 电导率法快速甄别泔水油的研究[J]. *中国油脂*, 2009, 34(3): 75-77.
- Ji L, Che ZM, Li MY. Rapid distinguishing of swill on by conductivity determination [J]. *China Oil Fat*, 2009, 34(3): 75-77.
- [19] 彭进, 黄道平, 刘吉星, 等. 电导率的测定在鉴别泔水油中的应用研究[J]. *实用预防医学*, 2007, 14(3): 878-879.
- Peng J, Huang DP, Liu JX, *et al.* Application study of electrical conductivity measurement in hogwash oil identification [J]. *Pr Pre Med*, 2007, 14(3): 878-879.
- [20] 胡小泓, 刘志金, 郑雪玉, 等. 应用电导率检测泔水油方法的研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(11): 482-484.
- Hu XH, Liu ZJ, Zhen XY, *et al.* Research on electroconductivity detection of hogwash fat [J]. *Food Sci*, 2007, 28(11): 482-484.
- [21] 任佳丽, 刘振华, 李忠海, 等. 利用压电换能器快速鉴别泔水油[J]. *食品与机械*, 2011, 27(2): 62-64.
- Ren JL, Liu ZH, Li ZW, *et al.* The rapid identification of swill oil by piezoelectric transducer [J]. *Food Mach*, 2011, 27(2): 62-64.
- [22] 李红, 屠大伟, 李根容, 等. 固相萃取及主成分分析用于泔水油 GC-MS 指纹图谱的分析[J]. *计量学报*, 2010, 31(5): 101-105.
- Li H, Tu DW, Li GR, *et al.* SPEM and principal component analysis of hogwash oil GC-MS fingerprint [J]. *ACTA Metrol Sinica*, 2010, 31(5): 101-105.
- [23] 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 HQ, Huang XL, Chen JH, *et al.* A novel method for the identification of illegal cooked oil using SPME/GC-MS [J]. *J Instrum Anal*, 2012, (31)1: 1-6.
- [24] 尹平河, 王桂华, 赵玲, 等. GC-MS 法鉴别食用油和餐饮业中废弃油脂的研究[J]. *分析实验室*, 2004, 23(4): 8-11.
- Yin PH, Wang GL, Zhang L, *et al.* Study of recognition of edible oils and waste edible oils in the restaurants by GC-MS [J]. *Chin J Anal Lab*, 2004, 23(4): 8-11.
- [25] 李晓英, 彭德伟. 餐饮废油与食用植物油品质的 GC-MS 检测[J]. *中国油脂*, 2011, 36(4): 74-77.
- Li XY, Peng DW. Quality analysis of cookingwaste oil and edible vegetable oil by GC-MS [J]. *China Oil Fat*, 2011, 36(4): 74-77.
- [26] 黄军, 熊华, 李亮, 等. 泔水油在精炼中卫生指标的检测与分析[J]. *中国油脂*, 2008, 33(10): 70-74.
- Huang J, Xiong H, Li L, *et al.* Hygiene indexes detection and analysis of hogwash oil in refining process [J]. *China Oil Fat*, 2008, 33(10): 70-74.
- [27] Coeera M, Lopez O, Estelrieh J, *et al.* Use of a fluorescence spectroscopy technique to study the adsorption of sodium dodecyl sulfonate on liposomes [J]. *Chem Phys Lipid*, 2001, 110: 19-26.
- [28] 刘薇, 尹平河, 赵玲. 荧光法测定十二烷基苯磺酸钠鉴别泔水油的研究[J]. *中国油脂*, 2005, 30(5): 24-26.
- Liu W, Yin PH, Zhao L. Distinguishing hogwash fat by determination of sodium dodecylbenzene sulfonate with fluorescence spectrum analysis [J]. *China Oil Fat*, 2005, 30(5): 24-26.
- [29] 张寒俊, 汪海波, 唐宇. 同步荧光猝灭法测定地沟油中微量十二烷基苯磺酸钠[J]. *分析仪器*, 2010, (6): 43-46.
- Zhang HJ, Wang HB, Tang Y. Determination of trace sodium dodecyl benzenec sulfonate in illegal cooked oil by synchronous fluorescence quenching spectrometry [J]. *Anal Instrum*, 2010, (6): 43-46.

- [30] 王乐, 胡建华, 战锡林. 微波消解-电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS) 同时测定地沟油中微量元素[J]. 中国卫生检验杂志, 2007, 17(11): 1993-1994, 2014.
Wang L, Hu JH, Zhan XL. Determination of trace elements in illegal cooked oil by inductively coupled plasma mass spectrometry with microwave digestion[J]. Chin J Health Lab Technol, 2007, 17(11): 1993-1994, 2014.
- [31] 郭岚. 食用植物油中影响产品质量或食用安全的金属元素及有机物残留分析[D]. 南昌: 南昌大学, 2007.
Guo L. Analysis of metal and organic compound residues in edible vegetable oils to influence product quality or edible safety [D]. Nanchang: Nanchang University, 2007.
- [32] 王乐, 黎勇, 胡建华. 核磁共振法鉴别食用植物油掺伪餐饮业废油脂[J]. 中国油脂, 2008, 33(10): 75-78.
Wang L, Li Y, Hu JH. Discrimination of edible vegetable oil adulterated waste cooking oil by nuclear magnetic resonance [J]. China Oil Fat, 2008, 33(10): 75-78.
- [33] 黄道平, 彭进, 谢燕湘, 等. 泔水油鉴别检测方法研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2006, 16(2): 151-153.
Huang DP, Peng J, Xie YX, *et al.* Discrimination and detection method for hogwash oil [J]. Chin J Health Lab Technol, 2006, 16(2): 151-153.
- [34] 兰庆丰, 梁敏. 气相色谱法鉴别掺假食用油的研究[J]. 刑事技术, 2006, (1): 37-39.
Lan QF, Liang M. Study on the method to identify the adulteration of edible oil by gas chromatography [J]. Forensic Sci Tech, 2006, (1): 37-39.
- [35] 李晓英, 彭德伟. 餐饮废油与食用植物油品质的 GC-MS 检测[J]. 中国油脂, 2011, 36(4): 74-77.
Li XY, Peng DW. Quality analysis of cooking waste oil and edible vegetable oil by GC-MS [J]. China Oil Fat, 2011, 36(4): 74-77.
- [36] 王继芬, 姚琳桃, 张桂霞. 痕量动物油和植物油的区分检验研究[J]. 化学研究与应用, 2008, 20(11): 1514-1519.
Wang JF, Yao LT, Zhang GX. Discrimination examination between animal oil and vegetable oil [J]. Chem Res Appl, 2008, 20(11): 1514-1519.
- [37] 刘江海. 精炼废弃食用油脂检测指标建立研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2007.
Liu JH. Research of establishing determination index of refined abandoned edible fats and oil [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2007.
- [38] 毛新武, 贾煦, 胡国媛, 等. 泔水油等废弃食用油脂检测指标的建立研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2007, 17(2): 258-260.
Mao XW, Jia X, Hu GY, *et al.* Study on establishing hygienic testing items of waste edible oil [J]. Chin J Health Lab Technol, 2007, 17(2): 258-260.
- [39] 王晶晶, 傅春玲. Taqman 荧光 PCR 技术在地沟油猪源性成分检测中的应用初探[J]. 大家健康, 2014, (8)3: 5, 9.
Wang JJ, Fu CL. Application of taqman fluorescent per technique in the detection of pig component of illegal cooked oil [J]. All Health, 2014, (8)3: 5, 9.
- [40] 杨永存, 杨冬燕, 李浩, 等. 实时荧光 PCR 检测动物源性基因鉴定地沟油[J]. 中国卫生检验杂志, 2013, (23)18: 3514-3516.
Yang YC, Yang DY, Li H, *et al.* Identification of illegal cooked oil through animal-original genes detection with real-time PCR [J]. Chin J Health Lab Technol, 2013, (23)18: 3514-3516.
- [41] 尹平河, 潘剑宇, 赵玲, 等. 薄层色谱法快速鉴别泔水油和煎炸老油的研究[J]. 中国油脂, 2004, 29(4): 47-49.
Yin PH, Pan JY, Zhao L, *et al.* Quick discrimination of ageing frying oil and hogwash oil from good edible vegetable oil with thin layer chromatography[J]. China Oil Fat, 2004, 29(4): 47-49.
- [42] 王利, 陈晓枫, 王静梅. 原子吸收光谱法在食品安全检测中的应用-测定钠盐鉴别泔水油[J]. 现代科学仪器, 2010, (4): 110-111, 114.
Wang L, Chen XF, Wang JM. The application of aas in food security measurement-identify "hogwash oil" by testing sodium ion [J]. Mod Sci Instrum, 2010, (4): 110-111, 114.
- [43] 吴鼎, 海然, 刘平, 等. 基于激光诱导击穿光谱地沟油鉴别的初步探究[J]. 科学通报, 2014, (59)21: 2071-2076.
Wu D, Hai R, Liu P, *et al.* Preliminary study of identifying illegal cooked oil based on laser-induced breakdown spectroscopy [J]. Sci Chin Press, 2014, (59)21: 2071-2076.
- [44] 毛丽莎, 刘红河, 康莉, 等. 基于辣椒碱鉴别“地沟油”的有效性评估[J]. 卫生研究, 2014, 43(4): 614-619.
Mao LS, Liu HH, Kang L, *et al.* Efficiency evaluation of capsaicinoids to discriminate illegal cooked oil from edible vegetable oils [J]. J Hyg Res, 2014, 43(4): 614-619.
- [45] 吴惠勤, 罗辉泰, 黄晓兰, 等. LC-MS/MS 鉴别地沟油新方法[J]. 分析测试学报, 2012, 31(9): 1031-1036.
Wu HQ, Luo HT, Huang XL, *et al.* A novel method for the identification of illegal cooked oil using LC-MS/MS [J]. J Instrum Anal, 2012, 31(9): 1031-1036.
- [46] 张忠, 任飞, 张盼. 液-液萃取-液相色谱-串联质谱法测定“地沟油”中辣椒碱类化合物及丁香酚[J]. 色谱, 2012, 30(11): 1108-1112.
Zhang Z, Ren F, Zhang P. Determination of capsaicinoids and eugenol in illegal cooked oil by liquid-liquid extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2012, 30(11): 1108-1112.
- [47] 王龙星, 金静, 王淑秋, 等. 非正常食用油鉴别新方法(一): 三种辣椒碱残留量的液相色谱-质谱分析[J]. 色谱, 2012, 30(11): 1094-1099.
Wang LX, Jin J, Wang SQ, *et al.* A novel method for the identification of illegal cooking oil(1): detection of three capsaicinoids with liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2012, 30(11): 1094-1099.
- [48] 刘薇. 餐饮店泔水油快速监控方法的研究[D]. 广州: 暨南大学, 2005.
Liu W. Study on rapid monitoring method of restaurant swill oil [D]. Guangzhou: Jinan University, 2005.
- [49] 王耀, 尹平河, 梁芳慧. 紫外可见分光光度法鉴别掺兑泔水油的花生油[J]. 分析实验室, 2006, 25(3): 92-94.
Wang Y, Yin PH, Liang HF. Distinguishing hogwash oil from peanut oil by ultraviolet-visible spectrophotometry [J]. Chin J Anal Lab, 2006, 25(3): 92-94.
- [50] 胡宗智, 彭虎成, 赵小蓉, 等. 快速鉴别泔水油的试验研究[J]. 粮油加工, 2009, (1): 53-55.
Hu ZZ, Peng HC, Zhao XR, *et al.* Study on the rapid identification of hogwash oil [J]. Cereal Oil Proc, 2009, (1): 53-55.
- [51] Vlachos N, Skopelitis Y, Konstantinidou V, *et al.* Applications of fourier transform-infrared spectroscopy to edible oils [J]. Anal Chim Acta, 2006, 573: 459-465.
- [52] 许洪勇, 成莲, 王东峰, 等. 傅里叶变换红外光谱-加热顶空法鉴别地沟油[J]. 中国油脂, 2013, (38)1: 64-66.
Xu HY, Chen L, Wang DF, *et al.* Discerning of illegal cooked oil by FTIR

- with heating headspace [J]. *China Oil Fat*, 2013, (38) 1: 64–66.
- [53] 杨冬燕, 李浩, 杨永存, 等. 基于傅立叶变换红外光谱 1120 cm^{-1} ~ 1097 cm^{-1} 波段吸收峰差异鉴别地沟油[J]. *中国卫生检验杂志*, 2014, 24(6): 765–768.
Yang DY, Li H, Yang YC, *et al.* Identification of illegal cooked oil based on the absorption peak difference in the range of 1120 cm^{-1} ~ 1097 cm^{-1} by fourier transform infrared spectroscopy [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2014, 24(6): 765–768.
- [54] 靳智, 李明, 张煌涛, 等. 高效液相色谱法测定地沟油中 5 种生物胺[J]. *福建分析测试*, 2010, 19(3): 10–14.
Jin Z, Li M, Zhang HT, *et al.* Determination of five biogenic amines in illegal cooked oil by high performance liquid chromatography [J]. *Fujian Anal Test*, 2010, 19(3): 10–14.
- [55] Meriakri VV, Pangmis LJ, Gratowski SV. Microwave monitoring of deep frying oils [J]. *Inform*, 2005, 16(8): 484–486 .
- [56] 石清丽, 喻旭东. 食用油的介电特性研究[J]. *科技信息*, 2010, (24): 116–116.
Shi LQ, Yu XD. Study on dielectric properties of edible oil [J]. *Sci Technol Inform*, 2010, (24): 116–116.
- [57] 黄儒添, 叶小玲, 廖文友. 41 份食用油样品中地沟油鉴别及检测结果分析[J]. *齐齐哈尔医学院学报*, 2014, (35)5: 690–692.
Huang RT, Ye XL, Liao WY. Analysis of illegal cooked oil identification and detection results of 41 samples of edible oil samples [J]. *J Qiqihar Med Coll*, 2014, (35)5: 690–692.
- [58] 邓平建, 李浩, 杨冬燕, 等. 拉曼光谱-聚类分析法快速鉴别掺伪花生油[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(9): 2689–2696.
Deng PJ, Li H, Yang DY, *et al.* Rapid detection of adulterated peanut oil by Raman spectrum-cluster analysis [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(9): 2689–2696.
- [59] Sun W, Yang KQ, Zhang LM, *et al.* Preparation of hydrolyzate of hogwash oil (HHO) and its application in separating diaspore from kaolinite [J]. *Miner Eng*, 2010, (23): 670–675.
- [60] Al-Widyan MI, Al-Shyoukh AO. Experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel [J]. *Biores Technol*, 2002, 85: 253–256 .
- [61] Shu Q, Gao JX, Zeeshan Nawaz, *et al.* Synthesis of biodiesel from waste vegetable oil with large amounts of free fatty acids using a carbon-based solid acid catalyst [J]. *Appl Energ*, 2010, 87: 2589–2596.
- [62] Ramachandran K, Sivakumar P, Suganya T, *et al.* Production of biodiesel from mixed waste vegetable oil using an aluminium hydrogen sulphate as a heterogeneous acid catalyst [J]. *Biores Technol*, 2011, 102(15): 7289–7293.
- [63] Pandey RA, Sanyal PB, Chattopadhyay N, *et al.* Treatment and reuse of wastes of a vegetable oil refinery [J]. *Res Com*, 2003, 37: 101–117.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



王 崑, 硕士, 助理实验师, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: ww11812002@163.com



仪淑敏, 副教授, 主要研究方向为水产品质量与安全。
E-mail: yishumin@163.com