

浊点萃取技术在食品检测中的应用进展

刘伟¹, 孙谦², 张然¹, 明双喜¹, 胡明燕¹, 杨颖^{1*}

(1. 山东省食品药品检验研究院, 济南 250101; 2. 岛津企业管理(中国)有限公司, 西安 710054)

摘要: 浊点萃取技术是一种基于表面活性剂水溶液中相分离现象的新型液-液萃取技术, 具有环境污染小、萃取效率高、富集倍数高、操作简单和可与各种仪器联用等优点, 而被广泛应用于生物大分子、食品、环境中的重金属及中药成分等检测的分离分析预处理。浊点萃取技术具有较好的发展前景, 本文重点介绍了浊点萃取技术的基本原理, 分析了表面活性剂的种类和浓度、添加剂的类型、平衡温度、平衡时间以及 pH 值等影响因素, 详细阐述了浊点萃取技术与高效液相色谱、气相色谱、原子吸收、分光光度计等多种仪器联用检测食品中的重金属、农药残留、非法添加物质的应用等。

关键词: 浊点萃取; 食品检测; 前处理

Application and progress of cloud-point extraction in food analysis

LIU Wei¹, SUN Qian², ZHANG Ran¹, MING Shuang-Xi¹, HU Ming-Yan¹, YANG Ying^{1*}

(1. Shandong Institute for Food and Drug Control, Jinan 250101, China;
2. Shimadzu (China) Co., Ltd., Xi'an 710054, China)

ABSTRACT: Cloud point extraction (CPE) is a kind of new environmental liquid-liquid extraction method based on phase separation in aqueous surfactant solution. It has a series of advantages such as little environmental pollution, high extraction efficiency, high enrichment factor, simple operation and can be combined with a variety of instruments, so it is widely used in segregation analysis pretreatment of samples including biological macromolecules, food, heavy metals in the environment and Chinese medicine *etc.* CPE has good prospects, and this article focused on the basic principles of CPE technology, analyzed the species and concentration of surfactants, types of additives, equilibrium temperature and time, and pH values. Also the heavy metals, pesticide residues and other illegally added substances detected by CPE technique associated with high performance liquid chromatography, gas chromatography, atomic absorption spectrophotometer, and other equipment were elaborated.

KEY WORDS: cloud-point extraction; food analysis; pretreatment

1 引言

浊点萃取(cloud point extraction, CPE)法是一种新兴的液-液萃取技术, 近年来得到了广泛的应用。传统的样品分离方法操作步骤复杂、实验周期长、富集倍数不高, 并且所用有机溶剂容易对人员造成伤害, 并导致环境污

染^[1]。食品检测常用的分析前处理已有不少报道, 常见的包括液液萃取法^[2]、超声辅助萃取法^[3]、微波辅助萃取法^[4]和固相萃取法^[5-7]等。

浊点萃取是一种绿色环保、安全低毒的萃取技术, 该技术基于表面活性剂胶束水溶液的溶解性和浊点现象, 通过改变电解质、温度、压力或者 pH 值等实验参数引发两

*通讯作者: 杨颖, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测及管理。E-mail: 276265137@qq.com

*Corresponding author: YANG Ying, Senior Engineer, Shandong Institute for Food and Drug Control, No.2749, the New Lok Street, High-tech District, Jinan 250101, China. E-mail: 276265137@qq.com

相的分离, 达到将水溶性物质和亲油性物质的分离。在整个过程中不需要有机溶剂的参与, 只是在两水相之间进行, 从而不产生对人体的伤害和对环境的污染。目前该技术可应用于食品检测的前处理过程, 并适用于各种样品的分析, 如检测重金属离子^[9]、食品中非法添加物^[10-12]、环境样品^[13]、生物制品^[14]以及药物含量的分析^[15]等。

2 浊点萃取技术

2.1 浊点萃取的基本原理

浊点萃取主要是利用表面活性剂的两个重要功能-溶解和浊点现象^[16]。在水溶液中的表面活性剂溶解达到临界胶束浓度(水溶液中的表面活性剂产生胶束的最小浓度, critical micelle concentration, CMC)而形成胶束后, 能使不溶或微溶于水的化合物结合到胶束上而使溶解度显著增大, 形成澄清透明溶液的现象。浊点(cloud point, CP)即在一定的温度范围内, 表面活性剂可溶于水, 而当温度升高或降低时出现析出、分层的现象, 溶液由澄清溶液变为成为浑浊溶液, 此时的温度就是浊点。

浊点萃取方法的流程如图 1 所示。

2.2 表面活性剂的类型及性质

表面活性剂分子由疏水性基团和亲水性基团两部分

构成^[17]。溶液中的疏水性物质与表面活性剂的疏水基团结合, 经静置或者离心分离形成两相: 一相是被萃取进入表面活性剂, 形成量少(一般为 100~200 μL)且富含被萃取物的表面活性剂相; 另一相是亲水性物质留在水相中, 形成大量的表面活性剂胶束。然后将两相分离, 可以从样品中进行分离待测物。

常见的表面活性剂主要分为非离子型表面活性剂和离子表面活性剂。对于非离子表面活性剂胶束溶液, 当胶束溶液温度低于浊点温度时, 溶液呈均相, 高于浊点温度时则呈两相。由于在水中的非离子表面活性剂临界胶束浓度低, 容易形成胶束, 并且可以是不同的长度, 与官能团结合以改变其性质, 因此非离子表面活性剂常用作浊点萃取技术中的萃取剂, 主要应用于检测食品中的重金属、农药残留以及非法添加物等。

对于离子表面活性剂胶束溶液, 当胶束溶液温度低于浊点温度时溶液呈两相, 高于浊点温度时则呈均相, 与非离子表面活性剂相反。因为它的高临界胶束浓度的离子表面活性剂相具有更高的表面活性剂浓度, 富集因子和分离效率后水相的浊点不高, 浊点萃取中很少用到此类表面活性剂。浊点萃取中常用的表面活性剂、临界胶束浓度以及浊点温度见表 1^[18,19]。

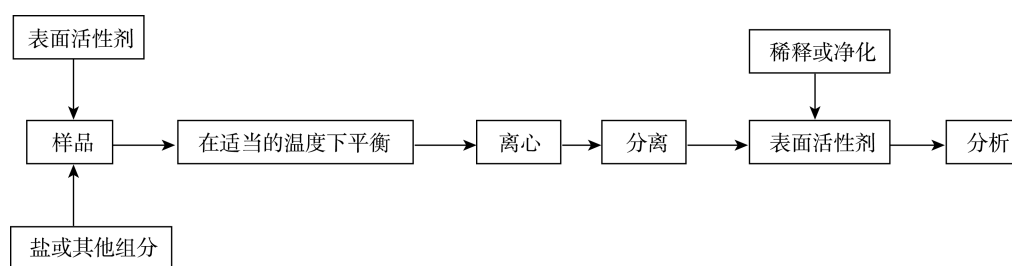


图 1 浊点萃取法流程图

Fig. 1 The flow diagram of CPE

表 1 浊点萃取中常用的表面活性剂、临界胶束浓度和浊点温度

Table 1 Surfactants, CMC and CP commonly used in CPE

表面活性剂名称		临界胶束浓度(mmol/L)	浊点(°C)
化学类别名	商品系列名		
聚氧乙烯脂肪醇	Brij 30	0.004	95
	Brij 35	0.06	>100
	Brij 56	0.0006	64~69
	Brij 96	0.092	54
对叔辛基苯基聚己二醇醚	Triton X-100	0.17~0.30	64
	Triton X-114	0.20~0.35	23
正烷基苯基聚己二醇醚	Ponpe-7.5	0.085	1~7
	Ponpe-10	0.07~0.085	56

2.3 影响浊点萃取的因素

影响浊点萃取因素主要是表面活性剂的种类和浓度、添加剂的类型、平衡温度、平衡时间以及 pH 值^[20]。

2.3.1 表面活性剂的种类和浓度

表面活性剂被广泛应用于洗涤、纺织、造纸、化工、催化、医药、皮革加工和生物模拟等领域^[21-24]，是一类具有亲水端和疏水性的长链分子。在低浓度下能降低水和其他溶液的表面张力，既溶于极性溶剂中，也可以溶解在非极性有机相，两亲性能起到增溶、乳化、分散、润湿、发泡、防静电和防腐等作用。

表面活性剂的分子结构和浓度会影响到浊点温度^[25,26]。浊点萃取中理想的表面活性剂应具有适宜的浊点温度，浊点的升高或降低使表面活性剂水溶液中更好地得到分离，萃取率升高，另外还应具有适宜的疏水性。

2.3.2 溶液的 pH 值

表面活性剂以及萃取剂的性质与缓冲液的 pH 值紧密相关。有文献报道^[27-29]，pH 值为 7~9 时萃取效率最大且相对稳定。对于酸性或碱性溶质，溶液的 pH 可影响萃取率。中性分子电离后疏水性降低，影响了与胶束的结合，以致萃取率不如未电离状态高。在萃取重金属离子的过程中，则需要络合剂和金属离子形成疏水络合物，才能达到萃取的目的。

2.3.3 平衡温度与时间

在表面活性剂体系中，确定了浓度后平衡温度升高，萃取率随之增大，表面活性剂相体积随之减小^[30]。常选用高于浊点温度 15~20 °C 作为平衡温度，平衡时间延长对萃取率没有太大的影响，一般 10~20 min 为宜^[31]。

2.3.4 添加剂

在浊点萃取中，萃取率的大小与添加剂的加入没有明显的关系，但是类似电解质或有机物可以影响表面活性剂的浊点，使表面活性剂水溶液中两相分离^[32,33]。添加剂的影响主要有两类：一是使非离子型表面活性剂的浊点降低的物质，主要有盐析型的电解质(氯化物、硫酸盐、碳酸盐、叠氮化合物等)和一些有机物(如与水能完全互溶的有机脂肪醇、脂肪酸、苯酚)；二是使表面活性剂的浊点升高的物质，主要有盐溶型的电解质(如硝酸盐、碘化物、硫氰酸盐等)、可溶于胶束的非极性有机物、蛋白质变性剂(尿素、硫脲衍生物等)、阴离子型表面活性剂和其他水溶助剂(如甲苯磺酸钠)。对于两亲型表面活性剂，添加剂的作用与对非离子表面活性剂的作用时情况完全相反。

3 浊点萃取在食品检测中的应用

3.1 测定食品中的痕量重金属

作为痕量元素分离富集的手段，浊点萃取技术被广泛地运用在重金属分析中^[34]。利用表面活性剂作为萃取剂，对食品中的痕量重金属离子分离和富集，然后再联用各种

检测仪器进行测定，常见的主要是联用原子吸收光谱仪进行检测。

李丽华等^[35]在 pH 8.0 的缓冲溶液中，以 8-羟基喹啉为螯合剂，镁、锌和铜均与 8-羟基喹啉生成螯合物，加入聚乙二醇辛基苯基醚(Triton X-100)表面活性剂用浊点萃取分离富集菠菜样品中镁、锌和铜。分取部分表面活性剂用乙醇定容至 25 mL，所得溶液直接用火焰原子吸收光谱法进行测定。对影响浊点萃取的因素和共存离子的干扰等进行了试验并予以优化。镁、锌和铜的检出限(3S/k)依次为 0.057、0.064 和 0.032 mg/L。应用此法测定了大叶菠菜和小叶菠菜中 3 种元素的含量，在两种样品中用标准加入法进行方法回收率试验，测得镁的回收率在 93.3%~100.5% 之间，锌的回收率在 91.7%~97.9% 之间，铜的回收率在 94.0%~107.1% 之间。王秀峰等^[36]采用浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定淡水鱼中的痕量铅含量，该法以双硫脲为络合剂、Triton X-100 为表面活性剂。对淡水鱼各部位的铅按实验方法进行测定，回收率能达到 97.7%~104.9%。胡霞等^[37]采用浊点萃取-石墨炉原子吸收光谱法测定膨化食品中铅，以 8-羟基喹啉为螯合剂，缓冲液的 pH 为 9，利用 Triton X-100 作为表面活性剂富集膨化食品中的痕量铅。杜军良等^[38]采用浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定酒中痕量铅，该方法以双硫脲作为络合剂、Triton X-100 为萃取剂，研究了 pH、平衡温度时间、络合剂、萃取剂和共存离子干扰等对萃取效果的影响，方法线性范围为 100~800 μg/L，检出限达到了 3.25 μg/L，回收率在 95.9%~98.7% 之间。

3.2 测定食品中的农药残留

浊点萃取目前在食品中农药残留的检测方面得到了广泛的应用。农药残留分析的样品前处理过程非常重要，也是检测中关键的一步。农药残留在样品中的含量非常低，需要一个萃取率高、富集效果好的萃取方法，而浊点萃取技术正是符合这一要求，因此在农药残留分析中的研究得到了人们的重视，该萃取技术和各种检测仪器联用均得到了较好的效果。

陈建波等^[39]利用浊点萃取-高效液相色谱法对草莓汁中 7 种农药(克百威、异丙威、甲霜灵、杀扑磷、敌草隆、烯酰吗啉和苯噻酰草胺)进行检测，所用的表面活性剂为非离子表面活性剂聚氧乙烯山梨糖醇酐单月桂酸酯(Tween-20)。在添加 12%(W:V)硫酸钠和 5%(V:V)正丁醇、平衡温度为 50 °C、平衡时间为 40 min 的条件下对样品进行富集萃取，然后联用高效液相色谱仪检测，在草莓汁样品中平均加标回收率为 80.15%~92.18%，检出限为 0.9~2.1 μg/kg。

周璐等^[40]采用聚乙二醇 4000 (PEG 4000)作为表面活性剂，利用浊点萃取-正己烷反萃取气相色谱法测定苹果汁中的 5 种有机磷(二嗪磷、啉啉磷、对硫磷、异柳磷和三唑硫磷)农药残留，用正己烷进行反萃取富集相，使用气相

色谱火焰光度检测器外标法进行定量检测。5 种农药的添加回收率在 72.5%~102.6% 之间, 方法的检出限为 0.13~1.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。莫小荣等^[41]利用浊点萃取技术提取了茶叶中的 6 种拟除虫菊酯类农药, 并联用气相色谱电子捕获检测器检测, 以非离子表面活性剂聚乙二醇作为萃取剂, 然后用 200 μL 异辛烷对富集层进行反萃取, 方法的回收率为 72.3%~85.6%, 检测限为 2.1~3.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

姜蕾等^[42]建立了浊点萃取-超高效液相色谱分析法测定水中戊菌唑残留量的方法。以 PEG-6000 为萃取剂, 在选定的色谱条件下, 戊菌唑在 0.025~5.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时, 其质量浓度与检测信号峰面积呈良好的线性关系, 检出限为 1.5 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。何成艳等^[43]采用浊点萃取-高效液相色谱法对水中二苯醚类除草剂进行了测定, 采用 Triton X-114 作为萃取剂, 待测除草剂的质量浓度在 0.05~2.00 mg/L 范围内, 方法的检出限为 0.10~0.50 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。Apichai 等^[44]利用 Triton X-114 作为萃取剂, 提取并联合用高效液相色谱紫外检测器检测了水果中的 6 种农药, 方法的检测限为 0.1~1.0 mg/kg , 回收率为 80.0%~107%。

3.3 测定食品中的非法添加物

食品中的非法添加物的检测越来越受到人们的重视, 在常用的检测方法中, 国标或者行标规定的样品前处理基本为传统的萃取方式, 在检验过程中耗费大量的人力, 并且所用到的有机溶剂对实验人员有比较大的伤害, 浊点萃取法中所用到的萃取剂绿色环保。目前该法用于检测食品中的非法添加物也有了进一步的研究。

Liu 等^[45]采用浊点萃取-高效液相色谱法对辣椒粉中的苏丹红进行了检测, 采用非离子表面活性剂 TritonX-100 作为萃取剂, 加入适当的碳酸钠, 该方法中苏丹红回收率为 80.70%~85.45%, 最低检出限为 2.0 g/kg 。陆艳霞等^[46]采用浊点萃取-高效液相色谱法检测牛奶中的三聚氰胺, 采用三氯乙酸结合 Triton X-100 对牛奶进行破乳, 非离子表面活性剂聚乙二醇 600(PEG 600)作为萃取剂, 在优化的实验条件下, 牛奶样品中三聚氰胺加标回收率为 80%~98%, 检出限为 0.9 mg/kg 。陈建伟等^[47]利用浊点萃取方法富集虾肉中的孔雀石绿和结晶紫, 联合用高效液相色谱(二极管阵列检测器)进行检测, 该方法的检测限分别为孔雀石绿 2.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、结晶紫 1.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。丁一等^[48]检测牛奶中双酚 A 和壬基酚前处理中采用 Tween 20 作为萃取剂, 然后联合用高效液相色谱进行检测。该方法在合适的萃取条件下, 双酚 A 的加标回收率在 85.60%~91.20% 之间, 壬基酚在 71.30%~73.30% 之间, 方法的检出限分别为 7.36 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、93.19 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

4 展 望

浊点萃取技术是食品检测中样品预处理的有效方法^[49], 是一种具有发展前景的保护环境的样品前处理技术,

广泛应用于食品中各种物质的检测。传统的萃取技术操作复杂, 有机溶剂对人体和环境的污染比较严重, 浊点萃取技术主要有以下优点: (1)萃取剂主要使用毒性低的表面活性剂, 安全性高、毒性较小且价格低廉; (2)萃取过程用时较少, 操作方便简单, 节省大量的人力; (3)萃取率较高, 对待测物的富集倍数高, 可以做到痕量分析; (4)可以与多种检测仪器联用, 如液相色谱仪、气相色谱仪、分光光度计和荧光光度计等。由此可见, 随着浊点萃取技术研究的不断深入, 该方法将会更加完善和成熟, 在食品检测中发挥更大作用。

参考文献

- [1] 吴敏, 高玉时, 陆俊贤, 等. 浊点萃取技术在环境污染物检测中的应用[J]. 农业环境与发展, 2012, 29(1): 70-74.
Wu M, Gao YS, Lu JX, *et al.* Application of cloud point extraction-flame on determination of environmental pollution [J]. J Agric Resour Environ, 2012, 29(1): 70-74.
- [2] Rissato SR, Galhiane MS, Almeida MV, *et al.* Multiresidue determination of pesticides in honey samples by gas chromatography-mass spectrometry and application in environmental contamination [J]. Food Chem, 2007, 101(4): 1719-1726.
- [3] Fenoll J, Hellin P, Martínez C M, *et al.* Multiresidue method for analysis of pesticides in pepper and tomato by gas chromatography with nitrogen-phosphorus detection [J]. Food Chem, 2007, 105(2): 711-719.
- [4] Ramos J J, Rial O R, Ramos L, *et al.* Ultrasonic-Assisted Matrix Solid-phase Dispersion as an Improved Methodology for the Determination of Pesticides in Fruits [J]. J Chromatogr A, 2008, 1212(1/2): 145-149.
- [5] Edwar F, María E. Suitability of microwave-assisted extraction coupled with solid-phase extraction for organophosphorus pesticide determination in olive oil [J]. J Chromatogr A, 2008, 1207(1/2): 38-45.
- [6] D'Archivio AA, Fanelli M, Mazzeo P, *et al.* Comparison of different sorbents for multiresidue solid-phase extraction of 16 pesticides from groundwater coupled with high performance liquid chromatography [J]. Talanta, 2007, 71(1): 25-30.
- [7] López-Blanco MC, Cancho-Grande B, Simal-Gándara J. Comparison of solid-phase extraction and solid-phase microextraction for carbofuran in water analyzed by high performance liquid chromatography-photodiode array detection [J]. J Chromatogr A, 2002, 963(1/2): 117-123.
- [8] Chen SB, Yu XJ, He XY, *et al.* Simplified pesticide multiresidues analysis in fish by low-temperature cleanup and solid-phase extraction coupled with gas chromatography/mass spectrometry [J]. Food Chem, 2009, 113(4): 1297-1300.
- [9] 王记莲. 浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定痕量铅的研究[J]. 光谱实验室, 2011, 28(1): 299-302.
Wang JL. Determination of trace lead by flame atomic absorption spectrometry with cloud point extraction [J]. Chin J Spectrosc Lab, 2011, 28(1): 299-302.
- [10] Pourreza N, Zareian M. Determination of orange ii in food samples after cloud point extraction using mixed micelles [J]. J Hazard Mater, 2009, 165(1/3): 1124-1127.
- [11] Liu W, Zhao WJ, Chen JB, *et al.* A cloud point extraction approach using

- triton x-100 for the separation and preconcentration of sudan dyes in chilli powder [J]. *Anal Chim Acta*, 2007, 605(1): 41–45.
- [12] 杜军良, 尤海霞, 胡杨, 等. 浊点萃取-火焰原子吸收法(CPE-FAAS)测定蜂蜜中痕量锰[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(2): 192–195.
- Du JL, You HL, Hu Y, *et al.* Determination of trace manganese in honey by cloud point extraction-flame absorption spectrometry [J]. *Food Ferment Ind*, 2013, 39(2): 192–195.
- [13] 王梅, 龙军标, 杨冰仪, 等. 水样中痕量汞的浊点萃取-分光光度法测定[J]. *分析科学学报*, 2013, 29(6): 870–872.
- Wang M, Long JB, Yang BY *et al.* Spectrophotometric determination of trace mercury in water after cloud extraction point [J]. *J Anal Sci*, 2013, 29(6): 870–872.
- [14] Pedro R, Raúl A G, Susana M, *et al.* Cloud point extraction for ultra-trace Cd determination in icrowave-digested biological samples by ETAAS [J]. *Talanta*, 2008, 77(2): 663–666.
- [15] Zhou ZM, Zhao DY, YANG Ming-min, *et al.* Study of cloud point extraction and high-performance liquid chromatographic determination of isoniazid based on the formation of isonicotinylhydrazone [J]. *J Chromatogr A*, 2009, 1216(1): 30–35.
- [16] 王坚刚, 林建原. 浊点萃取技术的应用[J]. *广东微量元素科学*, 2009, 16(3): 17–21.
- Wang JG, Lin JY. The application of cloud point extraction [J]. *Guangdong Trace Elements Sci*, 2009, 16(3): 17–21.
- [17] 张桂平, 秦炜, 戴猷元. 浊点萃取及其应用[J]. *中国科技论文在线*, 2007, 12: 1–6.
- Zhang GP, Qin W, Dai QY. The cloud point extraction and its applications [J]. *Sci Paper Online*, 2007, 2(12): 897–901.
- [18] 梁沛, 李静. 浊点萃取技术在金属离子分离和富集以及形态分析中应用的进展[J]. *理化检验(化学分册)*, 2006, 42(7): 582–587.
- Liang P, Li J. Progress of the application of cloud-point extraction to the separation and enrichment of metal ions and to the speciation analysis [J]. *Phys Test Chem Anal (Part B: Chem Anal)*, 2006, 42(7): 582–587.
- [19] 高守红, 范国荣, 吴玉田. 浊点萃取法在生物医药中的应用[J]. *中国医药工业杂志*, 2005, 36(7): 428–433.
- Gao SH, Fan GR, Wu YT. Cloud point extraction and its applications in biopharmaceuticals Chinese journal of pharmaceuticals [J]. *China Med*, 2005, 36(7): 428–433.
- [20] 李卓, 董文宾, 李娜, 等. 浊点萃取技术及其在食品检测预处理中的应用[J]. *食品科技*, 2010, 35(3): 277–280.
- Li Z, Dong WB, Li N, *et al.* Cloud-point extraction and its application in pretreatment of food analysis [J]. *Food Sci Technol*, 2010, 35(3): 277–280.
- [21] 刘瞻. 表面活性剂的结构特点与应用[J]. *怀化学院学报*, 2004, 23(5): 33–37.
- Liu Z. Structural features and effects of surfactants [J]. *J Huaihua Univ*, 2004, 23(5): 33–37.
- [22] 严群芳. 非离子表面活性剂的性质及应用[J]. *贵州化工*, 2005, 30(5): 4–8.
- Yan QF. Characters and applications of non-ionic surfactants [J]. *Guizhou Chem Ind*, 2005, 30(5): 4–8.
- [23] 刘贺. 浅谈非离子表面活性剂的特点与应用[J]. *皮革与化工*, 2012, 29(2): 20–26.
- Liu H. Application and character of non-ionic surfactant [J]. *Leather Chem*, 2012, 29(2): 20–26.
- [24] 李伟娜, 刘志红, 谢皓雪. 表面活性剂的结构特点与应用研究进展[J]. *长春医学*, 2008, 6(2): 68–70.
- Li WN, Liu ZH, Xie HX. Structural character and research progress of surfactants [J]. *Changchun Med J*, 2008, 6(2): 68–70.
- [25] 张慧, 许晓菁, 杨一青, 等. 浊点萃取技术及其应用研究[J]. *化工进展*, 2012, S1: 441–445.
- Zhang H, Xu XQ, Yang YQ, *et al.* Progress and application of cloud point extraction [J]. *Chem Ind Eng Prog*, 2012, S1: 441–445.
- [26] Şatıroğlu N, Arpa Ç. Cloud point extraction for the determination of trace copper in water samples by flame atomic absorption spectrometry [J]. *Microchim Acta*, 2008, 162(1–2): 107–112.
- [27] Shemirani F, Kozani RR, Jamali MR, *et al.* Micelle-mediated extraction for direct spectrophotometric determination of trace uranium(VI) in water samples [J]. *Separ Sci Technol*, 2005, 40(2): 2527–2537.
- [28] Pytlakowska K, Kozik V, Dabioch M. Complex-forming organic ligands in cloud-point extraction of metal ions: A review [J]. *Talanta*, 2013, 110: 202–228.
- [29] Ahad Bavili Tabrizi. Cloud point extraction and spectrofluorimetric determination of aluminium and zinc in foodstuffs and water samples [J]. *Food Chem*, 2007, 100(4): 1698–1703.
- [30] Valfredo Azevedo Lemos. Development of a cloudpoint extraction method for copper and nickel determination in food samples [J]. *J Hazard Mater*, 2008, 159: 245–251.
- [31] 周锦兰, 俞开潮. 浊点萃取技术及其在食品工业中的应用[J]. *食品科学*, 2003, 146(4): 164–168.
- Zhou JL, Yu KC. The application of cloud-point extraction on food industry [J]. *Food Sci*, 2003, 146(4): 164–168.
- [32] 张晓光, 张高勇, 董金凤, 等. 添加剂对非离子表面活性剂浊点的影响[J]. *日用化学工业*, 2002, 32(4): 7–10.
- Zhang XG, Zhang GY, Dong JF. *et al.* Effect of additives on cloud points of nonionic surfactant [J]. *China Surfact Deterg Cosm*, 2002, 32(4): 7–10.
- [33] 王进朝, 邵学广. 浊点萃取技术及其在有机化合物分离分析中的应用[J]. *化学进展*, 2006, 18(4): 482–487.
- Wang JZ, Shao XG. Cloud point extraction and its applications to the separation and analysis of organic components [J]. *Prog Chem*, 2006, 18(4): 482–487.
- [34] 杨艳红, 姜兆兴, 赵敏. 浊点萃取技术-原子光谱法在食品中金属元素检测中的应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(5): 1331–1339.
- Yang YH, Jiang ZX, Zhao M. Application of cloud point extraction-flame atomic absorption spectroscopy on determination of metal elements in food [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(5): 1331–1339.
- [35] 李丽华, 张金生, 李艳南, 等. 浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定菠菜中镁、锌和铜[J]. *理化检验(化学分册)*, 2012, 48(5): 547–549.
- Li LH, Zhang JS, Li YN, *et al.* FAAS determination of magnesium, zinc and copper in spinach with cloud point extraction [J]. *PTCA(Part B: Chem Anal)*, 2012, 48(5): 547–549.
- [36] 王秀峰, 李龙, 张春丽, 等. 浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定淡水鱼中痕量铅[J]. *分析实验室*, 2012, 31(3): 86–88.
- Wang XF, Li L, Zhang CL, *et al.* Cloud point extraction and flame atomic absorption spectrometric determination of trace lead in freshwater fish [J]. *Chin J Anal Lab*, 2012, 31(3): 86–88.
- [37] 胡霞, 蒋怡乐, 刘学文. 浊点萃取-石墨炉原子吸收光谱法测定膨化食

- 品中铅[J]. 理化检验(化学分册), 48(2): 191-193.
- Hu X, Jiang YL, Liu XW. GFAAS determination of lead in popped food with cloud point extraction [J]. Phys Test Chem Anal (Part B:Chem Anal), 48(2): 191-193.
- [38] 杜军良, 黄静, 胡杨, 等. 浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定啤酒中痕量铅[J]. 食品工业科技, 2013, 34(11): 303-306.
- Du JL, Huang J, Hu Y, *et al.*. Determination of trace copper in beer by cloud point extraction-flame absorption spectrometry [J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 34(11): 303-306.
- [39] 陈建波, 刘伟, 崔艳梅, 等. 浊点萃取-高效液相色谱法测定草莓汁中的多种农药残留[J]. 分析化学研究简报, 2008, 36(3): 401-404.
- Chen JB, Liu W, Cui YM, *et al.*. Cloud point extraction for the determination of pesticides in strawberry juice by high performance liquid chromatographic detection [J]. Chin J Anal Chem, 2008, 36(3): 401-404.
- [40] 周璐, 陈敏, 张凯, 等. 浊点萃取-正己烷反萃取气相色谱法测定苹果汁中 5 种有机磷农药残留[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2011, 42(4): 492-498.
- Zhou L, Chen M, Zhang K, *et al.* Cloud point extraction coupled with n-hexane back-extraction for determination of 5 kinds of organophosphorus pesticides in cider by gas chromatography [J]. J Shandong Agric Univ(Nat Sci), 2011, 42(4): 492-498.
- [41] 莫小荣, 郑春慧, 陈建伟, 等. 浊点萃取-异辛烷反萃取-气相色谱测定茶叶中拟除虫菊酯农药残留[J]. 分析化学, 2009, 37(8): 1178-1182.
- Mo XR, Zheng CH, Chen JW, *et al.* Cloud point extraction coupled with U-ltrasonic-assisted backextraction fordetermination of pyrethroid pesticides in tea by gas chromatography with electron capture detection [J]. Chin J Anal Chem, 2009, 37(8): 1178-1182.
- [42] 姜蕾, 贾林贤, 林靖凌. 浊点萃取-超高效液相色谱法检测水中戊菌唑残留量[J]. 分析实验室, 2015, (2): 155-158.
- Jiang L, Jia LX, Lin JL. Determination of penconazole in water by cloud point extraction-ultra performance liquid chromatographic detection [J]. Chin J Anal Lab, 2015, (2): 155-158.
- [43] 何成艳, 黎源倩, 王慎骄, 等. 浊点萃取-高效液相色谱法同时测定水中多种二苯醚类除草剂残留[J]. 四川大学学报(医学版), 2010, 41(1): 148-152.
- He CY, Li YQ, Wang SJ, *et al.* Determination of biphenyl ether herbicides in water using HPLC with Cloud Point Extraction [J]. J Sichuan Univ (Med Sci Ed), 2010, 41(1): 148-152.
- [44] Apichai S, Supalax S, Rodjana B, *et al.* Cloud-point extraction and reversed-phase high-performance liquid chromatography for the determination of carbamate insecticide residues in fruits [J]. Anal Bioanal Chem, 2009, 394(5): 1307-1317.
- [45] Liu W, Zhao WJ, Chen JB, *et al.* A cloud point extraction approach using triton x-100 for the separation and preconcentration of sudan dyes in chilli powder [J]. Anal Chim Acta, 2007, 605(1): 41-45.
- [46] 陆艳霞, 杨立刚, 赵道远, 等. 浊点萃取-高效液相色谱法对牛奶中三聚氰胺的测定[J]. 分析测试学报, 2009, 28(10): 1221-1224.
- Lu YX, Yang LG, Zhao DY, *et al.* Determination of melamine in milk using cloud point extraction-high performance liquid chromatography [J]. J Instrum Anal, 2009, 28(10): 1221-1224.
- [47] 陈建伟, 姚志云, 毛健伟. 浊点萃取-高效液相色谱法测定虾肉中孔雀石绿和结晶紫残留的研究[J]. 南京农业大学学报, 2010, 33(1): 94-98.
- Chen JW, Yao ZY, Mao JW. Determination of residues of malachite green and crystal violet in shrimp samples by cloud point extraction-high performance liquid chromatography [J]. J Nanjing Agric Univ, 2010, 33(1): 94-98.
- [48] 丁一, 赵军, 惠寒冰, 等. 浊点萃取-高效液相色谱法测定牛奶中的双酚 A 和壬基酚[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, (9): 2746-2752.
- Ding Y, Zhao J, Hui HB, *et al.* Analysis of bisphenol A and 4-n-nonylphenol in milk by cloud point extraction and high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2014, (9): 2746-2752.
- [49] 陈建波, 王云飞, 奚道珍. 浊点萃取技术及其在农药残留分析中的应用[J]. 农药, 2011, 50(7): 479-486.
- Chen JB, Wang YF, Xi DZ. Review of cloud point extraction technology and its application in pesticide residue analysis [J]. Agrochemicals, 2011, 50(7): 479-486.

(责任编辑: 姚菲)

作者简介



刘 伟, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向为食品安全检测及管理。
E-mail: liuwei8513@163.com



杨 颖, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测及管理。
E-mail: 276265137@qq.com