

食品接触材料中全氟化合物检测方法的研究进展

罗世鹏^{1*}, 商贵芹¹, 陈明²

(1. 常州出入境检验检疫局, 常州 213022; 2. 常州进出口工业及消费品安全检测技术中心, 常州 213022)

摘要: 全氟化合物主要包括全氟辛酸(PFOA)、全氟辛烷磺酸(PFOS)及其盐类物质, 是目前最难降解的持久性有机污染物之一。全氟化合物具有高效的疏水和疏油特性, 因此被广泛地应用于纺织、造纸、皮革等行业。然而其具有生殖毒性、遗传毒性和发育毒性等多种毒性, 可以通过食品接触材料进入人们的食品中, 威胁着人们的身体健康。本文简述了全氟化合物的概况及其在食品接触材料中分析检测技术的研究进展。

关键词: 全氟辛酸; 全氟辛烷磺酸; 食品接触材料; 检测

Research advances on determination methods for perfluorinated compound in food contact materials

LUO Shi-Peng^{1*}, SHANG Gui-Qin¹, CHEN Ming²

(1. Changzhou Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Changzhou 213022, China; 2. Changzhou Testing and Technical Center of Import-Export Industrial and Consumable Products, Changzhou 213022, China)

ABSTRACT: Perfluorinated compounds mainly contain perfluorooctane acid (PFOA), perfluorooctane sulfonate (PFOS) and their salt compounds. Perfluorinated compounds are one of the persistent organic pollutants, which are most difficult to be degraded at present. Perfluorinated compounds are widely used in the textile, paper, leather and other industries for their efficient hydrophobic and oleophobic properties. However, they have toxicities such as reproduction toxicity, genetic toxicity and developmental toxicity, and they can enter into people's food through food contact materials and threaten people's health. This paper described the overview of perfluorinated compounds and the research progress on detection technologies for perfluorinated compounds in food contact materials.

KEY WORDS: perfluorooctane acid (PFOA); perfluorooctane sulfonate; food contact material; detection

1 引言

全氟辛酸(PFOA)和全氟辛烷磺酸(PFOS)是目前工业上使用量最大的两种全氟类化合物, 具有很强的疏水和疏油特性; 与其他表面活性剂相比, 它们具有物理和化学性质稳定、耐高温和抗氧化的特

点。此外, 它们还具有较低的表面张力, 因此是氟塑料、氟橡胶等有机氟材料生产过程中不可缺少的原料^[1]。因其优异的疏水疏油特性, 全氟化合物被广泛用作生产纺织品、皮革制品等产品的表面防污处理剂, 以及纸制品和包装材料的表面防水防油涂层、表面活性剂、食品添加剂、农药等^[2]。此外, PFOA 还

基金项目: 国家质量监督检验检疫总局科技计划项目(2010 IK198)

Fund: Supported by the Technical Plan of General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (2010 IK198)

*通讯作者: 罗世鹏, 博士, 工程师, 主要研究方向为有机毒害物质的检测。E-mail: spluociq@gmail.com

*Corresponding author: LUO Shi-Peng, Engineer, Changzhou Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, No. 1268, Longjin Road, Changzhou 213022, China. E-mail: spluociq@gmail.com

被人们用于家用产品表面处理(如不粘锅炊具)、方便食品包装等,是现在食品接触材料中所使用的一种常见的化学物质。

PFOA 和 PFOS 具有高度稳定的物理和化学性质,因此很难在环境和生物体内发生降解,生物累积性极高,目前许多人体和动物组织中都发现了 PFOA 和 PFOS 的存在^[3]。全氟化合物具有多种毒性,如肝脏毒性、遗传毒性、神经毒性、雄性生殖毒性以及发育毒性等,其对生物体多种脏器均具有毒害作用,是一类高毒性的持久性环境污染物^[4]。全氟化合物在生物体中所表现出的潜在毒性及其持续性,可导致动物患上肝脏、胰腺等方面的疾病甚至睾丸癌^[5]。针对 PFOA 和 PFOS 对环境和生物健康的危害特性,2005 年 3 月 18 日,欧盟健康与环境危险科学委员会(SCHER)对全氟化合物的危害作用进行了确证;2005 年 12 月 5 日,欧委会正式提出了对于 PFOS 类产品使用限制的相关草案,并全面评估了该草案的合法性等内容;接着《关于限制全氟辛烷磺酸销售及使用的指令》(2006/122/EC)被正式颁布,并于 2008 年 6 月 27 日开始实施^[6,7]。

全氟化合物通过包装纸、包装袋以及各类涂层等食品接触材料,已经不知不觉地进入了我们的食品中,进而对消费者的身体健康构成严重威胁。因此,建立食品接触材料中全氟化合物的分析检测技术和方法,从而能够有效地控制并逐步消除全氟化合物的污染问题,既有利于新型分析技术的开发,也有利于保护消费者的身体健康和维持自然环境的和谐稳定发展^[8,9]。本文从样品前处理及检测技术两个方面对近年来关于食品接触材料中全氟化合物的检测方法进行了综述。

2 样品前处理方法的研究进展

样品前处理占整个样品分析过程的 60%。样品前处理技术的好坏对于检测方法的灵敏度以及检测结果的准确性至关重要。样品前处理主要包括样品的提取和净化两大部分。由于食品接触材料中全氟化合物的含量较低,因此对于全氟化合物的分析检测主要集中在萃取与有效富集这两个方面。目前对于全氟化合物常用的前处理方法主要包括液液萃取、超声萃取、固相萃取、索氏提取和加速溶剂萃取等,有时为了改善分析检测结果,往往还需对全氟化合物进行

柱前衍生化技术处理。

2.1 液液萃取

液液萃取技术是经典的样品前处理技术,主要是利用溶剂提取和分离液体混合物中目标组分的过程,即在液体混合物中加入与其不相混溶的溶剂,利用其组分在溶剂中的不同溶解度而达到分离或提取的目的,甲基叔丁基醚是一种优良的全氟化合物的提取溶剂^[10]。液液萃取对实验条件和仪器的要求较低,然而其操作繁琐,且对有机溶剂消耗量很大,因此逐渐被一些新开发的前处理方法所淘汰。

2.2 超声萃取

超声萃取技术主要是利用超声波具有机械破碎以及空化作用,使溶剂分子加速,进而提高溶剂的穿透能力,因此能大大提高样品中全氟化合物的提取效率。由于其仪器设备相对简单、具体操作较为方便,能够节省操作时间和降低能耗。此外,在对样品进行超声萃取时还可以采用非玻璃容器,从而避免玻璃制品对全氟化合物的吸附作用,因此其被广泛应用于纸质及纺织品类制品全氟化合物的提取中。2005 年, Begley 等^[11]在对纸制食品接触材料中的全氟化合物进行检测研究时发现,当他们采用超声波萃取技术,以乙醇/水(1:1, v/v)作为提取溶剂,对样品进行超声提取 1 h,全氟化合物的回收率为 60%~75%。鉴于其提取效率不高,人们通过采用少量溶剂进行多次重复提取,以期提高超声波萃取的回收率;然而,由于是在敞口条件下进行常温提取,对于材质坚实的样品,在超声波的作用下溶剂无法充分发挥作用,提取效率较低,因此超声波萃取的应用具有一定的局限性^[12]。

2.3 索氏提取

索氏提取主要是利用溶剂回流和虹吸原理,使固体不断地被纯溶剂提取,由于是在溶剂回流状态进行反复提取,样品中的全氟化合物能够充分溶出,因此其对于全氟化合物的提取效率较高。2007 年,蒋海宁等^[13]在对不粘锅涂层中的全氟化合物进行检测研究时,采用索氏提取法进行样品的前处理。结果表明,当萃取时的 pH 在 9~10 时使用回流方式能够将样品中极少量的全氟化合物进行有效提取,其加标回收率可达 86%~110%。然而,由于索氏提取操

作比较费时费力,效率不高,而且在提取时所用的装置均是玻璃制品,而玻璃制品对于含氟化合物具有一定的不可逆吸附性^[14],对于痕量全氟化合物的检测影响较大,从而限制了该法在全氟化合物检测中的应用。

2.4 加速溶剂萃取

加速溶剂萃取是在一定的温度(50~200 °C)和压力(1000~3000 psi)下,使用常规的溶剂,通过提高温度和增加压力来提高萃取的效率,从而大大加快萃取时间并明显降低萃取剂的使用量,其主要应用于固体或半固体样品的提取^[15]。由于加速溶剂萃取的提取效率高,消耗时间短,样品前处理步骤简洁,因此是在分析全氟化合物样品时首选的样品前处理技术。2007年,王利兵等^[16]对各类食品接触材料(如塑料、纸、陶瓷等)中的全氟化合物进行检测时,对采用的加速溶剂萃取技术进行了全面系统的研究。结果表明,最佳的加速溶剂萃取条件为:以甲醇为萃取溶剂,在175 °C的萃取温度以及1000 psi的压力下持续加热7 min,接着进行8 min的静态萃取,重复上述操作2次。2012年,张岩等^[17]采用上述优化后的加速溶剂萃取条件对纸制食品接触材料中的PFOS进行提取,其回收率高达90.2%~103.3%。2005年,Larsen等^[18]对富龙中的全氟化合物提取方法进行了比较优化,研究了5种不同溶剂(甲醇、水、乙腈、乙醇、氯仿)对加速溶剂萃取方法的影响,发现采用甲醇-加速溶剂萃取法的提取效果要好于其他提取方法。

2.5 衍生化技术

衍生化技术就是通过化学反应的方式,把难以分析的待测物质转化为与其化学结构相似但易于分析的物质,便于进行分离和检测。在气相色谱分析中,柱前衍生化主要是为了降低目标分析物的沸点以及提高目标分析物的热稳定性;而在液相色谱分析中,柱前衍生化则主要是为了改善目标化合物的响应信号。目前气相色谱常用的柱前衍生化技术有硅烷化、酯化和酰化反应衍生法。2007年,Lv等^[19]和蒋海宁等^[13]将乙酰氯与PFOS反应后,采用气相色谱-质谱法(GC-MS)对氟涂料和聚四氟乙烯材料中的PFOS进行了检测研究。结果表明,在碱性条件下,温度为50~60 °C时乙酰氯与全氟化合物反应2 h即可定量得到衍生化产物。

3 检测方法的研究进展

目前国内外关于全氟化合物的检测技术主要是气相色谱-质谱法、高压液相色谱-质谱法以及超高压液相色谱-串联质谱法。

3.1 气相色谱-质谱法(GC-MS)

全氟化合物具有高沸点和低饱和蒸气压,因此如果要采用气相色谱-质谱法对其进行检测,首先需要对试样进行衍生化处理,以降低待测物的沸点,提高其挥发性,从而提高全氟化合物的检测灵敏度。由于衍生化后全氟化合物的极性较强,因此在GC-MS检测中一般采用弱极性或者中等极性的色谱柱对其进行分离,如采用涂层为5%的苯基甲基聚硅氧烷色谱柱或者35%的苯基聚硅亚苯基-硅氧烷SGEBPX35色谱柱,其离子源的电离模式一般为正离子模式。

2005年,白桦等^[20]用酯化试剂BSTFA(β -甲基硅三氟酰胺)对不粘锅涂层中的PFOA及其盐类进行衍生化处理,接着在气相色谱-质谱联用的条件下对其含量进行了系统地检测研究,其定量检测限添加回收率为90.9%~96.2%;2007年,Lv等^[19]和蒋海宁等^[13]各自使用乙酰氯对不粘锅涂层中全氟化合物进行衍生化后采用气相色谱-质谱联用技术进行检测,其方法稳定性及回收率均比较理想。2008年,王利兵等^[21]建立了对部分食品接触材料中全氟辛酸铵的气相色谱-质谱检测技术,其平均回收率高达95%~104%,检测限可达1.0 $\mu\text{g/L}$ 。然而,由于全氟化合物沸点很高,无法对其直接进行气相色谱-质谱联用法检测,因此需要对其进行衍生化处理,这大大地增加了样品前处理的步骤以及检测结果的不稳定性。此外,衍生化过程中既浪费试剂,也会产生有毒有害物质,这导致该方法在全氟化合物检测上的应用受到一定的限制^[3]。

3.2 高压液相色谱-质谱联用(HPLC-MS)

利用高压液相色谱-质谱法(LC-MS)检测PFOA和PFOS时不需要复杂的前处理和柱前衍生化,同时LC-MS检测方法的灵敏度要高于GC-MS。在LC-MS检测中,大部分试样可以通过简单的萃取、离心分离来达到分离富集的目的,并根据不同的测试情况选择不同的检测器,如ESI、APCI、离子阱等,其检测限可达ppb级别。2006年,Tseng等^[22]对采

用高压液相色谱-离子阱质谱法对水样、生物组织及食品接触材料中的全氟化合物及其盐类进行测定,检测下限可达 67 ng/L。然而,由于 LC-MS 检测方法在选择性方面不甚理想,而样品基质一般均比较复杂,从而造成在检测全氟化合物时会产生明显的离子抑制作用以及质量方面的干扰,这导致在对复杂基质进行检测时精确度和回收率都相对较低,因此该方法只适用于杂质含量较少的样品。

3.3 超高压液相色谱-串联质谱法(UPLC-MS/MS)

超高压液相色谱-电喷雾电离源串联质谱是目前检测食品接触材料中全氟化合物时最为常用的一种方法。它可以定量地检测基质中的全氟化合物,其最主要的优点是灵敏度和选择性高、检测限低,而且样品无需经衍生化等复杂的前处理过程。由于全氟化合物结构式中绝大部分氢原子被氟原子所取代,因此为了使 PFOA 和 PFOS 最大限度地去质子化,在液相色谱分离过程中一般采用在流动相中加入一定量乙酸铵的方法,一方面提高了 PFOA 及 PFOS 的去质子化能力,另一方面也减少了 PFOA 和 PFOS 色谱峰拖尾的现象。在分析过程中,PFOA 和 PFOS 在电离过程中是去质子化,因此一般采用负离子模式对 PFOA 和 PFOS 进行扫描。

2010 年,陈会明等^[23]报道了采用超高压液相色谱-串联质谱法用于测定食品包装材料中 PFOS 的检测技术。该方法表明 PFOS 在 0.0002~0.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内线性良好($R^2=0.998$),回收率为 93.8%~101%,精密度 RSD 为 1.6%~3.1%,方法检出限为 0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 。该方法能够满足欧盟法规对食品包装材料中 PFOS 的限量检测要求。蒋心婷等^[24]采用超高压液相色谱-串联质谱仪建立了食品接触材料中 6 种全氟羧酸类化合物(PFCAs)残留量的检测方法;通过对超声、振荡和离子配对 3 种方法的比较,选择超声法作为提取食品接触材料中 PFCAs 的提取方法,其最低检测限为 0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$,添加回收率在 84.6%~114.6%。陈笑梅等^[25]采用甲醇进行超声提取,建立了食品接触材料中 4 种全氟化合物的检测方法,该方法采用同位素内标法定量,内标物为 ^{13}C 标记的 PFOS。该方法的检出限为 0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$,线性范围为 0.5~10 $\mu\text{g}/\text{kg}$,方法的平均回收率为 91.1%~112.8%,并成功应用于 16 种食品接触材料实样的检测。2011 年,缪璐^[26]和莫佳琳等^[27]建立了超高压液相色谱-串联

质谱 (UPLC-MS/MS) 结合加速溶剂萃取测定食品包装材料中 PFOA 及其盐类物质的方法。PFOA 在 0.01~1.00 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内线性良好 ($R^2=0.999996$),添加回收率为 89.5%~100.8%,相对标准偏差 RSD 为 1.7%~3.2%,方法检出限为 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 。2012 年,张岩等^[17]建立了高压液相色谱-串联质谱结合加速溶剂萃取测定食品用纸容器中 PFOA 的方法。该方法中 PFOA 在 0.5~50 ng/mL 范围内线性良好($R^2=0.9993$),回收率为 90.2%~103.3%,相对标准偏差为 2.74%~6.03%,检出限为 0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

4 小结

全氟化合物因其独特的物理和化学性质而在食品接触材料防水涂层中得到广泛的应用。在现有食品接触材料中全氟化合物的检测方法中,加速溶剂萃取结合固相萃取技术是目前最有效、应用最广泛的提取净化技术;其定量定性分析时采用的 HPLC-MS/MS 法是目前选择性最好、灵敏度最高、适用最广泛的仪器分析方法。目前利用 HPLC-MS/MS 技术检测食品包装材料已有国家标准^[28]。由于食品接触材料多种多样,材质功能各不相同,因此研究人员对于全氟化合物的检测研究应着重于复杂样品的前处理技术,有效地使样品基质干净,从而避免影响现代分析仪器的检测。尤为重要的是,要尽快寻找出能够替代全氟化合物作用的其他无害试剂,从而预防全氟化合物的持续污染。

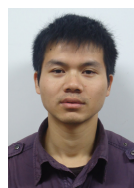
参考文献

- [1] Kissa E. Fluorinated surfactants and repellents [M]. New York: Marcel Dekker Inc, 2001.
- [2] Giesy JP, Kannan K. Global distribution of perfluorooctane sulfonate in wildlife [J]. Environ Sci Tech, 2001, 35: 1339-1342.
- [3] 蒋阔,盛旋,杨嫣嫣,等. 全氟辛烷磺酰基化合物(PFOS)分析研究进展[J]. 安徽化工, 2007, 33(2): 5-9.
Jiang H, Sheng X, Yang YY, et al. Analysis Research Development of PFOS [J]. Anhui Chem, Ind, 2007, 33(2): 5-9.
- [4] 王利兵,赵青,李灼坤,等. 食品包装材料中残留物全氟辛酸盐毒理学研究[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 586-592.
Wang LB, Zhao Q, Li ZK, et al. Study on Toxicology of Ammonium Perfluorooctanoate in Food Packaging Materials [J]. Food Sci, 2008, 29(10): 586-592.
- [5] Hu WY, Jones PD, Celius T. Identification of genes responsive to PFOS using gene expression profiling [J]. Environ Tox Pharm,

- 2005, 19(1): 57-70.
- [6] 王利兵. 食品包装安全学[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
Wang LB. Food Packaging Safety [M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [7] 杨金玲, 谢娟娟. 欧盟 PFOS 指令对我国纺织品贸易的双重效应及对策[J]. 国际经贸探索, 2008, 12: 51-55.
Yang JL, Xie JJ. Dual Impacts of PFOS on our Textile Trade and Countermeasures [J]. Int Eco Trade Res, 2008, 12: 51-55.
- [8] 缪璐, 莫佳琳, 干宁军. 全氟辛烷磺酸、全氟辛酸及其盐类检验技术的研究进展[J]. 现代食品科技, 2011, 27(1): 101-105.
Miao L, Mo JLL, Gan NJ. Study on Testing of Perfluorooctane Sulfonate(PFOS) and Perfluorooctanoic Acid(PFOA) in Packaging Material for Food [J]. Mod Food Sci Tech, 2011, 27(1): 101-105.
- [9] 陈红梅. PFOS 类持久性有机污染物的检测技术研究进展[J]. 有机氟工业, 2008, 4: 53-56.
Chen HM, Research Development of the Detecting Technology of PFOS and Related Persistent Contamination [J]. Organo-Fluorine Ind, 2008, 4: 53-56.
- [10] Moody CA, Kwan WC, Martin JW, *et al.* Determination of perfluorinated surfactants in surface water samples by two independent analytical techniques: liquid chromatography/tandem mass spectrometry and ^{19}F NMR [J]. Anal Chem, 2001, 73: 2220-2206.
- [11] Begley TH, White K, Honigfort P, *et al.* Perfluorochemicals: Potential sources of and migration from food packaging [J]. Food Addit Contam, 2005, 22(10): 1023-1031.
- [12] 冯盘, 施佳慧, 朱加进. 不粘锅涂层和爆米花袋残留全氟化合物的提取方法[J]. 食品与器械, 2010, 26(3): 167-172.
Feng P, Shi JH, Zhu JJ. Research progress on the extraction of perfluorinated compounds residues from the surface of non-stick cookware and microwave popcorn packaging bags[J]. Food Mach, 2010, 26(3): 167-172.
- [13] 蒋海宁, 孙明星, 陈宗宏, 等. Teflon 材料及不粘锅涂层中的微量全氟辛酸(PFOA)的GC-MS测定研究[J]. 复旦学报(自然科学版), 2007, 46: 291-296.
Jiang HN, Sun MX, Chen ZH, *et al.* Micro-Quantitative Characterization of Pentadecafluorooctanoic Acid with GC/MS in SIM Mode [J]. J Fudan Univ (Nature Sci), 2007, 46: 291-296.
- [14] Meesters RJW. Perfluorooctane sulfonate-a quite mobile anionic anthropogenic surfactant ubiquitously found in the environment [J]. Wat Sci Technol, 2004, 50(5): 235-242.
- [15] 刘静. ASE 快速溶剂萃取-解决固体、半固体样品前处理的新技术[J]. 现代科学仪器, 2002, 3: 59-61.
Liu J. Accelerated Solvent Extraction-Solving the pretreatment technique of Solid and Half-Solid Sample [J]. Mod Sci Instrum, 2002, 3: 59-61.
- [16] 王利兵, 吕刚, 冯智劫, 等. 液相色谱-质谱/质谱法测定包装材料中的全氟辛酸及其盐类物质[J]. 色谱, 2007, 25(1): 115-118.
Wang LB, Lv G, Feng ZJ, *et al.* Determination of Perfluorooctanoic Acid(PFOA) and Its salty in Packaging Materials by High Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2007, 25(1): 115-118.
- [17] 张岩, 庞坤, 吕品, 等. 液相色谱-串联质谱法测定食品用纸容器中全氟辛酸[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 207-209.
Zhang Y, Pang K, Lv P, *et al.* Determination of Perfluorooctanoic Acid(PFOA) in Paper Food Containers by High Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry [J]. Food Sci, 2012, 33(22): 207-209.
- [18] Larsen BS, Kaiser MA, Botelho M, *et al.* Comparison of pressurized solvent and reflux extraction methods for the determination of perfluorooctanoic acid in polytetrafluoroethylene polymers using LC-MS-MS [J]. Analyst, 2005, 130: 59-62.
- [19] Lv G, Wang LB, Li SC, *et al.* Determination of perfluorinated compounds in packaging materials and textiles using pressurized liquid extraction with gas chromatography-mass spectrometry [J]. Anal Sci, 2009, 25: 425-429.
- [20] 白桦, 郝楠, 崔艳妮, 等. 不粘锅涂层中全氟辛酸及其盐的快速溶剂萃取-气相色谱-质谱法测定[J]. 色谱, 2007, 25(2): 276-279.
Bai H, He N, Cui YN, *et al.* Determination of Perfluorooctanoic Acid and Its Salts in the Coating Layer of Nonstick Pan by Gas Chromatography /Mass Spectrometry Coupled with Accelerated Solvent Extractor [J]. Chin J Chromatogr, 2007, 25(2): 276-279.
- [21] 王利兵, 徐丽广, 胥传来. 食品包装材料中残留物全氟辛酸铵的GC-MS-EI检测[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 514-517.
Wang LB, Xu LG, Xu CL. Study on Detection Method of Perfluorooctanoic Acid Ammonium in Food Packaging Materials with GC-MS-EI [J]. Food Sci, 2008, 29(11): 514-517.
- [22] Tseng CL, Liu LL, Cheng CM, *et al.* Analysis of perfluorooctane sulfonate and related fluoro-chemicals in water and biological tissue samples by liquid chromatography ion trap mass spectrometry [J]. J Chromatogr A, 2006, 1105: 119-126.
- [23] 陈会明, 陈伟, 程艳, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定食品包装材料中全氟辛烷磺酰基化合物(PFOS)[J]. 分析实验室, 2010, 29(2): 33-37.
Chen HM, Chen W, Cheng Y, *et al.* Determination of perfluorooctane sulfonates(PFOS) in the food packaging materials by HPLC/MS/MS [J]. Chin J Anal Lab, 2010, 29(2): 33-37.
- [24] 蒋沁婷, 刘慧婷, 陈笑梅, 等. 高效液相色谱-三级四级杆质谱测定食品接触材料中六种全氟羧酸类化合物[J]. 分析试验

- 室, 2010, 29(3): 54-57.
- Jiang QT, Liu HT, Chen XM. Determination of perfluoroalkyl carboxylate compounds in food contact materials with HPLC-MS/MS [J]. Chin J Anal Lab, 2010, 29(3): 54-57.
- [25] 陈笑梅, 刘慧婷, 谢维斌, 等. 食品接触材料中全氟烷基磺酸类化合物的 HPLC-MS/MS 测定[J]. 食品科学, 2010, 31(8): 174-176.
- Chen XM, Liu HT, Xie WB, et al. HPLC-MS/MS Determination of Perfluoroalkane Sulfonates in Food Contact Materials[J]. Food Sci, 2010, 31(8): 174-176.
- [26] 缪璐, 莫佳琳, 干宁军. 超高效液相色谱-串联质谱法测定食品包装材料中全氟辛烷磺酸盐[J]. 分析测试技术与仪器, 2011, 17(3): 134-138.
- Miao L, Mo JL, Gan NJ. Determination of Perfluorooctane Sulfonates (PFOS) in Food Packaging Materials by UPLC/MS/MS[J]. Anal Test Technol Instrum, 2011, 17(3): 134-138.
- [27] 莫佳琳, 缪璐, 干宁军. 超高效液相色谱-串联质谱法测定食品包装材料中全氟辛烷磺酸及其盐类物质[J]. 现代食品科技, 2011, 27(4): 473-476.
- Mo JL, Miao L, Gan NJ. Determination of Perfluorooctanoic Acid(PFOA) and its Salts in the Food Packaging Materials by UPLC/MS/MS [J]. Mod Food Sci Tech, 2011, 27(4): 473-476.
- [28] GB/T 23243-2009 食品包装材料中全氟辛烷磺酰基化合物(PFOS)的测定 高效液相色谱-串联质谱法 [S].
- GB/T 23243-2009 Determination of Perfluorooctanoic Acid(PFOS) in Food Packaging Materials, using HPLC-MS/MS [S].
- (责任编辑: 赵静)

作者简介



罗世鹏, 博士, 工程师, 主要研究方向为有机毒害物质的检测。
E-mail: spluociq@gmail.com