

一种食用油质量的快速检测方法

张铭润¹,白瑞樱²,王弘¹,徐振林¹,雷红涛¹,沈玉栋¹,孙远明¹,曾道平³,张燕⁴,杨金易^{1,*}
(1.华南农业大学食品学院广东省食品质量安全重点实验室,农业部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室,广东广州 510642;
2.新乡医院生理与神经生物学教研室,河南新乡 453003;
3.广州万联生物科技有限公司,广东广州 510000;
4.广东产品质量监督检验研究院,广东顺德 528300)

摘要:本研究建立了一种可视化检测食用油质量的快速检测方法,制备了由聚二烯丙基二甲基氯化铵(PDDA)和环状糊精(α 或 β 或 γ ,或混合)同时修饰的纳米金复合探针溶液。当探针溶液与劣质油等体积混合时,劣质油中的杂质(如游离脂肪酸,氢过氧化物,醛类,酮类等)与其有特异性的非共价作用,使得纳米金探针从水相转至上层油时产生颜色变化,颜色变化的程度跟劣质油的含量成正比,通过肉眼观察颜色变化和两相分层情况即可定性的判断食用油的质量。结合紫外光谱630 nm处的扫描结果可定量的判断食用油的质量。研究发现:该方法的最低检测限可达食用油中勾兑比率为3.0%劣质油,勾兑比率大于5.0%的劣质油可准确测定出来。将上述方法分别应用于实际样品的检测,总准确率达到97%。因此,这种方法非常适用于市场的快速监督检验和基层的推广应用。

关键词:劣质油,纳米金,可视化检测

A rapid colorimetric method for the quality determination of cooking oils

ZHANG Ming-run¹, BAI Rui-ying², WANG Hong¹, XU Zhen-lin¹, LEI Hong-tao¹, SHEN Yu-dong¹,
SUN Yuan-ming¹, ZENG Dao-ping³, ZHANG Yan⁴, YANG Jin-yi^{1,*}

(1.Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment in Agricultural Products Preservation Ministry of Agriculture, Guangdong Provincial Key Laboratory of Food Quality and Safety, College of Food Science, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China;
2.Department of Physiology and Neurobiology, Xinxiang Medical University, Xinxiang 453003, China;
3.Guangzhou Wanlian Biological Technology Co., Ltd., Guangzhou 510000, China;
4.Guangdong Testing Institute for Product Quality Supervision, Shunde 528300, China)

Abstract: A rapid colorimetric method for the quality determination of cooking oils was established on the basis of a synthesized nano gold probe which was modified by poly(diallyl dimethylammonium) chloride(PDDA) and cricoid dextrin (α , β , γ , or mixed) at the same time. When the solution of nano gold prboe was mixed with illegal cooking oil at the same volume, a selective non-covalent interaction was observed between the probe solution and the free fatty acid, hydrogen peroxide, aldehyde, ketone and other impurities in the inferior oil, which incured nano gold probe transfer from water phase to the upper oil phase and led to a color change. The degree of color change was proportional to the content of inferior oil, the oil quality could be qualitatively detected through color change and stratified situation and quantitatively detected according to the wavelength of 630 nm in UV-visible absorption spectrum. The results showed that qualified cooking oil mixed with 3.0% of the illegal cooking oil could be detected, and more than 5.0% of the illegal cooking oil could be detected accurately by naked-eye. The methods indicated that the accurate rates were 97% when applied in blind test samples. This work would be helpful for the rapid and on-site detection of illegal cooking oils.

Key words: illegal cooking oil; gold nanoparticles; colorimetric detection

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)22-0067-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.22.005

收稿日期: 2015-04-07

作者简介: 张铭润(1988-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: 1073993438@qq.com。

* 通讯作者: 杨金易(1979-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: yjy361@163.com。

基金项目: 广州市珠江科技新星专项(2013J2200080); 国家星火计划项目(2012GA780001, 2013GA780035); 广东省自然科学基金项目(S2013030013338); NSFC-广东联合基金项目(U1301214); 国家科技支持计划课题(2012BAD31B0302); 广东省科技计划项目(2012A020100002); 广州市科技计划项目(2014J4200015)。

劣质油是生活中人们对各种滴水油、泔水油和餐桌回收油等各类劣质油脂的总称^[1-2]。近年来,不法分子以劣质油冒充食用油进行销售的事件屡有发生;人们若是长期食用这类劣质油将会对人体健康产生严重的危害^[3]。目前国内对劣质油质量检测研究的热点集中在油脂的酸价^[4]、水分含量^[5]、过氧化值和羰基价^[6]、电导率^[7]以及挥发性成分的分析上。常用检测技术包括感官检验、理化检验^[8]、光谱法^[9-10]、色谱法^[11-12]等。但是这些检测方法存在适用性不强,检测灵敏度不高,耗时长等缺点^[13]。由于劣质食用油的成分繁杂,难于分辨,给检测技术提出了难题,因此建立一种劣质油的快速检测方法刻不容缓^[14]。

近年来,基于纳米粒子的可视化检测技术具有快捷简便、结果直观、样品用量少、灵敏度高、成本低等优点,在食品安全检测领域内应用广泛。本文利用纳米金颗粒表面的功能化基团与检测的目标来引起纳米金聚集,并在产生比色响应的基础上建立一种快速检测食用油质量的方法,以期在生产应用提供一定基础。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

聚二烯丙基二甲基氯化铵(PDDA)($M=100000\sim 200000$,水溶液中质量分数20%) 美国Sigma Aldrich公司;三羟甲基氨基甲烷(Tris)、氯金酸($\text{HAuCl}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$)(优级纯) 国药集团化学试剂有限公司; β -环状糊精、NaOH、HCl(分析纯) 广州化工厂;劣质油样品 广东省中山市农产品质量监督检验所查处的不合格油样;合格食用油样品 市购。

GC-2014气相色谱质谱仪 日本岛津;Ultraspac 4000紫外/可见吸收光谱仪 英国Pharmacia Biotech公司;Sartorius PB-10酸度计 Sartorius北京分公司;JEM-2100HR透射电子显微镜 日本电子(JEOL);MFI-A10超纯水设备 美国Millipore公司;KQ218超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 显色体系的建立

1.2.1.1 纳米金探针溶液的制备 首先,所有玻璃仪器用王水浸泡除去玻璃容器中残留的还原性物质。准确称取0.02 g $\text{HAuCl}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 加入到250 mL圆底烧瓶中,然后向烧瓶中加入160 mL水,将1 mL聚二烯丙基二甲基氯化铵(PDDA)和1 g环状糊精(α 或 β 或 γ ,或混合)加入到圆底烧瓶中,加入800 μL 2.5 mol/L的氢氧化钠将溶液调制pH为9.0,然后在加热混匀搅拌器中(T 为400 $^{\circ}\text{C}$)进行加热搅拌至溶液变为酒红色,温度降200 $^{\circ}\text{C}$ 继续加热4 min,停止加热冷却到室温后,与等体积0.1 mol/L的Tris溶液在混匀搅拌器中充分混匀,得到酒红色溶液即为用聚二烯丙基二甲基氯化铵(PDDA)和环状糊精修饰表面形成的阳离子的纳米金复合探针溶液(pH9.0);4 $^{\circ}\text{C}$ 低温、密封、避光保存备用^[15]。

1.2.1.2 纳米金探针溶液的表征 取5 mL 1.2.1.1配制好的纳米金粒子于密封棕色玻璃小瓶中;放入超声波清洗器(220 V,100 W)中超声分散处理5 min,

然后取20 μL 滴在铜网上在室温下自然干燥,利用JEM-2100HR透射电子显微镜(TEM)观察纳米粒子的形貌、组成结构、纳米金颗粒的大小并捕捉颗粒数至少为50个的图像,利用Digizer软件对捕捉到图像的颗粒粒径大小进行测量,求平均值。

1.2.1.3 考察pH对显色体系的影响 分别添加100、200、400、800、1000、1200 μL 的2.5 mol/L的氢氧化钠溶液,使纳米金探针的pH在5~12,观察放置1 d的纳米金探针溶液检测匀兑了5%的劣质油的检测灵敏度。选择检测灵敏度最高,即分层效果明显,纳米金探针溶液的紫外光谱 $A_{630\text{nm}}$ 值最低,结果最易判断时对应的pH为溶液的最佳pH。

1.2.1.4 显色体系稳定性的确定 在4 $^{\circ}\text{C}$ 低温、密封、避光保存条件下,将pH为9的纳米金探针溶液分别放置3、7、15、30、60 d;a.观察不同保存时间里显色剂是否有分层现象,紫外光谱扫描不同保存期的纳米金探针溶液在最大吸收峰时是否有变化;b.用不同放置时间的纳米金探针溶液对匀兑5%的劣质油进行检测,对比不同保存时期的纳米金探针溶液的检测灵敏度效果,观察纳米金探针溶液的日间重复性是否良好,性质是否稳定。

1.2.2 检测方法的建立

1.2.2.1 纳米金探针用量的确定 比较pH为9、放置1 d的纳米金探针溶液与匀兑5%的劣质油样品的混合体积比为5:1、4:1、3:1、2:1、1:1、1:2、1:3、1:4、1:5,分别徒手上下摇动20下后静置3 min,选择灵敏度最高,即分层效果明显,纳米金探针溶液的紫外光谱 $A_{630\text{nm}}$ 值最低,结果最易判断时的体积比为纳米金探针的最佳用量。

1.2.2.2 劣质油和纳米金探针混匀频率的确定 用pH为9,放置1 d的纳米金探针溶液与5%的劣质油样品1:1体积混合,对比徒手上下摇动5、10、15、20、50下后静置3 min,观察混合溶液的两相分层情况和显色情况。选出分层效果明显,纳米金探针溶液的紫外光谱 $A_{630\text{nm}}$ 值最低,结果最易判断时的频率为徒手摇匀的最佳频率。

1.2.2.3 最佳显色时间确定 pH为9、放置1 d的纳米金探针溶液与5%的劣质油样品1:1体积混合,徒手上下摇动20下后分别静置0.5、1、3、5、15、30、60 min,对比不同静置时间时两相分层和显色变化情况,得出两相分层稳定和显色效果最佳的静置显色时间。

1.2.2.4 劣质油的可视化检测方法的建立 食用油与pH为9、放置1 d的纳米金探针溶液使用之前平衡到室温(25 $^{\circ}\text{C}$)后用移液器将1 mL的不同匀兑比率的食用油移到2 mL的离心管中,将pH为9的纳米金复合探针溶液和不同匀兑比率的劣质油等体积加入透明玻璃试管或透明离心管中,并徒手摇动20下将两者混匀。之后,将混匀后的离心管倒置于桌面,静置3 min后肉眼观察,参照标准样,对样品定性定量检测。每次实验都要进行对照实验。如果样品实验时存在以下3种情况之一者可判定为阳性:1)下层纳米试剂颜色比对照管中的纳米试剂颜色变浅,由酒红色至浅白色;2)上层与原标准对照样品相比有明显的红色絮状物;3)下层纳米试剂的高度比

对照管中的纳米试剂高度变低。当两相分层处于稳定后,用紫外-可见吸收光谱中630 nm处特征峰的吸光度测定值替代肉眼可对地沟油的勾兑比率进行相对更准确的定量计算;空白平行实验以所有合格油样品为空白对照进行吸光度测定,并重复5次,将其标准偏差的3倍作为本方法的最低检测限;以不同勾兑比率的劣质油(%) (从左至右地沟油含量逐渐增加) 为横坐标,紫外光谱在 $A_{630\text{ nm}}$ 处的吸光值为纵坐标,建立食用油质量的定量检测方法的标准曲线。

1.2.3 方法准确性分析和实际样品的检测 用研究建立的可视化快速检测方法分别对监督检测机构查处的包括酸价、过氧化值、以及游离脂肪酸和小分子醛酮等指标不合格的劣质油样品和在市场上自行购买正常合格食用油进行检测,再利用气相色谱(GC)法进行确证,对比分析两种方法的相关性,验证建立的快速检测方法的准确性。用气相色谱(GC)验证法的检测条件为:DB-1701石英毛细管柱(15 m×0.32 mm×1 μm);进样口230 $^{\circ}\text{C}$;检测器(DFID)250 $^{\circ}\text{C}$;柱温40 $^{\circ}\text{C}$ 保持2 min,以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至80 $^{\circ}\text{C}$,保持4 min;载气:氮气;流量1.5 mL/min;不分流进样。

2 结果与讨论

2.1 显色体系的筛选鉴定

2.1.1 纳米金修饰剂的选择和修饰后的纳米金探针的鉴定 PDDA和环状糊精修饰于纳米金表面时可能形成了新的C=C键及C=N键,纳米金探针溶液的灵敏度与纳米金表面PDDA、环状糊精配体及制备的纳米金颗粒的粒径有关^[6]。本研究制备的纳米金探针为圆形颗粒在H7100电镜图上捕捉到标尺为20 nm时纳米金粒子的透射电镜图(在125 kV的条件下运行的结果)如图1,利用Digizer软件对捕捉到的图像的颗粒粒径大小进行测量测得粒径为25 nm。

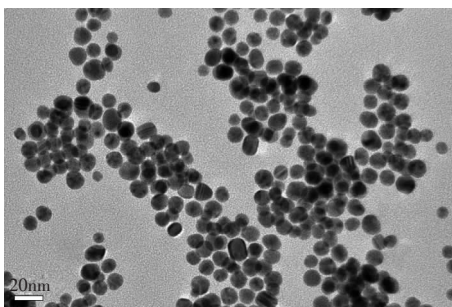


图1 纳米探针的透射电镜(TME)图

Fig.1 TEM images of nano gold prboe solution

2.1.2 考察pH的影响效果 不同pH时纳米金探针对于勾兑5%的劣质油检测灵敏度的研究结果图2可得,在pH小于8时纳米金探针对于勾兑5%的劣质油检测效果不佳,表现为两相间分层效果不明显,在pH大于8的弱碱性条件下,纳米金探针即有较好的检测效果。综合考虑选取pH9.0时对应的800 μL 2.5 mol/L的氢氧化钠溶液作为最佳调节pH用量。

2.1.3 显色体系稳定性的确定 pH9.0的纳米金探针溶液,在4 $^{\circ}\text{C}$ 低温、避光保存不同的时间(3、7、15、30、60 d)后观察显色剂是否有分层现象,在不同保

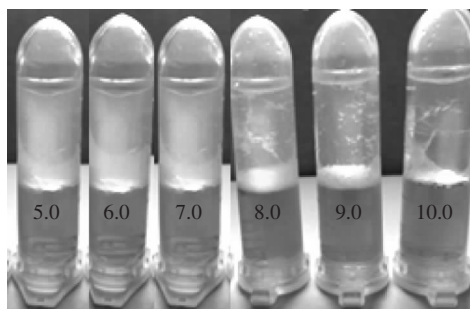


图2 不同pH对纳米金探针检测灵敏度的影响

Fig.2 The effect of pH on the sensitivity of nano gold prboe solution

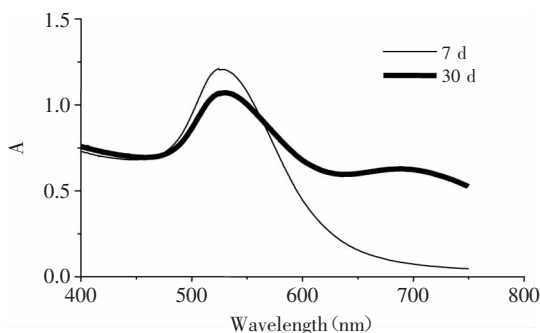


图3 紫外光谱扫描不同保存期的纳米金探针溶液

Fig.3 UV-vis absorption spectra of nano gold prboe solution in different save times



图4 不同保存时间的纳米金探针对于勾兑5%的劣质油检测灵敏度

Fig.4 The sensitivity of nano gold prboe solution in different save times

存日期检验纳米金探针对于勾兑5%的劣质油检测效果,结果如图3。3、7、15 d的分层情况及吸光值相同,30、60 d的分层情况及吸光值相同,所以仅列出了7 d和30 d的结果。紫外光谱扫描不同保存期的纳米金探针溶液;图4为不同保存时间的纳米金探针对于勾兑5%的劣质油检测灵敏度的影响,以未加劣质油时的纳米金探针溶液为参比。

由图3可得,在30 d内纳米金探针溶液对劣质油的检测日间重复性良好,性质稳定。用紫外光谱全波长扫描结果可得:保存超过30 d后,520 nm特征波长处的吸光值减小,说明纳米金聚集,稳定性降低,表现为纳米金探针底部有浊物出现;由图4可得保存超过30 d后检测效果降低,两相分层不明显。

2.2 劣质油的可视化检测方法的标准曲线的建立

2.2.1 纳米金探针用量的确定 纳米金探针溶液与

食用油样品不同混合体积比时的显色效果如图5所示,结果表明纳米金探针溶液体积与劣质油的体积比为1:1时,两相混合反应充分,分层较明显,结果易于判断,检测效果最佳。

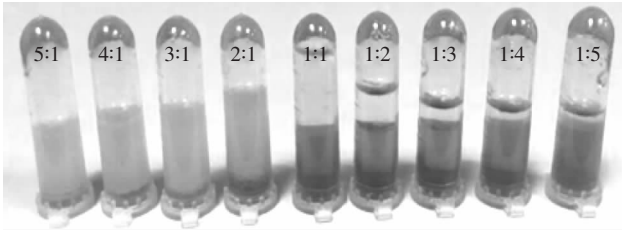


图5 纳米金探针用量的确定

Fig.5 Optimization of dosage of nano gold probe solution

2.2.2 纳米金探针溶液与劣质油混匀振荡频率的确定 对比不同摇动频率下的混匀效果,结果发现:徒手上下摇匀20下左右使两者混匀充分,且两相分层现象明显。少于20下两相反应不完全,超过20下则两相分层困难。因此,选择徒手上下摇匀20下为混匀振荡频率。

2.2.3 最佳显色时间的确定 对比不同静置时间时两相分层和显色变化情况,得出两相分层稳定和显色效果最佳的静置显色时间。结果可得,静置低于3 min时两相分层不明显,静置超过3 min时溶液分层明显,稳定不变,所以选择3 min作为判定显色时间。

2.2.4 灵敏度的确定和标准曲线的建立 图6为肉眼观测纳米金探针检测劣质金龙鱼使用调和油和勾兑不同比率地沟油的结果;图7为对应的紫外光谱630 nm

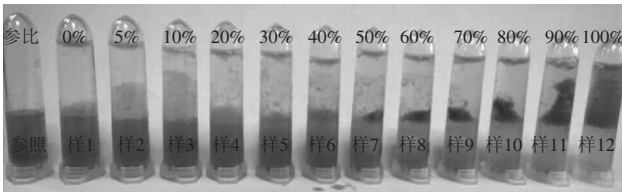


图6 肉眼观测纳米金探针溶液检测不同勾兑比率的劣质油

Fig.6 The sensitivity of nano gold probe solution to illegal cooking oils could be detected accurately by naked-eye

注:从左至右地沟油含量逐渐增加。

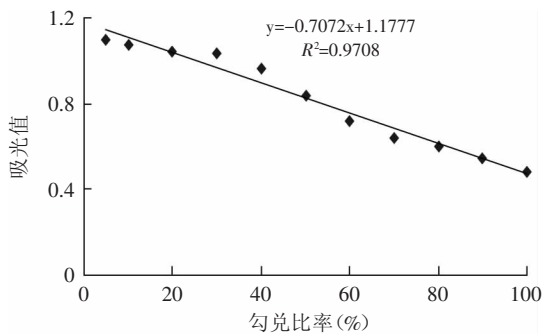


图7 紫外可见光谱在630 nm处扫描纳米金探针溶液检测不同勾兑比率的劣质油的结果。

Fig.7 UV-vis absorption spectra at 630 nm of nano gold probe solution in the presence of different blending ratio of illegal cooking oils

处的扫描结果所得的定量检测标准曲线。

从上述实验结果可知,图6展示了静置3 min后用肉眼判断的结果为从左到右,随着勾兑的劣质油的比率增加,下层纳米试剂颜色比对照管中的纳米金探针溶液颜色变浅,由酒红色至浅白色,且上层与原标准对照样品相比有明显的红色絮状物;随着勾兑的劣质油的比率增加,上层油样中的红色絮状物越来越多;图7表明静置10 min左右,两相分层处于稳定后,用紫外吸收分光光度计检测水层(下层)溶液在630 nm处的吸光值替代肉眼可对地沟油的勾兑比率进行相对更准确的定量计算并建立标准曲线,空白平行实验所有合格油样品为空白对照进行吸光度测定,并重复5次,将其标准偏差的3倍作为本方法的最低检测限;实验结果表明,可检测到合格食用油中掺入3.0%的劣质油含量,大于5.0%的掺入量可准确测定出来。研究表明纳米金探针可有效地区别合格食用油与劣质油。

2.3 方法准确性与可行性分析

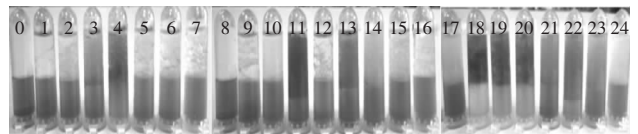


图8 纳米金探针溶液对实际样品的检测结果

Fig.8 The results of nano gold probe solution detection multi-target system test for real samples

注:0为对照纳米金探针溶液,1为大豆油,2为大豆油,3为过氧化值高的调和油,4为酸价高的大豆油,5为大豆油,6为大豆油,7为大豆油,8为参比(未加劣质油时的纳米金探针溶液),9为玉米油,10为橄榄油,11为初榨芝麻油,12为菜籽油,13为花生油,14为调和油,15为玉米油,16为茶油,17为大豆油,18为高过氧化值的大豆油,19为高过氧化值的大豆油,20为高过氧化值的大豆油,21为超市购买的特级初榨橄榄油,22为胡姬花生油,23为高酸价的金龙鱼食用调和油,24为合格的金龙鱼食用调和油。

表1 气相色谱(GC)法多指标检测体系对24个油样的检测结果(n=5)

Table 1 The results of GC detection multi-target system test for 24 sample (n=5)

油品	比色法	GC	准确率(%)	油品	比色法	GC	准确率(%)
1	-	-	97	13	-	-	97
2	-	-	97	14	-	-	97
3	+	+	97	15	-	-	97
4	+	+	97	16	-	-	97
5	-	-	97	17	-	-	97
6	-	-	97	18	+	+	97
7	-	-	97	19	+	+	97
8	-	-	97	20	+	+	97
9	-	-	97	21	-	-	97
10	-	-	97	22	-	-	97
11	+	+	97	23	+	+	97
12	-	-	97	24	-	-	97

注:“+”为掺杂劣质油的阳性油样,“-”为没有掺杂劣质油的阴性油样。

(下转第80页)

- [15] 黄纪念, 宋国辉, 孙强, 等. HPLC测定芝麻油中木脂素类化合物含量研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(1): 120-123.
- [16] 黄诚, 傅伟昌, 黄群, 等. 复合抗氧化剂对葵花籽油贮存期的影响[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(2): 79-83.
- [17] 徐雅琴, 于泽源, 任华锋. 红树莓叶片中黄酮类物质提取及抗氧化性的研究[J]. 中国油脂, 2003, 28(5): 69-72.
- [18] Fukuda Y, Nagata M, Osawa T, et al. Chemical aspects of the antioxidative activity of roasted sesame seed oil and the effect of using the oil for frying[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1986, 50(4): 857-862.
- [19] 蔡新华, 钱小君. 油脂抗氧化剂的研究进展[J]. 粮食与食

- 品工业, 2013, 20(4): 33-36.
- [20] 王丰玲, 张英锋, 马子川. 芝麻中抗氧化物质的研究进展[J]. 化学世界, 2008, 127: 761-762.
- [21] Kuda Y, Nagata M, Osawa T, et al. Contribution of lignan analogues to antioxidative activity of refined unroasted sesame seed oil[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1986, 63(8): 1027-1030.
- [22] Huang Ji-nian, Song Guo-hui, Zhang Li-xia, et al. A novel conversion of sesamol to sesaminol by acidic cation exchange resin[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2012, 114(7): 842-848.

(上接第70页)

如图8为利用实验建立的纳米金可视化检测法检测实际样品的检测结果, 表1为利用气相色谱(GC)法进行确证实验结果。

图8展示了纳米金可视化检测不同质量的食用油的检测效果, 以空白纳米金溶液为对照, 并且以市售优质金龙鱼使用调和油为相对标准(图8样1)标定劣质油含量。3号、4号、11号、18号、19号、20号及23号样品上层与原标准对照样品相比有明显的红色絮状物; 其他样品下层水相颜色仍接近空白样的酒红色, 上层与原标准对照样品相比无明显的红色絮状物, 分层也较好, 为合格食用油; 样品的检测结果与气相色谱(GC)法检测结果(如表1)相符。将上述可视化方法分别应用于样品的盲测, 结果显示, 总准确率达97%。上述结果表明, 这些实验值与理论值吻合得很好, 且灵敏度较高, 检测时间较短。

将可视化方法应用于油品盲样检测的过程中, 还发现, 对于11、21和22号等初榨油会导致假阳性的误判, 从而使准确率无法达到100%。其主要原因是为保留这些油的香味, 传统工艺对于机械压榨后的浸出油不会再进行精炼, 从而导致其中含有较多杂质, 易将其误判为劣质油, 导致假阳性结果。但是因为本研究结合紫外可见光谱法使得初榨型食用油可准确识别与检测, 作为可视化方法的补充, 可确保正常初榨型食用油不出现假阳性结果。对于同样初榨烹调油, 会对浸出油再进行进一步精炼, 因此相较于初榨油, 其仅含有相对少量杂质, 一般不会导致假阳性结果。

3 结论

该研究不是针对单一指标进行单独检测, 而是以正常食用油中脂肪酸甘油酯分子以外的酸价过高、过氧化值过高、含有极性物质(丙稀酰胺、多环芳烃、醛基等)、重金属超标等指标进行综合统计性检测分析, 以期达到对油中杂质成分的全面检测; 通过观察颜色的变化程度及两相分层时间即可对食用油的品质定性检测, 结合紫外可见吸收光谱仪, 将定性半定量检测逐渐转化为精确的定量分析, 从而将为纳米金比色法快速检测提供更广阔的应用前景, 可满足现场快速检测大批量样品的需求。

随着纳米技术的快速发展, 纳米金探针技术在食品检测领域中已经发挥着重大作用, 并为食品危害因子的快速准确检测开辟出全新的方法和思路, 有力地推动着食品检测技术的快速发展。

参考文献

- [1] 黄韬睿. 地沟油鉴别检测技术研究现状[J]. 四川烹饪高等专科学校学报, 2010(4): 21-23.
- [2] 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, 2008, 26(4): 1-4.
- [3] 余擎宇, 何若滢. 地沟油对人体健康的危害[J]. 粮油食品科技, 2011, 19(4): 36-37.
- [4] 潘剑宇, 尹平河, 余汉豪, 等. 泔水油、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.
- [5] 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.
- [6] 食品掺伪检验技术[M]. 化学工业出版社, 2007.
- [7] 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, 2008, 28(11): 482-484.
- [8] 徐中海, 柳一鸣, 刘劲钢, 等. 泔水油的4项理化指标分析[J]. 中国公共卫生, 2002, 18(5): 613-613.
- [9] 王耀, 尹平河, 梁芳慧, 等. 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.
- [10] 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.
- [11] 刘珉恺. 一种电容式地沟油快速检测方法[P]. 2011-04-27.
- [12] 张咏, 李莹, 蔡春明. 离子色谱法鉴别地沟油的应用研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(1): 107-110.
- [13] 张璇, 余汉豪, 单习章, 等. 餐饮业废油脂有害成分及特征指标研究[J]. 广州环境科学, 2005, 19(4): 29-31.
- [14] 刘李婷, 葛武鹏, 陈璞, 等. 地沟油不同检测技术研究进展[J]. 农产品加工·学刊, 2012(9): 97-100.
- [15] Chen H, Wang Y, Wang Y, et al. One-step preparation and characterization of PDDA-protected gold nanoparticles[J]. Polymer, 2006, 47(2): 763-766.
- [16] 袁龙飞, 周影, 何芄, 等. 基于相转移技术的劣质食用油快速可视化检测方法[J]. 中国科学: 化学, 2013(7): 11.