

粮油及其制品中矿物油的检测方法

刘文静, 张东杰, 阮长青

(黑龙江八一农垦大学食品科学学院, 黑龙江大庆 163319)

摘要: 介绍了矿物油的来源、理化性质和危害, 综述了目前国内外检测的感官分析法、物理分析法、化学分析法、色谱法以及色谱-质谱联用技术等, 评价了各自的优缺点, 展望了检测方法的发展趋势, 以期对粮油检测相关技术的研究提供有益的参考。

关键词: 粮油; 矿物油; 检测

Detection methods of mineral oil in cereals, oil and its products

LIU Wen-jing, ZHANG Dong-jie, RUAN Chang-qing

(College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, 163319 Heilongjiang, China)

Abstract: The sources of the mineral oil, the physical and chemical properties, and hazards were described. The current domestic and international detection methods, including sensory analysis, physical analysis, chemical analysis, chromatography and chromatography-mass spectrometry technology, were reviewed, and their advantages and disadvantages were evaluated. The development trend of detection method was prospected, in order to provide useful references to the research of the related technology of detecting oils.

Key words: cereal and oil; mineral oil; detection

中图分类号: TS227

文献标识码: A

文章编号: 1008-9578(2017)01-0097-04

粮油及其制品的数量和营养满足消费者需求的同时, 消费者对产品的颜色、风味、适口性等感官品质的要求也不断增加。然而, 一些不法分子利用消费者的这种心理, 在粮油及其制品中添加矿物油、劣质油等非法添加物^[1], 使粮油有较好的感官性状, 延长其保鲜时间, 从而冒充优质粮油并以较高的价格出售。近年来, 矿物油在粮油及其制品中的违法添加现象不断被曝光。“毒大米”、“毒瓜子”、“毒饼干”、“食用油掺假”等掺入矿物油而引起的食品安全事件, 对人民的身心健康造成了严重伤害。研究者不断完善粮油及其制品中掺有矿物油的检测技术, 但仍存在部分检测对象及目标物尚无检测标准及方法, 以及现有方法的前处理技术不完善等问题^[2-3]。本文在介绍矿物油基本特性的基础上, 综述粮油及其制品中矿物油检测的物理、化学分析及仪器分析的方法。

1 矿物油的来源及性质

矿物油是一种重要的石油化工产品, 又称白油、石蜡油、白色油等^[4], 是原油经过一系列化学转化而形成的烃类物质, 常用的有工业级、化妆品级、医用级和食品级。碳原子数主要集中在 $C_{10} \sim C_{50}$, 可分为烷基多环的芳香烃矿物油(MOAH)和直链或支链和烷基取代的环状饱和烷烃矿物油(MOSH)^[5-6]。工业级的矿物油含有15%~35%的芳香烃, 而食品级矿物油(液体石蜡)中几乎全是环状饱和烷烃矿物油^[5]。

1.1 食品中矿物油的来源

食品中的矿物油主要来源于3个方面: 第一, 来源于GB 4853—2008《食品级白油》中食品工业的食品级白油, 主要用于食品上光、脱膜、消泡和水果、蔬菜、禽蛋的保鲜以及作为食品机械、手术器械的防锈剂、润滑剂、谷物储存的防尘剂、食品级塑料、树脂增

塑剂等; 第二, 不法商贩为了盈利, 降低成本, 在粮油及其制品中加入廉价的工业级矿物油, 如掺入植物油中以及用于陈化米的涂膜等, 达到增加亮度和光泽的目的。由于价格原因, 粮油食品中违法添加的油均为工业级矿物油; 第三, 粮油加工生产过程中, 机器的密封性差, 其中的机油、润滑油等矿物油物质进入到食用油生产线中, 使其混入成品油中^[7-8]。

1.2 理化性质及其毒性

矿物油为无色半透明油状的液体, 沸点为300~350℃, 其含有重金属、苯并芘、长碳链烷等, 易燃并且黏度很高, 密度小于水且不溶于水和乙醇, 溶于挥发油, 混溶于多数挥发性油, 在冷的条件下无臭、无味, 遇热时略有石油样的气味, 对光、热和酸等条件稳定, 但如果长时间接触光和热会被慢慢氧化^[9]。

GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中规定了食品级白油(液体石蜡)可用于除胶基糖果以外的其他糖果、鲜蛋, 最大使用量为5.0 g/kg。矿物油中的长链烷烃、重金属和芳香烃等包含着许多对生物体造成危害的有毒物质, 这些成分可以通过食物链最终危及到人类的健康和安全^[10]。矿物油在人体肠道内不被吸收、消化^[11]。大量摄入矿物油可致便软、腹泻; 长期摄入可导致消化系统障碍, 使人产生恶心、呕吐等症状, 引发突发性食物中毒, 严重者可导致昏迷; 还会破坏人体的呼吸系统, 导致呼吸功能衰竭; 也会引起人体发生皮肤过敏发炎的现象^[12]; 矿物油会将人体内脂溶性维生素全部带出, 影响脂溶性维生素A、D、E、K和钙、磷等的吸收, 引起人类的畸形、癌症等一系列病变, 对人体极其有害^[13]。

2 矿物油的检测方法

粮油及其制品中掺入矿物油物质检测的定性及

收稿日期: 2016-07-20

基金项目: 黑龙江省高校“农产品加工与质量安全”科技创新团队项目(2014TD006); 黑龙江八一农垦大学博士科研启动项目

作者简介: 刘文静(1992—), 女, 在读硕士, 研究方向为食品营养与安全。

通信作者: 阮长青(1968—), 男, 教授, 博士, 硕士研究生导师, 研究方向为食品营养与安全。

定量方法,包括感官分析法、物理法(荧光法等)、化学法(皂化法、二次皂化法等)和色谱法(薄层色谱法、气相色谱法、气相色谱-质谱联用法等)。

2.1 感官分析法

食用级白油在食品加工中有上光、防黏、消泡、抛光以及密封等作用。鉴别粮油中是否含有工业级矿物油,可以通过感官分析方法快速辨别^[14-15]。一看色泽,如果食用油脂掺入矿物油,其颜色比纯油脂的颜色深;对于粮食类掺入矿物油,则看上去透明白净,色泽非常好,少数会有龟裂纹。二搓,针对粮食类,可以抓一把在手中,搓一下,会感觉到手比较滑。三闻,掺入矿物油的粮油没有香味或者可以闻到特有的汽油味或接近凡士林的油味,而原有的粮油香味会很淡。饼干的感官分析中主要就是通过闻气味的方法来鉴别是否含有矿物油。四泡,可以将谷物类,如大米放于60~70℃热水中,稍等片刻会看到水面上出现油花。

感官检验快速、方便,但易受人的主观因素影响,如果粮油及制品中掺入的矿物油含量较低则不能准确判断,且此方法对检测者的感官分析能力要求较高,仅能定性分析而难以定量,不能确定其最低检测限。该方法可以作为辅助检测方法之一,但不具有普遍性。

2.2 物理分析法

由于工业级矿物油中含有一定量的芳香烃类化合物,其中多数具有荧光物质的结构特征,在紫外光作用下,释放出荧光发射光谱,而植物油中的甘油酯类分子不具有此特征。利用矿物油在荧光灯照射下出现天青色荧光而植物油类没有荧光的反应特性检测矿物油,可用于植物油中掺入工业级矿物油的鉴别^[16-17]。操作时将样品中脂类物质用石油醚或者乙醚进行提取,挥去溶剂后,将脂类物质点在滤纸上,用紫外灯观察斑点是否有天青色荧光,没有荧光的为阴性,反之,有荧光出现的为阳性^[18]。

荧光法应用于检测油脂中含量较高的矿物油,只适用于纯油脂,操作简单,易在线检测,不需仪器、萃取剂即可快速检测,成本低,是鉴别矿物油较灵敏的方法之一。此方法中,样品与光学元件无直接接触,故不存在元件清洗问题。但最低检测限较高,不能确定其检测限。因液体石蜡无荧光特征,仅作为辅助检测方法判定结果^[19]。

2.3 化学分析及仪器分析法

2.3.1 前处理方法

由于掺入矿物油的样品种类、测量仪器以及检测方法的不同,前处理方法也不同。一般皂化法^[19]预处理是加入乙醚或石油醚作溶剂浸提样品,振摇、提取、过滤、水浴挥干溶剂。薄层色谱法前处理是样品经滤纸包裹置于索氏抽提器中,用石油醚提取,挥干溶剂即可。GB/T 21309—2007《涂渍油脂或石蜡大米检验》中的气相色谱分析法是样品经滤纸包裹置于索氏抽提器中,加石油醚回流提取后用正己烷溶解石油醚并移至比色管中,加氢氧化钾-甲醇溶液和水,待上层溶液透明后,加无水硫酸钠进行脱水。气相-质谱联用方法^[20]是在样品中加入正己烷,超声萃取后浸提,离心取上清液,经旋转蒸发后用正己烷定容,检测前需用无水硫酸钠脱水。

2.3.2 测定方法

利用化学及仪器对粮油中各种矿物油分析的方法有荧光法、皂化法、红外光谱法、薄层色谱法、气相色谱法、气相色谱-质谱联用等,其检测对象、测定原理、检测条件及方法的评价见表1。

(1) 皂化法

植物油的甘油酯是高级脂肪酸在碱性条件下(KOH)发生皂化反应,生成脂肪酸钾和甘油水溶性物质且溶液透明;而矿物油不能皂化且不溶于水,溶液混浊,有油珠析出,可根据是否出现浑浊现象判断油脂中是否含有矿物油。GB/T 5539—2008《粮油检验 油脂定性试验》中采用皂化法检测矿物油,在矿物油中加入氢氧化钾和无水乙醇,回流煮沸并摇动,直至皂化完全后加沸水,摇匀,如出现明显浑浊或有油状物析出,则有矿物油的存在。

该方法适用于植物油及含油成分的瓜子、饼干和多种样品的测定,适合在试验室操作,成本较低,仪器简单。但操作复杂,最低检出限为0.5% (油脂)^[32],灵敏度较低且易产生假阳性,尤其食用油脂中1%~3%的组分不能被皂化,主要是蜡质、脂溶性维生素(维生素A、D、E、K等)和甾醇,这些不皂化物能引起假阳性的误判,难以满足检测人员对粮油生产和销售管理的需要。

皂化法中用乙醚代替石油醚作为提取剂,有效防止皂化结果判定时阴性样品的浑浊现象,检出限为25 mg/100g^[33]。采用二次皂化法检测样品,克服了一次皂化不完全、费时、费力等缺陷,使结果更易判断、更加准确^[34]。

(2) 红外光谱法

红外光谱法在油脂快速分析领域中广泛应用^[35]。其原理^[36]是分子振动能级(且伴随转动能级)的跃迁,当分子振动伴随偶极矩改变时,分子内部电荷发生变化会产生交变电场,当频率等于入射辐射电磁波频率时会产生红外吸收。它记录分子中单个化学键的基频振动的倍频与合频信息。植物油为脂类物质,矿物油为直链饱和烃类物质,在红外光谱上C-H键有较强的伸缩振动峰,利用这些吸收峰的强度可测定矿物油。该方法^[37]在植物油掺假检测方面,无需前处理,操作简单,对样品无破坏,分析速度快,成本低且分析过程中无污染产生。但其灵敏度低,不适合痕量分析且不适用于食品中矿物油的定量分析,因为食品本身含有矿物油的一些饱和烷烃、聚烯烃低聚饱和烃(POSH)等。从红外光谱上看,这些烷烃与矿物油的吸收峰位置相同,对矿物油定量分析产生干扰。利用红外光谱对含有矿物油的大米进行定性鉴别,此方法具有用量小,准确度高等特点,适用于对大米、瓜子、饼干和食用油中是否掺加工业矿物油的鉴定^[23]。

(3) 薄层色谱法

薄层色谱法的原理是利用被测混合物中各组分对同一吸附剂吸附能力的不同,使溶剂(流动相)流过吸附剂(固定相)而产生的吸附、解吸附、再吸附、再解吸附一系列过程,从而达到各组分的互相分离^[38]。根据粮油中的矿物油在紫外光作用下释放出荧光谱线的波长及强度,可以进行定性和定量分析^[39]。该方法灵敏度高,可将矿物油检测限降低到0.2% (油脂),

表1 粮油中矿物油各试验方法的检测条件

方法	样品	原理	检测条件	检出限	RSD/%	回收率/%	文献
荧光法	大米、瓜子、饼干、水	矿物油在荧光灯下有青色荧光出现	最大激发/发射波长: 270/290 nm (煤油); 240/344 nm (0#柴油); 240/348 nm 润滑油	0.46 mg/L (煤油); 0.13 mg/L (0#柴油); 0.08 mg/L (润滑油)	-	-	[21]
皂化法	食用油、大米、瓜子、饼干等。	食用油与碱皂化产物溶于热水; 矿物油无此反应, 溶液混浊。	皂化(60% KOH 溶液; 50% 乙醇)后, 根据皂化值范围定性	10 mg/mL (油脂); 25 mg/100g (大米); 0.5% (食用油脂)	-	91.2~98.5 (大米); 86~92 (瓜子); 81~86 (饼干)	[18, 22]
红外光谱	大米、饼干、瓜子和食用油、米线	矿物油是直链饱和烃结构, 通过解析光谱吸收峰, 对物质进行鉴定	2 926 cm ⁻¹ 和 2 856 cm ⁻¹ 伸缩振动吸收(-CH ₃), 1 460 cm ⁻¹ 和 1 380 cm ⁻¹ 反对称和对称变角振动吸收(-CH ₃ 、-CH ₂), 722 cm ⁻¹ 平面摇摆振动吸收(-CH ₂)	-	-	-	[23-24]
薄层色谱	食用油、大米	利用硅胶、氧化铝等对矿物油中不同烃类吸附能力的差异而分离	展开剂(正己烷: 乙醚: 冰乙酸)的体积比为 80: 20: 2; 时间: 30~40 min; 检测波长 254 nm; 点样量 0.3 mL	0.2% (食用油); 4.4~8.23 10 mg/kg (大米)	-	98	[25-26]
气相色谱	食用油、植物油、食品包装纸、面包	利用物质的沸点、极性以及吸附性质的差异实现混合物分离	检测器 FID; 填充柱 1.55~2 m, 5~10% SE-30 固定液白色单体。气化室温度 180~230 °C; 检测器 190~240 °C; 柱温 150~200 °C; N ₂ 流速 40~60 mL/min	50~1 000 mg/kg (油脂); 50 mg/mL (油脂); <5 mg (包装纸); 1 mg (面包)	4.4~8.23 (油脂); 79.0~86.5 (包装纸); 3.29~5.77 (面包)	90 (油脂); 79.0~86.5 (包装纸); 90.4~105.1 (面包)	[27-29]
气质联用	油脂类、大米、西瓜子、粉条等	结合气相的分离能力和质谱的鉴定能力	石英毛细管柱 DB-5MS (30 m×0.25 mm×0.25 μm); 载气 He; 流速 1.0 mL/min; 质谱电离方式 EI, 70 eV; 色谱/质谱接口温度 280 °C; 离子源温度 230 °C; 四极杆温度 150 °C	3.5 mg/kg	2.7~6.4	90~117	[30-31]

除此之外, 还适用于大米, 大米中矿物油检出限为 10 mg/kg。该方法还具有简便快捷、专属性强、花费较小等特点。但硅胶薄层色谱法对于含有蜡酯的食用植物油检测有误判情况, 所以应根据样品的特性选择此方法。张林尚等^[40]利用氧化铝薄层色谱法检测含蜡食用植物油中的矿物油, 确定了薄层色谱法的最佳展开条件及矿物油的检出限(0.3%), 能将矿物油、甘三酯、蜡酯分开, 克服了硅胶色谱法的缺陷, 适用于大多数的食用植物油脂中的矿物油检测。

(4) 气相色谱法

气相色谱法是利用被测物质的挥发性或者沸点的不同使混合物分离的方法, 气相色谱法的谱图是按照矿物油的分子量或按照碳数由低到高的顺序出峰^[6], 利用 C₁₈ 或 C₂₀ (内标物) 或矿物油标准物质(外标物)进行定量测定。所采用的检测器为 FID (氢火焰离子化检测器), 它是与矿物油组分响应完全一致的检测器。但缺点为灵敏度和选择性较差, 检出限较高^[41]。因此, 研究者通过优化样品处理过程来克服此缺陷^[42]。在优化前处理及色谱条件下, 采用离线固相萃取-气相色谱火焰离子化检测器(SPE-GC-FID)方法检测面包中的矿物油, 检出限为 1.0 mg/kg, 定量限为 3 mg/kg, 且一定范围内线性良好($R^2=0.9991$)^[43]。SPE-GC-FID 方法具有样品用量少、节省溶剂、分析速度快、操作简单以及可批量检测等优点, 经过浓

缩后灵敏度也能满足检测要求^[44]。但试验条件较高, 适合于企业或条件较好的科研机构进行研究。

(5) 气相色谱-质谱法

气相色谱-质谱法结合了气相的分离能力和质谱的鉴定能力, 是一种准确的定量粮油及其制品中矿物油的检测方法, 能方便快捷地检测出粮油样品中是否含有烃类(直链烃、支链烃、环烷烃)等矿物油成分。回瑞华等^[45]采用气相色谱-质谱法进行鉴定, 检出限达到 0.5 μg/kg 时, 再用红外光谱对分离的矿物油进一步确认。相比其它方法, 该方法的灵敏度较高, 样品在前处理中损失较少, 检测结果准确, 回收率高。但是该方法测定成本相对较高, 时间耗费较大, 仪器的价格昂贵, 只有在某些试验条件较好的检测机构才可以进行。

4 结论与展望

粮油及其制品中矿物油的检测方法有各自的优缺点, 应根据样品的性质、结构特点等来选择合适的方法。目前, 食品中矿物油的检测多数局限于定性分析, 定量方法的研究较少。定性分析应结合 2 种及以上的方法, 以保证结果的准确性。定性分析成本低, 便于现场检测, 方便快捷, 但定性分析对于矿物油的确证缺少依据。定量分析能检测出矿物油的含量, 欧洲在食品中矿物油的研究较多, 但多数仪器昂贵, 如气-质联用分析方法。对皂化法而言, 由于食用油

脂中含有除矿物油以外的不皂化物,也能产生浑浊现象,产生假阳性结果,需寻求新的解决办法。此外,由于矿物油中会引入多环芳烃、铅、砷等杂质,通过粮油中杂质含量的测定,从而间接判别矿物油的存在也是未来研究的方向之一。

〔参考文献〕

- 〔1〕刘焱,谭贵良,董军,等.食用油脂鉴别技术研究进展[J].粮食与油脂,2015,28(4):5-7.
- 〔2〕陈平,陈绍光.粉丝中矿物油的快速检测方法[J].粮油食品科技,2007,15(2):37.
- 〔3〕彭元怀,肖新生,高利军.涂油大米中矿物油的定性分析[J].粮油加工,2009(6):83-85.
- 〔4〕孙兰,护国院,于桂兰,等.超声波皂化法测定食品中矿物油[J].中国卫生检验杂志,2002,12(4):431.
- 〔5〕CHAIN EPOCI. Scientific opinion on mineral oil hydrocarbons in food[J]. Efsa Journal, 2012, 10(6): 2704.
- 〔6〕武彦文,王颖,李冰宁,等.定量分析食品中的矿物油污染物[J].食品安全质量检测学报,2015(6):2145-2150.
- 〔7〕MARQUEZ-RUIZ G, HOLGADO F, GARCLA-MARTINEZ M C, et al. A direct and fast method to monitor lipid oxidation progress in model fatty acid methyl esters by high-performance size-exclusion chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 2007, 1165(1/2): 122-127.
- 〔8〕徐婷,吴时敏,李戈,等.润滑剂对食品质量与安全影响[J].粮食与油脂,2014,27(1):61-63.
- 〔9〕MILDNER-SZKUDLARZ S, JELEN H H. The potential of different techniques for volatile compounds analysis coupled with PCA for the detection of the adulteration of olive oil with hazelnut oil[J]. Food Chemistry, 2008, 110(3): 751-761.
- 〔10〕GURENIZ G, OZEN B. Detection of adulteration of extra-virgin olive oil by chemometric analysis of mid-infrared spectral data[J]. Food Chemistry, 2009, 116(2): 519-525.
- 〔11〕王亚琴,祝红昆,李军明,等.火锅底料中石蜡检测的样品前处理研究[J].现代仪器与医疗,2013,19(1):69-73-75.
- 〔12〕姚科伟,屠伟斌,贺玲敏,等.红外分光光度法测定工作场所空气中矿物油雾浓度[J].化学分析计量,2012,21(5):70-72.
- 〔13〕孙力军,徐枫,李仁伟,等.气相色谱-质谱联用法测定大米中的石蜡[J].食品研究与开发,2013,34(18):58-61.
- 〔14〕陈建军.食品中矿物油的定性检测[J].中国公共卫生,2001,17(10):10.
- 〔15〕宋鹏,张明,曹刘霞,等.食用油脂掺入异种油脂检测方法研究进展[J].粮食与油脂,2009(11):4-8.
- 〔16〕钟培明,柴振林,朱杰丽,等.食用植物油掺杂鉴定方法综述[J].江西农业学报,2012,24(3):163-166.
- 〔17〕杨忠慧.基于三维荧光光谱技术的水中矿物油检测的研究[D].秦皇岛:燕山大学,2012.
- 〔18〕丘慧澄,沈友,甘文静,等.食品中矿物油的测定[J].食品与发酵工业,2002,28(4):41-43.
- 〔19〕孙晓红,刘建伟,孙忠.食品中矿物油的检测[J].哈尔滨医药,2003,23(2):49-50.
- 〔20〕刘亮,唐善虎,杨榕生,等.采用GC-MS法检测鸡肉体中矿物油残留[J].中国动物检疫,2009,26(5):44-46.
- 〔21〕肖雪,张玉钧,王志刚,等.矿物油-乙醇溶液三维荧光光谱的实验研究[J].光谱学与光谱分析,2010,30(6):1549-1554.
- 〔22〕王春娥,潘振球,冯家力,等.抛光大米中矿物油的检测[J].实用预防医学,2001,8(6):463.
- 〔23〕张耀武,王振军.红外光谱法测定涂油大米中的矿物油[J].粮油食品科技,2001,9(5):48-49.
- 〔24〕张建华,张芳娟,孙永会.涂油米线中矿物油的红外光谱法测定[J].食品科技,2006,31(7):236-237.
- 〔25〕杨会芳,林敏刚,毕艳兰,等.食用油脂中矿物油的定性检测方法研究[J].中国粮油学报,2011,26(3):100-104,109.
- 〔26〕汪海峰,鞠兴荣.大米中矿物油的薄层色谱定性分析[J].中国粮油学报,2001,16(1):1-3.
- 〔27〕PURCARO G, ZOCCALI M, TRANCHIDA P Q, et al. Comparison of 2 different multidimensional liquid-gas chromatography interfaces for determination of mineral oil saturated hydrocarbons in foodstuffs[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2013, 405(2): 1077-1084.
- 〔28〕张正海.食用油脂中矿物油污染检测的气相色谱法研究[J].中国油脂,2001,26(1):44-45.
- 〔29〕李克亚,钟怀宁,胡长鹰,等.SPE-GC-FID法检测食品包装纸中的矿物油[J].食品工业科技,2015,36(19):280-285.
- 〔30〕吴玉鑫,陈意光,罗东辉,等.氧化除杂-气相色谱/质谱联用测定食品中的石蜡[J].现代食品科技,2014,30(1):165-169.
- 〔31〕袁秀金,赵天珍.粉条加工中添加石蜡的检测技术研究[J].南方农业学报,2011,42(8):972-974.
- 〔32〕孙晓燕.对测定食用油掺入矿物油的几种方法的探讨[J].粮油仓储科技通讯,2008(2):47-48,51.
- 〔33〕王丽娟,王恒,裴瑞利.食品中矿物油的检测[J].粮油食品科技,2005,13(6):52.
- 〔34〕张彩虹.不同食品中矿物油检测方法探讨[J].中华预防医学杂志,2003,37(1):46-47.
- 〔35〕杨佳.傅里叶变换红外光谱技术在芝麻油真伪鉴别、掺伪与品质分析中的应用[D].北京:北京林业大学,2013.
- 〔36〕魏福祥.现代仪器分析技术及应用(第二版)[M].北京:中国石化出版社,2015:60-65.
- 〔37〕刘玲玲.应用红外光谱技术进行食用油真伪及掺伪的快速鉴定[D].北京:北京林业大学,2012.
- 〔38〕鲍方宇,张敏.薄层色谱法测定油脂中甘油三酯含量[J].食品科学,2013,34(4):125-128.
- 〔39〕PAQUOT C, HAUTFENNE A. Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives[M]. 7th ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1987: 73-200.
- 〔40〕张林尚,杨博文,马素敏,等.氧化铝薄层色谱法检测含蜡食用植物油中的矿物油[J].河南工业大学学报(自然科学版),2013,34(5):35-39.
- 〔41〕张闽,曹万新,史宣明,等.食用油脂生产中矿物油污染及检测方法的研究进展[J].中国油脂,2015,40(3):62-65.
- 〔42〕王亚琴,祝红昆,李军明,等.粉丝中石蜡检测的样品前处理研究[J].农业机械,2013,20(17):78-81.
- 〔43〕安红梅,柯润辉,刘秀,等.固相萃取结合气相色谱-火焰离子化检测器分析面包中饱和烃类矿物油[J].食品与发酵工业,2016(1):152-156.
- 〔44〕SABRINA M, LAURA B, GIORGIA P, et al. Rapid and sensitive solid phase extraction-large volume injection-gas chromatography for the analysis of mineral oil saturated and aromatic hydrocarbons in cardboard and dried foods[J]. Journal of Chromatography A, 2012, 1243(12): 1-5.
- 〔45〕回瑞华,侯冬岩,李铁纯,等.食用植物油掺假的分析与研究[J].质谱学报,2009,30(4):216-218.