

傅立叶变换红外光谱鉴别“地沟油”的有效性评估

杨永存¹, 李浩¹, 杨冬燕¹, 邓香香², 吴双¹, 邓平建¹

(1. 深圳市疾病预防控制中心, 广东深圳 518055) (2. 南华大学, 湖南衡阳 421001)

摘要: 收集食用植物成品油、食用植物原油、餐厨废弃油脂和煎炸废弃油脂共 137 份, 并制备精炼“地沟油”17 份, 采集各类油脂样品的傅立叶变换中红外吸收光谱, 通过比较分析各类样品在 1711 cm⁻¹ 附近吸收峰的形状差异及 1711 cm⁻¹ 和 1745 cm⁻¹ 两处吸收峰的峰高比值的差异, 分析造成差异的原因, 评估此处吸收峰对鉴别“地沟油”与食用植物油的有效性。结果表明, 油脂 FTIR 在 1711 cm⁻¹ 的吸收峰, 或者 1711~1745 cm⁻¹ 处的双峰并非“地沟油”的特征吸收峰形状, 而与油脂的酸价有着密切的关系, 其强度大小主要取决于油脂样品酸价的高低。当通过“精炼”或“勾兑”的方法降低“地沟油”及其勾兑产品的酸价后, 它们在 1711~1745 cm⁻¹ 处的双峰形状也就随之消失。因此, 基于 FT-IR 的上述吸收峰及其形状还不能有效鉴别“地沟油”与食用植物油。

关键词: 傅立叶变换红外光谱; “地沟油”; 食用植物油; 鉴别; 有效性

文章编号: 1673-9078(2014)1-227-232

Effectiveness Evaluation of Illegal Cooking Oil Identification Based on Fourier Transform Infrared Spectroscopy

YANG Yong-cun¹, LI Hao¹, YANG Dong-yan¹, DENG Xiang-xiang², WU Shuang¹, DENG Ping-jian¹

(1. Shenzhen Center for Disease Control and Prevention, Shenzhen 518020, China)

(2. The University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: One hundred-thirty seven oil samples including edible vegetable oil, raw vegetable oil, kitchen-waste oil and fried waste oil were collected. And 17 refined illegal cooking oil samples were prepared. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was used to discriminate the difference in the oil samples. The shape of spectra in 1711 cm⁻¹ and peak height ratios in 1711 cm⁻¹ and 1745 cm⁻¹ were analyzed and evaluated the effectiveness to separate illegal cooking oil from edible vegetable oil. The results showed that the infrared absorption peak in 1711 cm⁻¹ or the double peaks in 1711 cm⁻¹ and 1745 cm⁻¹ were not specific for illegal cooking oil, but highly related to the oil acid value with positive correlation, which decreased when the acid value of illegal cooking oil decreased by refining or blending. Therefore, the FT-IR absorption peaks could not discriminate illegal cooking oil from edible vegetable oils.

Key words: fourier transform infrared spectroscopy; illegal cooking oil; edible vegetable oil; discriminate; effectiveness

“地沟油”是指从餐厨垃圾、废弃油脂、各类肉及肉制品加工废弃物中分离回收的废弃油脂。“地沟油”毛油是生产加工“地沟油”精炼油的原料, 包括: (1) 餐厨废弃油脂, 即餐饮业场所产生的垃圾及排放物中分离回收的废弃油脂; (2) 煎炸废弃油脂, 俗称“老火油”, 是指经过反复高温煎炸食品的废弃油脂; (3) 动物废弃油脂, 指用各类肉及肉制品加工废弃物(包括肉、内脏、皮)加工提取的油脂。不法分子为了追求暴利, 利用“地沟油”毛油生产加工精炼油, 并用精炼

收稿日期: 2013-09-05

基金项目: 深圳市技术研究开发计划技术攻关项目(JSGG2012061508737935, 深发改[2012]866号); 2012年深圳市科技计划重点项目(201201008, 深卫人医政[2012]251号)

作者简介: 杨永存(1980-), 女, 本科, 主管医师, 主要从事食品卫生检验。

通讯作者: 邓平建, 男, 主任技师

“地沟油”勾兑和冒充食用植物油进行销售, 对人民群众的身体健康和生命安全造成了严重的危害^[1-2]。

在“地沟油”检测方法的研究中, 曾经筛选过的检测指标达到数百种, 包括常规指标、内源性标志物、外源性标志物等; 曾采用过的检测方法几乎覆盖了现有的各种分析技术及手段, 包括光谱(红外光谱、紫外光谱、拉曼光谱、原子光谱)、色谱(气相色谱、液相色谱)、核磁共振谱、气滋味谱(电子鼻、电子舌)等^[3-5]。虽然迄今为止仍未能建立普遍有效的“地沟油”检测方法, 但已有的探索及研究结果必将为后续的相关研究提供重要的基础和导向。

傅立叶变换红外光谱(Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)技术有测试样品非接触性、非破坏性、检测灵敏度高、耗时短、样品所需量小及无需样品制备等特点。由于物质在中红外光谱(MIRS)频

段范围内(400~4000 cm^{-1})的光谱信息具有良好的指纹特征^[6], FT-IR技术已被广泛应用于有机化合物鉴定、真伪鉴别、食品检测等领域^[7-8]。目前FT-IR技术已被用于食用油脂的掺假掺杂^[9-10]、品质检测^[11]、种类鉴定^[12]和其他定性和定量检测等^[13-14],也有用于“地沟油”鉴定的相关报道^[15-17]。许洪勇等提出,“地沟油”在1711 cm^{-1} 附近有特征峰,认为该吸收峰对应于“地沟油”油脂酸败所产生的大量羧酸,可用于“地沟油”的鉴定^[18];刘玲玲等也观察到部分伪食用油会出现1711 cm^{-1} 附近的羧基特征峰但不具有普遍性^[19]。为了进一步考察“地沟油”与正常食用植物油的FT-IR特征,特别是对1711 cm^{-1} 附近的吸收特征,本研究收集了大量食用植物成品油、食用植物原油、餐厨废弃油脂、煎炸废弃油脂和“地沟油”精炼油等样品,采集各类油脂样品的FT-IR,比较各类样品处于1711 cm^{-1} 附近吸收峰形状的差异,并分析该吸收峰形状及相对峰高与样品酸价的关系,评估此处吸收峰对鉴别“地沟油”与食用植物油的有效性。

1 材料与方法

1.1 材料

食用植物成品油71份,编号为ZC001~ZC071,包括不同厂家和不同品牌的精炼大豆油、精炼玉米油、花生油、芝麻油、橄榄油、茶籽油、玉米胚芽油、稻米油、葵花籽油、芥花籽油、花椒油和调和油,分别从深圳市各大超市购买;食用植物原油10份,编号为ZM001~ZM010,分别为大豆原油、玉米原油、压榨一级花生油、10度棕榈油、24度棕榈油、初榨菜籽油、葵花籽原油、芝麻油、米糠原油、棉籽原油,由南海油脂工业(赤湾)有限公司友情提供;煎炸废弃油脂20份,编号为LM001~LM020,分别从深圳市各餐饮店采集;餐厨废弃油脂36份,编号为DM001~DM036,分别从深圳市腾浪再生资源发展有限公司和深圳瑞赛尔环保股份有限公司采集。

“地沟油”各阶段精炼油17份,编号为DJ001~DJ017,由本实验室按“地沟油”标准物质候选物制备方法^[1]分批分阶段制备。以餐厨废弃油脂为原料,经脱臭、脱酸、脱色等步骤制备各精炼“地沟油”。

10份精炼“地沟油”与食用植物原油勾兑的样品,编号ZD1-10~ZD1-100,将DJ008号精炼“地沟油”勾兑至ZM001(大豆原油)中,以DJ008在勾兑后样品中所占的体积分数计算精炼“地沟油”的浓度,按10%的浓度梯度递增,最小勾兑浓度为10%,最大勾兑浓度为100%。

1.2 仪器与试剂

傅立叶变换红外光谱仪(TENSOR 37,德国布鲁克),DTGS检测器,可拆卸式溴化钾盐窗;压片机;KBr,分析纯,广州化学试剂厂。

1.3 红外光谱测定

用干燥分析纯KBr研细压片,于傅立叶变换红外光谱仪上测定背景红外光谱图,然后将待测样品取少许均匀涂抹于已测定背景的KBr压片上,进行红外光谱扫描,扫描范围为400~7000 cm^{-1} ,分辨率0.3,扫描次数16,运用OPUS软件对谱图进行分析和处理,采用水蒸汽补偿、点平滑、基线校正等预处理方法处理谱图。

1.4 相对峰高的测定

分别测定1711 cm^{-1} 和1745 cm^{-1} 附近的吸收峰峰高,计算前者与后者的比值。

1.5 酸价测定

按照国家标准《动植物油脂酸值和酸度测定》(GB5530-2005)进行测定。

2 结果与讨论

2.1 各样品的红外光谱

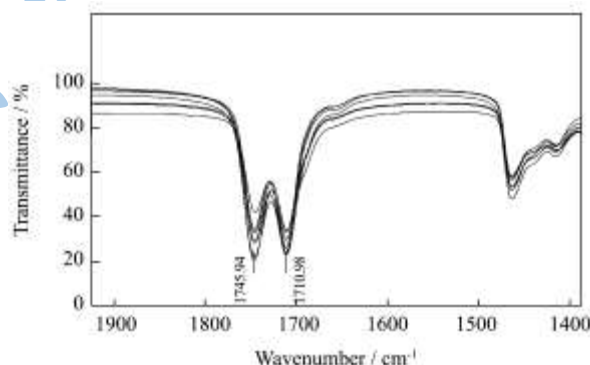


图1 餐厨废弃油脂红外光谱

Fig.1 Infrared spectrum of kitchen-waste oil

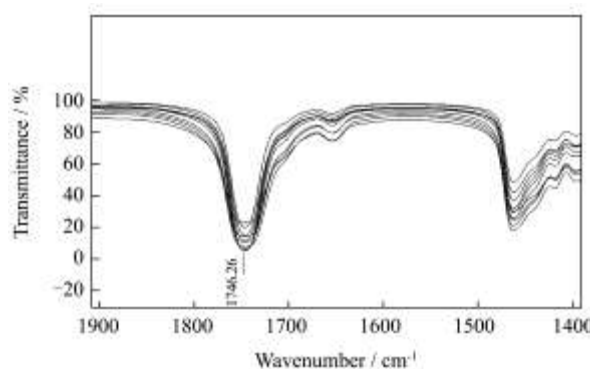


图2 食用植物成品油红外光谱

Fig.2 Infrared spectrum of edible vegetable oil

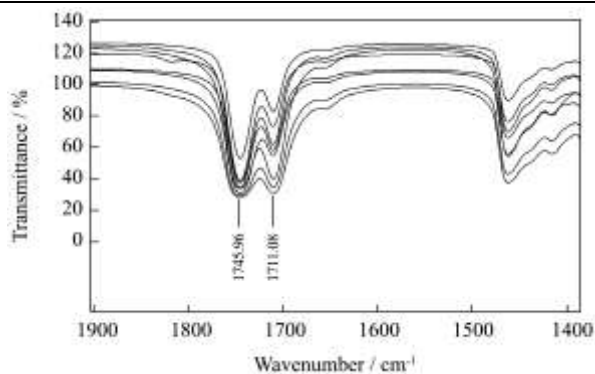


图3 一组精炼“地沟油”红外光谱

Fig.3 Infrared spectrum of refined illegal cooking oil of group 1

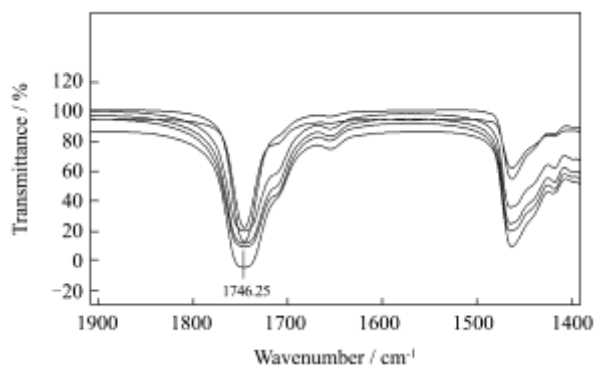


图4 二组精炼“地沟油”红外光谱

Fig.4 Infrared spectrum of refined illegal cooking oil of group 1

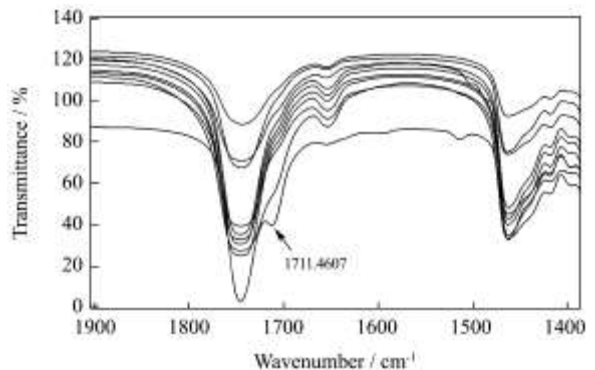


图5 食用植物原油红外光谱

Fig.5 Infrared spectrum of raw vegetable oils

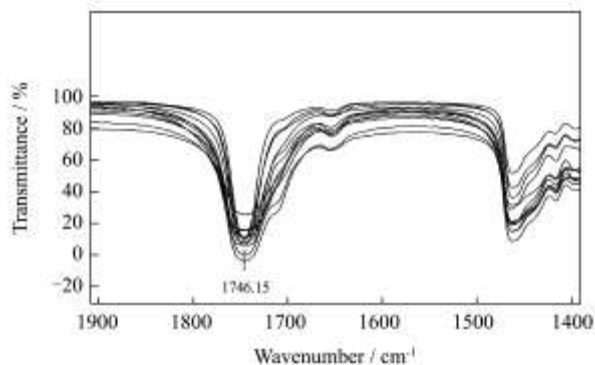


图6 煎炸废弃油脂红外光谱

Fig.6 Infrared spectrum of fried waste oils

2.2 样品特征吸收峰形状的比较分析

从图1~图6可见, 各类油脂在 1745 cm^{-1} 处均有较强吸收峰, 峰形尖锐, 特别明显, 并且不受其它峰的干扰, 此峰为酯键羰基基团 ($\text{C}=\text{O}$) 的振动峰, 为各类油脂共有。而各类油脂呈现差异的吸收峰出现在 1711 cm^{-1} 附近。由图1可见, 餐厨废弃油脂在 1711 cm^{-1} 附近有较强的吸收峰, 与 1745 cm^{-1} 处的吸收峰一起呈现出双峰形状, 明显不同于食用植物成品油 (图2)、煎炸废弃油脂 (图6) 和绝大部分食用植物原油 (图5) 在该频段的吸收峰形状, 后三者在此处仅有微小肩峰。但是, 个别的食用植物原油 (如米糠油) 也会出现较强的 1711 cm^{-1} 吸收峰, 与 1745 cm^{-1} 处的吸收峰一起形成双峰形状 (如图5中箭头标示)。以餐厨废弃油脂为原料制备的精炼“地沟油”, 一组样品在 $1711\text{ cm}^{-1}\sim 1745\text{ cm}^{-1}$ 处仍然呈现双峰形状 (图3), 而二组样品的 1711 cm^{-1} 吸收峰强度较小, 只剩下肩峰形状 (图4)。

结果表明, $1711\text{ cm}^{-1}\sim 1745\text{ cm}^{-1}$ 处的双峰形状并非餐厨废弃油脂和精炼“地沟油”所特有, 一方面, 某些食用植物原油 (如米糠油) 也存在这种双峰形状; 另一方面, 某些 (如二组) 精炼“地沟油”却没有这种双峰形状。

2.3 样品双峰形状与酸价的关联性分析

表1 不同类别油脂的酸价 (mg/g)

Table 1 Statistical results of acid value of different types of oils

油脂类别	样品数	均值 \pm SD	最大值	最小值
餐厨废弃油脂	36	74.28 \pm 12.7586	92.81	56.00
煎炸废弃油脂	20	2.07 \pm 3.23303	10.87	0.09
食用植物原油	10	4.19 \pm 6.75205	23.83	0.05
食用植物成品油	71	0.49 \pm 0.44926	1.71	0.07
一组精炼“地沟油”	10	47.33 \pm 15.3937	76.67	28.00
二组精炼“地沟油”	7	6.54 \pm 2.6147	10.29	1.87

有报道称, 1711 cm^{-1} 处的吸收峰为羧酸吸收峰, 与油脂酸价相关^[12-13]。为证实这一观点, 我们测定了不同类别油脂的酸价 (结果见表1), 并分析了样品酸价与该吸收峰的对应关系, 结果提示: 油脂样品是否出现 1711 cm^{-1} 的吸收峰, 以及该吸收峰的强度如何, 主要取决于其酸价的高低。例如, 餐厨废弃油脂的酸价均值远远高于其他油脂, 其 1711 cm^{-1} 吸收峰的强度 (图1) 也远远大于其他油脂 (图2~图6); 食用植物成品油的酸价最低, 其 1711 cm^{-1} 吸收峰就几乎没有出现 (图

2); 即便是对一组和二组精炼“地沟油”样品进行比较, 也可观察到酸价相对较高的一组精炼“地沟油”样品, 其1711 cm⁻¹吸收峰的强度也显著大于酸价相对较低的二组精炼“地沟油”样品(图3~图4)。

为定量分析精炼“地沟油”样品的酸价与1711 cm⁻¹附近吸收峰形状及吸收峰强度的关系, 我们测量了各个精炼“地沟油”样品处于1711 cm⁻¹和1745 cm⁻¹附近的两峰的峰高, 并计算1711cm⁻¹的相对峰高(即1711 cm⁻¹和1745 cm⁻¹两吸收峰高的比值), 各个精炼“地沟油”酸价、吸收峰形状及相对峰高的测量计算结果见表2。

从表2可见, 当样品的酸价较高时(如一组的各个样品), 它们在1711~1745cm⁻¹处呈现双峰形状。同时, 随着样品酸价的增高, 双峰的相对峰高也随之增大; 而当精炼“地沟油”样品的酸价较低时(如二组的各个样品), 它们在1711 cm⁻¹处只呈现肩峰形状。

上述分析结果提示, 油脂样品在1711~1745 cm⁻¹处是否出现双峰形状, 以及双峰相对峰高的大小主要取决于样品的酸价的高低, 而与其是“地沟油”还是食用植物油并无直接关系。

2.4 勾兑油脂吸收峰形状的变化

现已破获的一系列利用“地沟油”制售“食用油”犯罪案件所揭示的事实表明, 犯罪分子消除和掩盖“地沟油”(包括餐厨废弃油脂和煎炸废弃油脂)不良性状的惯用手法之一便是“勾兑”, 即将精炼“地沟油”兑入食用植物成品油或食用植物原油中出售, 以此掩盖“地沟油”的不良性状^[2]。为了观察精炼“地沟油”与

食用植物油勾兑样品在1711~1745cm⁻¹处吸收峰的形状变化, 我们配制了不同比例的精炼“地沟油”与食用植物油的勾兑样品, 测定了各勾兑油脂样品的酸价和红外光谱吸收峰, 结果见表3和图7。

表2 精炼“地沟油”酸价、吸收峰形及相对峰高的测定结果

Table 2 Results of acid value, absorption peak shape and relative peak height of refined bio-waste oils

组别	样品编号	酸价/(mg/g)	吸收峰形状 1711 cm ⁻¹ ~1745 cm ⁻¹	相对峰高
一组	DJ005	29.75	双峰	0.296
	DJ013	28.00	双峰	0.431
	DJ009	35.47	双峰	0.485
	DJ010	42.74	双峰	0.453
	DJ015	43.43	双峰	0.459
	DJ007	45.49	双峰	0.509
	DJ008	50.33	双峰	0.521
	DJ017	56.10	双峰	0.574
	DJ012	65.30	双峰	0.707
	DJ016	76.67	双峰	0.843
二组*	DJ004	1.87	肩峰	-
	DJ014	5.80	肩峰	-
	DJ006	5.88	肩峰	-
	DJ003	6.20	肩峰	-
	DJ001	7.42	肩峰	-
	DJ002	8.35	肩峰	-
	DJ011	10.29	肩峰	-

注: *该组样品在1711 cm⁻¹处只出现肩峰, 无法测量其峰高和计算相对峰高。

表3 勾兑油脂样品酸价、吸收峰形状及相对峰高测定结果

Table 3 Results of acid value, absorption peak shape and relative peak height of blending oils

样品编号	勾兑用精炼“地沟油”	勾兑用食用植物油	勾兑浓度* /(V/V,%)	酸价 /(mg/g)	吸收峰形状 1711~1745 cm ⁻¹	相对峰高
ZD1-10			10	12.11	肩峰*	-
ZD1-20			20	15.08	肩峰*	-
ZD1-30			30	16.58	双峰	0.190
ZD1-40			40	20.67	双峰	0.223
ZD1-50	DJ008	ZM001	50	23.69	双峰	0.313
ZD1-60			60	30.60	双峰	0.347
ZD1-70			70	32.06	双峰	0.370
ZD1-80			80	34.57	双峰	0.396
ZD1-90			90	44.80	双峰	0.506
ZD1-100			100	50.33	双峰	0.521

注: *精炼“地沟油”体积/勾兑样品总体积。

上述结果表明, 精炼“地沟油”兑入食用植物成品油可显著改变勾兑油脂的酸价。精炼“地沟油”与

食用植物油本身的酸价以及它们的勾兑比例不仅影响勾兑油脂的酸价, 同样也影响勾兑油脂在1711~1745

cm^{-1} 处吸收峰的形状。勾兑的精炼“地沟油”比例越高,即勾兑油脂酸价越高时,样品在 $1711\sim 1745\text{ cm}^{-1}$ 处呈现的双峰形状越明显,其相对峰高也越高;随着勾兑比例的逐步降低,即勾兑油脂酸价逐步降低,样品在 1711 cm^{-1} 的吸收峰峰高逐步降低,直至该吸收峰消失,致使 $1711\sim 1745\text{ cm}^{-1}$ 处原先的双吸收峰变为肩峰形状。

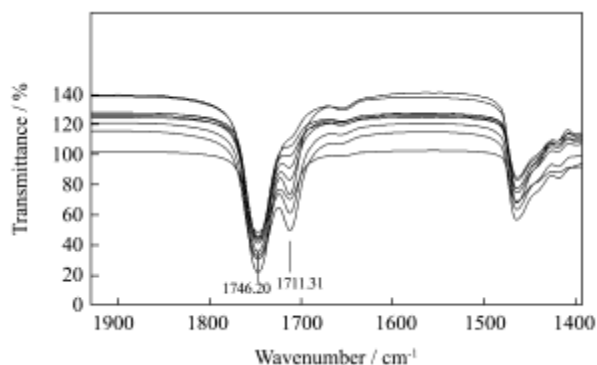


图7 精炼“地沟油”勾兑植物油样品的红外光谱

Fig.7 Infrared spectrum of samples blending with refined bio-waste oils and edible vegetable oils

勾兑油脂一旦双吸收峰消失,其峰形将与正常的食用植物成品油或食用植物原油样品所呈现的峰形极为相似,意味着利用该特征峰形鉴别上述样品将完全失效。然而,勾兑油脂双吸收峰消失对应的酸价约为 15 mg/g 左右,这一数值还远远高于食用植物油卫生和质量标准对酸价的限量值(植物原油 $\leq 3\text{ mg/g}$,食用植物油 $\leq 4\text{ mg/g}$)。由此可见,利用该特征峰形鉴别利用精炼“地沟油”勾兑的“食用植物油”既缺乏必要的特异性,也缺乏充足的敏感度。

3 结论

油脂FTIR在 1711 cm^{-1} 的吸收峰,或者 $1711\sim 1745\text{ cm}^{-1}$ 处的双峰并非“地沟油”的特征吸收峰形状,其与油脂的酸价有着密切的关系,其强度大小主要取决于油脂样品酸价的高低。当通过“精炼”或“勾兑”的方法降低“地沟油”及其勾兑产品的酸价后,它们在 $1711\sim 1745\text{ cm}^{-1}$ 处的双峰形状也就随之消失。因此,基于FTIR的上述吸收峰及其形状还不能有效鉴别“地沟油”与食用植物油。

参考文献

- [1] 李浩,杨冬燕,杨永存,等.“地沟油”标准物质候选物的研制[R].深圳:第十九届全国食品卫生理化检验学术交流会,2013
LI Hao, YANG Dong-yan, YANG Yong-cun, et al. Research production of candidates of reference material for bio-waste oils [R]. Shenzhen: 19th National Food Hygiene Physical Testing Symposium, 2013
- [2] 公安部公布制售“地沟油”犯罪十大典型案例[R]. <http://www.news.cn/>,2011-12-12
Ten typical cases of “bio-waste oils” criminal published by Ministry of public security [R]. <http://www.news.cn/>, 2011-12-12
- [3] 曹文明,孙禧华,陈凤香,等.“地沟油”鉴别技术研究展望[J].中国油脂,2012,37(5):1-5
CAO Wen-ming, SUN Xi-hua, CHEN Feng-xiang, et al. Prospect on discerning technology of swill-cooked dirty oil [J]. China oils and fats, 2012, 37(5): 1-5
- [4] 张清,沈群.我国食用植物油中地沟油检测技术回顾[J].食品科技,2010,35(10):311-314
ZHANG Qing, SHENG Qun. A review on Chinese detection technologies of trench oil in edible vegetable oils [J]. Food Science and Technology, 2010, 35(10): 311-314
- [5] 沈雄,郑晓,何东平.餐饮业废弃油脂鉴别检测方法研究进展[J].中国油脂,2011,36(11):49-51
SHENG Xiong, ZHENG Xiao, HE Dong-ping. Advance in differential detection method of waste cooking oil [J]. China oils and fats, 2011, 36(11): 49-51
- [6] 张菊华,朱向荣,尚雪波,等.近红外光谱、中红外光谱、拉曼光谱无损检测技术在食用油脂分析中的研究进展[J].食品工业科技,2010,31(10):421-425
ZHANG Ju-hua, ZHU Xiang-rong, SHANG Xue-bo, et al. Review on application of near-infrared spectroscopy, mid-infrared spectroscopy and Raman spectroscopy in analysis of edible oil [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(10): 421-425
- [7] 宋国胜,李琳,胡松青.傅立叶红外光谱应用研究进展[J].现代食品科技,2010,26(4):402-405
SONG Guo-sheng, LI Lin, HU Song-qing. Applied Research of Fourier Transform Infrared Spectroscopy [J]. Modern Food Science and Technology, 2010,26(4): 402-405
- [8] 安泉鑫,陈莉,庞林江,等.近红外光谱技术在食品中的应用进展[J].食品与机械,2012,28(5):239-242
AN Quan-xin, CHEN Li, PANG Lin-jiang, et al. Research advances On near-infrared spectrum technique in food analysis[J]. Food and Machinery, 2012, 28(5): 239-242
- [9] MAGGIO R M, CERRETANI L, CHIAVARO E, et al. A novel chemometric strategy for the estimation of extra virgin olive adulteration with edible oils [J]. Food Control, 2010, 21(6):890-895
- [10] VLACHOS N, SKOPELITIS Y, PSAROUDAKI M, et al. Applications of Fourier transform-infrared spectroscopy to

- edible oils [J]. *Anal Chim Acta*, 2006, 573/574: 459-465
- [11] KULIGOWSKI J, QUINTAS G, GARRIGUES S, et al. Monitoring of polymerized triglycerides in deep-frying olive oil on-line GPC-FTIR spectrometry using the science based calibration multivariate approach [J]. *Chromatographia*, 2010, 71: 201-209.
- [12] Che Man Y B, ROHMAN A, MANSOR T S T. Differentiation of Lard From Other Edible Fats and Oils by Means of Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Chemometrics [J]. *J Am Oil chem soc*, 2011, 88: 187-192.
- [13] 宋志强, 张恒, 郑晓, 等. 近红外光谱技术在食用植物油检测中的应用[J]. *武汉工业学院学报*, 2013, 32(2): 1-5
- SONG Zhi-qiang, ZHANG Heng, ZHENG Xiao, et al. Research progress on detection of edible vegetable oil based on the near infrared spectroscopy [J]. *Journal of Wuhan Polytechnic University*, 2013, 32(2): 1-5
- [14] 杨佳, 武彦文, 李冰宁, 等. 傅立叶变换红外光谱技术在食用油脂分析领域的应用[J]. *中国油脂*, 2013, 38(3): 81-86
- YANG Jia, WU Yan-wen, LI Bing-ning, et al. Application of FTIR in analysis of edible oils and fats [J]. *China oils and fats*, 2013, 38(3): 81-86
- [15] 王世成, 王颜红, 龙婕玲, 等. 大豆油中掺混地沟油的 FTIR 定量分析模型[J]. *分析实验室*, 2013, 32(3): 51-55
- WANG Shi-cheng, WANG Yan-hong, LONG Jie-ling, et al. Quantitative model for illegal oil in soybean oil by FTIR [J]. *Chinese Journal of Analysis Laboratory*, 2013, 32(3): 51-55
- [16] 沈雄, 郑晓, 何东平, 等. 近红外光谱和聚类分析法快速鉴别餐饮废弃油脂[J]. *农业机械*, 2012, 6: 64-67
- SHENG Xiong, ZHENG Xiao, HE Dong-ping, et al. Rapid discrimination of kitchen waste oil by near infrared transmission spectroscopy using clustering analysis [J]. *Agricultural Machinery*, 2012, 6: 64-67
- [17] 谢梦圆, 张军, 陈哲, 等. 地沟油的近红外光谱分析鉴别[J]. *中国油脂*, 2011, 36(12): 80-83
- XIE Meng-yuan, ZHANG Jun, CHEN Zhe, et al. Discrimination of waste cooking oil by near infrared spectroscopy [J]. *China oils and fats*, 2011, 36(12): 80-83
- [18] 许洪勇, 成莲, 王东峰, 等. 傅立叶变换红外光谱法鉴别地沟油的研究[J]. *现代食品科技*, 2012, 28(6): 707-719
- XU Hong-yong, CHENG Lian, WANG Dong-feng, et al. Identification of Recycled Cooking oil by FT-IR [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2012, 28(6): 707-719
- [19] 刘玲玲, 武彦文, 张旭, 等. 傅立叶变换红外光谱结合模式识别法快速鉴别食用油的真伪[J]. *化学学报*, 2012, 70(8): 995-1000
- LIU Ling-ling, WU Yan-wen, ZHANG Xu, et al. Application of Fourier Transform Infrared Spectroscopy Combined with Pattern Recognition Method for Rapid Authentication of Edible Oil [J]. *Acta Chimica Sinica*, 2012, 70(8): 995-1000