

# 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

杨艳红<sup>1\*</sup>, 姜兆兴<sup>2</sup>, 赵敏<sup>2</sup>

(1. 国家石油产品质量监督检验中心(沈阳), 沈阳 110032; 2. 赤峰出入境检验检疫局, 赤峰 024000)

**摘要:** 重金属污染已成为影响食品安全的重要因素之一, 在世界范围内引起了越来越广泛的关注, 因此开发建立新的食品中金属检测方法具有十分重要的意义。本文介绍了新兴的绿色环保分离富集技术-浊点萃取及其结合原子吸收光谱法在食品中金属离子检测方面的应用。浊点萃取技术具有经济、安全、高效、简便等优点, 近年来已开始广泛应用于食品中金属检测的样品前处理。本文讨论了浊点萃取技术的基本原理, 阐述了表面活性剂的种类、浓度、溶液 pH 值、平衡时间、温度以及络合物浓度等影响萃取效率、富集系数的主要因素, 及其与火焰原子吸收光谱联用后, 在食品重金属检测中的研究应用情况。最后对浊点萃取技术在食品金属离子检测中的发展趋势进行了展望。

**关键词:** 浊点萃取技术; 样品前处理; 金属检测; 食品

## Application of cloud point extraction-flame atomic absorption spectroscopy on determination of metal elements in food

YANG Yan-Hong<sup>1\*</sup>, JIANG Zhao-Xing<sup>2</sup>, ZHAO Min<sup>2</sup>

(1. National Quality Supervision & Testing Center for Petroleum Products (Shenyang), Shenyang 110032, China;  
2. Chifeng Exit-Entry Inspection and Quarantine Bureau, Chifeng 024000, China)

**ABSTRACT:** Heavy metal pollution has been one of the major influencing factor to food safety, which attracts more and more attention from all over the world. Hence, it is very important to establish a new detection method of metal in food. Application of an emerging, green and environment benign separation and enrichment process, cloud point extraction were introduced, combined with atomic absorption spectroscopy. Cloud point extraction is economic, safe, simple and highly efficient, which has been widely used in the sample pretreatment of metal detections in food. This paper discussed the basic principle of cloud point extraction. Several factors were elaborated, such as the species and concentration of surfactants, pH values, equilibrium temperature and time, as well as the concentration of chelating reagents, which influenced the extraction efficiency and enrichment factor. In addition, the applications of cloud point extraction combined with the flame atomic absorbance spectroscopy on the metal determination in food were reviewed. Finally, the development trend of cloud point extraction technology in modern food detection was prospected.

**KEY WORDS:** cloud point extraction; sample pretreatment; metal detection; food

\*通讯作者: 杨艳红, 中级工程师, 主要研究方向为食品、石油化工产品安全研究及检测。E-mail: yanyan0160@hotmail.com

\*Corresponding author: YANG Yan-Hong, Intermediate Engineer, National Quality Supervision & Testing Center for Petroleum Products (Shenyang), No.61, Chongshan East Road, Huanggu District, Shenyang 110032, China. E-mail: yanyan0160@hotmail.com

## 1 引言

近年来,随着我国经济的飞速发展,环境污染和治理的日益失衡,越来越多的食品中金属污染问题的发生,造成了人们对食品污染的恐惧和对食品信任度的降低。王卓等<sup>[1]</sup>调查 2010~2012 年度达州市食品中重金属污染情况时发现畜肉、新鲜蔬菜和鲜牛奶等食品中铅合格率低于 80%,猪肾中镉,鲜食用菌中汞,油条中的铝等金属污染现象突出。刘婷婷等<sup>[2]</sup>对 2010~2011 年度内蒙古地区食品中金属污染调查分析显示内蒙古地区生产的食用菌(以鲜食用菌计)、蔬菜、蛋及蛋制品、粮食及粮食制品、乳及乳制品中存在重金属污染。这些日常食品从环境中摄入金属元素后,通过食物链的放大作用,成千上万倍地富集起来,人们食用后,金属元素进入人体逐渐积累,危害人类的身体健康,甚至会引起中毒,而且简单蒸煮、浸泡或清洗不能去除其中的重金属。因此,食品中金属污染问题越来越引起世界各国及相关团体和组织的关注,我国也严格规定了食品中铅、镉、砷、汞等限量标准和相应的检测方法<sup>[3]</sup>。随着人们对检测质量和方法需求的提高,越来越多先进的与食品中金属检测相关的样品前处理方法和仪器设备也得到了很大的发展。

浊点萃取技术是一项新兴的样品分离富集技术。它以水相溶剂和浊点现象为基础,避免了大量昂贵、有毒的有机试剂的使用,是一类前景良好的“绿色”萃取技术。而且,它的萃取效率高,富集效果好,操作简单,易于和一些仪器分析方法联用。图 1 总结了 2000~2012 年间与浊点萃取联用的检测仪器,包括原子吸收光谱、电感耦合等离子体发射光谱、电感耦合等离子体-质谱联用技术、以及分子光谱、荧光光谱和其他一些技术,其中火焰原子吸收法的频率最高,达到了 42%<sup>[4]</sup>。本文简要介绍了浊点萃取技术的原理、影响因素以及浊点萃取技术-火焰原子吸收技术在食品中金属离子检测中的应用。

## 2 浊点萃取技术

### 2.1 萃取原理

浊点萃取(cloud point extraction, CPE)最早是由 Wantanabe 将其应用于金属离子的测定<sup>[5]</sup>。它是利用表面活性剂的增溶作用和浊点现象分离富集金属元

素。表面活性剂是一类具有亲水端和疏水长链的分子。在低浓度下能降低水和其他溶液的表面张力,既能溶解于极性溶剂中,也可以溶解于非极性的有机相中,具有双亲性质,能起到增溶、乳化、分散、湿润、发泡、抗静电和抗腐蚀等作用,广泛应用于洗涤、纺织造纸、化工、催化、制药、皮革加工和生物模拟等领域<sup>[6-9]</sup>。当其水溶液浓度达到或超过一定值后(临界胶束浓度,CMC),会发生聚集,形成亲水基团向外,疏水链向内的胶束,可增加亲油溶质在水溶液中的溶解度,这就是表面活性剂水溶液的增溶作用。浊点现象也就是当表面活性剂水溶液温度达到一定程度时,溶液会出现浑浊和相分离的现象,此时的温度称为浊点。由于表面活性剂只能增加疏水性物质的溶解度,对于极性的金属离子,人们常利用络合剂形成络合物后,增加其疏水性,再与表面活性剂形成胶束,升温后,胶束不断聚集,溶液浑浊,最终导致相分离,离心后,金属离子随着络合剂进入富集表面活性剂的凝聚相,而其他亲水性物质则留在水相中,从而达到分离富集的目的。由于该相粘度较大,一般都经酸化甲醇、乙醇等有机物稀释后导入火焰原子吸收光谱仪进行测定,其基本原理图见图 2<sup>[10]</sup>。

### 2.2 影响因素

浊点萃取是一种液-液萃取技术,虽然目前对于浊点现象产生的原理还存在争议<sup>[11-13]</sup>,但是根据传统的萃取理论,从分配系数、富集系数及萃取率等角度考虑,可以看出表面活性剂性质和浓度、pH 值和络合剂的性质、平衡时间和温度等是影响浊点萃取效果的主要因素。

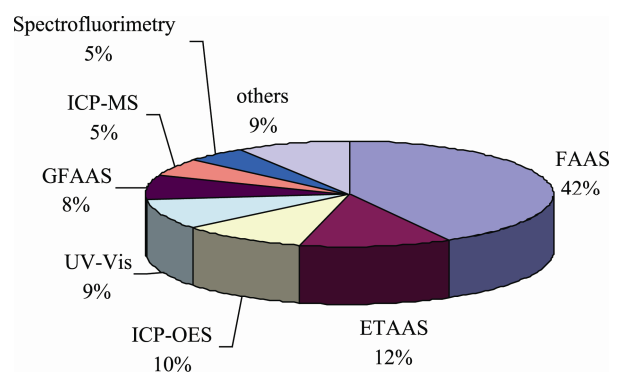
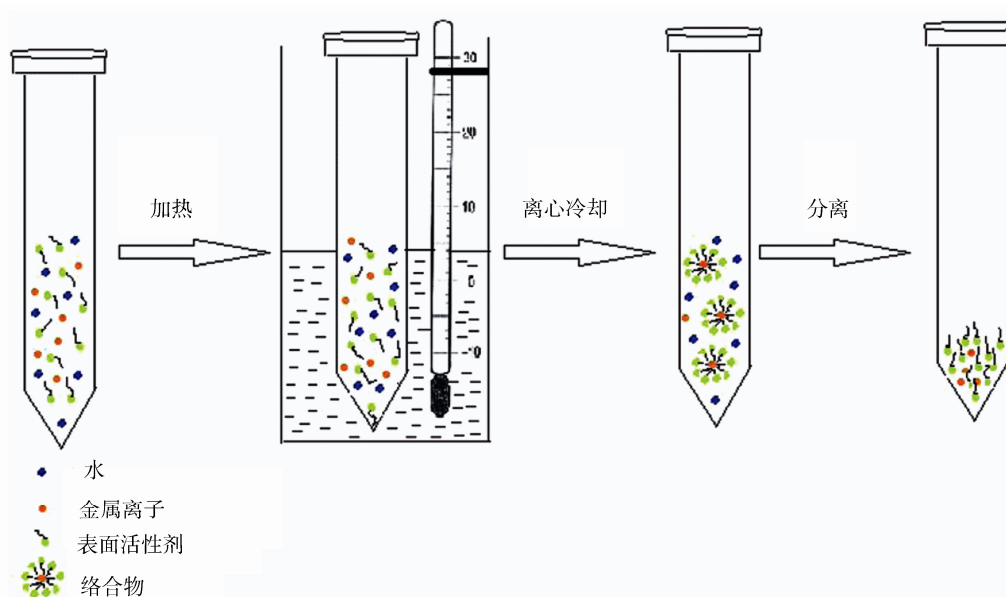


图 1 2000~2012 年与浊点萃取联用的分析技术的比例<sup>[4]</sup>  
Fig. 1 Analytic techniques combined with CPE during 2000~2012<sup>[4]</sup>

图 2 浊点萃取技术原理示意图<sup>[10]</sup>Fig. 2 Schematic diagram of cloud point extraction technique<sup>[10]</sup>

### 2.2.1 表面活性剂及其浓度的影响

浊点萃取的效果关键取决于浊点温度, 而表面活性剂的结构和浓度都影响着浊点温度。表面活性剂一般分为非离子型和两性离子型。随着温度升高, 非离子型表面活性剂出现浑浊分层的现象, 两性型表面活性剂则需要降低温度才会出现两相<sup>[14]</sup>。除此以外, 离子型表面活性剂临界胶束浓度较高, 在水溶液中的溶解度通常都大于非离子型的, 这就会导致其在表面活性剂凝聚相中的浓度变小, 萃取效率和富集效果等都不如非离子型表面活性剂。因而, 一般非离子型表面活性剂多被用来进行浊点萃取<sup>[15]</sup>。

表面活性剂的亲水和疏水部分也影响 CPE 的萃取效率。若亲水部分相同, 则疏水链越长, 浊点越低, 反之, 对于相同疏水链长度的表面活性剂, 浊点则随着亲水链长度的增加而增加。Gu 等研究了直脂肪链聚氧乙烯烷基醚类的表面活性剂浊点和结构之间的经验关系

$$T = 220 \times \lg N_E - 5.5 \times N_C - 55 \quad (1)$$

其中,  $N_E$  和  $N_C$  分别为表面活性剂分子中的聚氧乙烯链和脂肪链中的碳原子个数<sup>[16]</sup>。表 1 例举了 CPE 中常用的表面活性剂的临界胶束浓度和浊点温度。

CPE 通过表面活性剂形成胶束, 包裹着金属离子络合物达到分离富集的目的, 因而表面活性剂的浓度也至关重要。首先, 至少要大于等于其临界

胶束浓度, 才能形成稳定的胶束。然后继续增加浓度, 被包裹的疏水性物质也随着增加, 萃取率得到了提高, 但是随着浓度的继续增大, 表面活性剂凝聚相的体积也随之增大, 反而降低了分配系数和富集系数<sup>[17,18]</sup>。

应用浊点萃取技术时, 理想的表面活性剂是那些浓度合适的亲水链长较短, 疏水链长度适中的非离子型表面活性剂。图 3 总结了 2000~2012 年间用于进行金属离子浊点萃取技术的表面活性剂的种类<sup>[4]</sup>。其中 95% 以上的都是非离子型表面活性剂, 而且 Triton X-114 的使用频率达到 71%, 其次是 Triton X-100 和 PONPE, 这主要是因为 Triton X-114 具有浊点较低, 密度大, 价格便宜, 纯度高, 毒性小等优点。

### 2.2.2 pH 值和络合剂的影响

溶液体系的 pH 值本身对于非离子型表面活性剂萃取来说影响不大, 但是对于 CPE 在金属分析方面的影响还是不可忽视的<sup>[19]</sup>。因为只有在 pH 合适的体系中, 金属离子才能与络合剂形成稳定的疏水络合物, 从而能够萃取进入表面活性剂凝聚相。王记莲采用浊点萃取技术测定黄豆中铅含量时, 考察了体系 pH 值对萃取率的影响, 结果发现在 pH 值为 7~9 时, 萃取效率最大且相对稳定。她同时也观察到了随着络合剂 1-苯基-3-甲基-4-苯甲酰基-5-吡唑啉酮(PMBP)用量的增加, 萃取效率升高, 当用量为 0.5~2.0 mL 时,

表1 常用表面活性剂的浊点温度和临界胶束浓度  
Table 1 Cloud points and CMC of commonly used surfactants

| 表面活性剂       |              | 浊点温度(°C) | 临界胶束浓度(mmol/L) |
|-------------|--------------|----------|----------------|
| 对叔辛基苯基聚己二醇醚 | Triton X-100 | 64~65    | 0.17~0.30      |
|             | Triton X-114 | 22~25    | 0.20~0.35      |
| 正烷基苯基聚己二醇醚  | PONPE-7.5    | 5~20     | 0.085          |
|             | PONPE-10     | 62~65    | 0.07~0.085     |
|             | Brij 30      | 2~7      | 0.02~0.06      |
| 聚氧乙烯脂肪醇     | Brij 35      | > 100    | 0.06           |
|             | Brij 56      | 64~69    | 0.0006         |

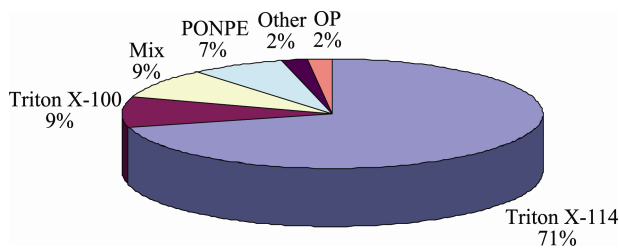


图3 2000~2012年浊点萃取中常用表面活性剂比例<sup>[4]</sup>  
Fig. 3 Frequency of use of surfactants in CPE proposed from 2000 to 2012<sup>[4]</sup>

萃取效率达到最大且保持不变<sup>[20]</sup>。杜军良等<sup>[21]</sup>研究了pH值和络合剂8-羟基喹啉在检测蜂蜜中痕量锰的影响,结果表明随着溶液pH值的增大,锰的萃取率也相应增加,在pH值达到9时,萃取效率接近100%,但是随着pH值地继续增加,萃取率显著下降,同样的现象也存在于络合剂用量的选择上。因此在浊点萃取技术中,理想的pH值和络合剂应对目标金属离子有较大的生成系数,且尽量不与共存离子生成络合物。同时,应加入稍过量的络合剂以保证络合反应完全发生而且降低可能发生的干扰反应。

### 2.2.3 平衡温度及时间

高温通常会有利于CPE中溶质的萃取,降低非离子表面活性剂的水溶性,提高萃取效率,缩短萃取达到平衡的时间,因此一般情况下,平衡温度都高于浊点15~20°C。对于金属离子萃取来说,平衡时间一定要大于络合完全所需的时间,保证所有的离子都能进入表面活性剂凝聚相。增加平衡时间有助于提高萃取率等,但是过长的时间对萃取没有帮助,因而,一般情况下,平衡时间在10 min以上即可获得较好的萃取效果。唐祝兴等<sup>[22]</sup>采用浊点萃取技术测定饮料中微量铅时,研究了平衡温度对萃取效率的影响,

结果表明对于Triton-114体系(浊点温度22~25°C),萃取率随着平衡温度的升高而增加,在40°C时最高,继续升温反而不利于萃取的发生。王秀峰等<sup>[23]</sup>分别就5~30 min和20~100°C考察了Triton X-100体系萃取淡水鱼中痕量铅时萃取效率的影响,结果发现平衡时间在20 min时,萃取率最大,继续增加时间没有明显增加。当平衡温度达到80°C时,铅的萃取最好,低温或者高温都不利于铅的萃取。仓金顺等<sup>[24]</sup>研究不同平衡温度和时间对黄豆粉中测定微量锌的萃取效率的影响时,发现对于Triton X-100体系,当萃取温度在75~85°C,萃取时间达到15 min以后,萃取率大而且稳定。

## 3 浊点萃取技术在食品方面的应用

浊点萃取技术最早应用于水溶液中金属离子的检测,随后在环境、中药、生物和食品等领域得到了很好的发展。目前在食品领域,结合灵敏度高、操作简单的火焰原子吸收光谱技术,能够检测的痕量金属已经达到几十种,例如铅、钴、镉、铬、铜、镍、锌、钼、铁、锰等,表2是近年来报道的一些应用实例<sup>[25-45]</sup>。Lemos等<sup>[46]</sup>成功地采用在线浊点萃取-FAAS技术测定食物中的锰,富集系数是14,检测通量为每小时48个样品,其中检测时间是75 s,极大地提高了检验效率,目前该方法已成功应用于虾粉、白面、豆粉及燕麦等食品中<sup>[47]</sup>。

## 4 展望

和传统萃取技术相比,浊点萃取具有操作简单,不使用有机溶剂,环境污染少,萃取和富集效率高,检出限低等优点,但是目前对于其机制等的基础研

表 2 油点萃取在检测食品中金属元素的应用实例<sup>[25-45]</sup>  
 Table 2 Application of CPE in the metal detection of food<sup>[25-45]</sup>

| 元素     | 来源   | 表面活性剂             | 络合剂  | 检出限        | 参考文献 |
|--------|--|-------------------|--|------------|------|
| 镁      |  |                   |  | 0.057 mg/L |      |
| 锌      | 菠菜   | Triton X-100      | 8-羟基喹啉   | 0.064 mg/L | [25] |
| 铜      |  |                   |  | 0.032 mg/L |      |
| 铬      | 面粉   | Triton X-114      | 1,3-二(4-硝基苯氨基重氮) 苯   | 5.9 ng/mL  | [26] |
| 铜      | 小米   | Triton X-114      | 2-磺酸基-4-甲氧基苯基重氮氨基偶氮苯   | 1.1 ng/mL  | [27] |
| 铅      | 啤酒   | Triton X-100      | 双硫脲  | 3.25 μg/L  | [28] |
| 锰      | 黄豆   | Triton X-100      | 2[(5-溴-2-吡啶)-偶氮]-5-(二乙氨基)苯酚  | 4.18 ng/mL | [29] |
| 铜      | 苦荞茶  | Triton X-100      | 二乙基二硫代氨基甲酸钠  | 1.59 μg/L  | [30] |
| 镉      |  |                   |  | 0.37 μg/L  |      |
| 镍      | 食品   | Triton X-114      | 1-(2-pyridilazo)-2-naphthol (PAN)                                    | 2.6 μg/L   | [31] |
| 锌      |  |                   |  | 2.3 μg/L   |      |
| 锡(II)  | 果汁   | Triton X-100/CTAB | $\alpha$ -polyoxometalate  | 8.4 μg/L   | [32] |
| 锡(IV)  |  |                   |  | 12.6 μg/L  |      |
| 铜      | 燕麦<br>巧克力粉<br>玉米粉<br>小麦粉                   | Triton X-114      | 1-(2-pyridilazo)-2-naphthol (PAN)                                    | 0.1 μg/L   | [33] |
| 锌      |  |                   |  | 0.15 μg/L  |      |
| 铬(III) |  |                   |  | 2.8 μg/L   |      |
| 铅(II)  |  |                   |  | 7.2 μg/L   |      |
| 铜(II)  | 食品   | Tween 80          | ---  | 0.4 μg/L   | [34] |
| 镍(II)  |  |                   |  | 1.1 μg/L   |      |
| 铋(III) |  |                   |  | 0.8 μg/L   |      |
| 镉(II)  |  |                   |  | 1.7 μg/L   |      |
| 铅(II)  |  |                   |  | 3.42 μg/L  |      |
| 钴(II)  | 黑茶<br>绿茶<br>番茄酱<br>蜂蜜                      | Triton X-114      | 1-phenylthiosemicarbazide (1-PTSC)                                   | 1.00 μg/L  | [35] |
| 铜(II)  |  |                   |  | 0.67 μg/L  |      |
| 铜      | 玉米淀粉<br>米粉<br>马铃薯淀粉                        | Triton X-114      | 2-(2'-benzothiazolylazo)-5-( <i>N,N</i> -diethyl)amino phenol (BDAP) | 0.1 μg/g   | [36] |
| 镍      |  |                   |  | 0.4 μg/g   |      |
| 镍(II)  | 番茄酱<br>榛实<br>全麦面包<br>白面包<br>菠菜<br>生菜<br>甘蓝 | Triton X-114      | p-nitrophenylazoresorcinol (magneson I)                              | 2.7 ng/mL  | [37] |
| 锰(II)  |  |                   |  | 2.9 ng/mL  |      |

续表 2

| 元素    | 来源   | 表面活性剂                                    | 络合剂  | 检出限        | 参考文献 |
|-------|--|--|--|------------|------|
| 镉     | 大米<br>小米<br>黑米<br>红米<br>糯米<br>奶粉<br>核桃粉<br>紫菜<br>海带  | Triton X-114                             | iodide/methyl green (MG)   | 0.90 ng/mL | [38] |
| 锡(IV) | 豌豆罐头<br>玉米罐头<br>番茄酱<br>橙汁<br>苹果汁<br>柠檬汁<br>樱桃汁<br>杏汁 | PONPE 7.5                                | calcon carboxylic acid (CCA)   | 2.86 µg/L  | [39] |
| 硒(IV) | 全麦面粉<br>米粉   | Sodium dodecyl sulphate (SDS) /PONPE 7.5 | pyronine B   | 3.81 µg/L  | [40] |
| 钼(VI) | 香蕉<br>豌豆<br>黄瓜<br>番茄<br>大米<br>黄豆<br>苹果<br>绿茶<br>米粉   | Triton X-114                             | victoria pure blue BO (VPB <sup>-</sup> )/thiocyanate/<br>cetylpyridinium chloride (CPC) | 2.18 µg/L  | [41] |
| 钴     | 海带   | Triton X-114                             | 吡咯烷二硫代氨基甲酸铵(APDC)  | 2.6 µg/L   | [42] |
| 镉     | 大米   | Triton X-114                             | 碘/甲基绿  | 0.90 ng/mL | [43] |
| 铜     | 荔枝<br>桂圆肉  | Triton X-114                             | 二乙基二硫代氨基甲酸钠(DDTC)  | 0.8 µg/L   | [44] |
| 铜     | 茶叶<br>奶粉<br>矿泉水                                      | Triton X-114                             | 二乙基二硫代氨基甲酸钠(DDTC)  | 1.55 µg/L  | [45] |

究较欠缺,尤其是缺少必要的理论模型预测金属络合物在表面活性剂体系中的分配系数等,这就要求当选用不同的表面活性剂体系和溶质时,都需要设计实验进行体系优化,花费时间,也限制了该方法在快速现场检测方面的大范围推广。此外,除了与火焰原子吸收光谱联用之外,随着越来越多联用技术的发展,特别是在气相色谱、液相色谱等分离功能的帮助下,浊点萃取技术将在金属形态分析方面拥有很

好的发展前景。

#### 参考文献

- [1] 王卓, 张兴伍, 李德华, 等. 2010 年-2012 年达州市食品中重金属及有害元素监测结果分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2013, 23(17): 3404-3409.  
Wang Z, Zhang XW, Li DH, *et al.* Analysis of monitoring results of heavy metals and harmful elements in food in Dazhou during 2010-2012[J]. Chin J Health Lab Tec, 2013, 23(17): 3404-3409.

- [2] 刘婷婷,蒲云霞,王文瑞,等. 2010-2011 年内蒙古地区食品中铅、镉、汞污染调查分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2013, 25(6): 548-551.  
Liu TT, Pu YX, Wang WR, *et al.* Investigation of food pollutant lead, cadmium and mercury in Inner Mongolia during 2010-2011[J]. Chin J Food Hyg, 2013, 25(6): 548-551.
- [3] GB 2762-2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].  
GB 2762-2012 National Standard for food safety Maximum levels of contaminants in foods[S].
- [4] 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.
- [5] Miura J, Ishii H, Wantanabe H. Extraction and separation of nickel chelate of 1-(2-thiazolylazo)-2-naphthol in nonionic surfactant solution[J]. Bunseki Kagaku, 1976, 25(11): 808-809.
- [6] 刘瞻. 表面活性剂的结构特点与作用[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.
- [7] 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): 4-7.  
Yan QF. Characters and applications of non-ionic surfactants[J]. Guizhou Chem Ind, 2005, 30(5): 4-7.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Samaddar P, Sen K, Cloud point extraction: A sustainable method of elemental preconcentration and speciation[J]. J Ind Eng Chem, 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2013.10.033>
- [11] Corti M, DeGiorgio V, Hayter JB, *et al.* Micelle structure in isotropic C<sub>12</sub>E<sub>8</sub> amphiphile solutions[J]. Chem Phys Lett, 1984, 109(6, 7): 579-583.
- [12] Lindman B, Wennerstroem H. Nonionic micelles grow with increasing temperature[J]. J Phys Chem, 1991, 95(15): 6053-6054.
- [13] 侯万国, 孙德军, 张春光. 应用胶体化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998.  
Hou WG, Sun DJ, Zhang CG. Application of colloid chemistry[M]. Beijing: Science Press, 1998.
- [14] Andrieu CM, Jakubowski N, Broekaert JAC. Speciation of chromium using reversed phase-high performance liquid chromatography coupled to different spectrometric detection methods[J]. Spectrochim Acta, Part B, 1997, 52(2): 189-200.
- [15] 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, 2(12): 897-901.  
Zhang GP, Qin W, Dai QY. The cloud point extraction and its applications[J]. Science Paper Online, 2007, 2(12): 897-901.
- [16] Gu T, Sjöblom J. Surfactant structure and its relation to the Krafft point, cloud point and micellization: Some empirical relationships[J]. Colloids Surf, 1992, 64(1): 39-46.
- [17] 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.
- [18] Şatroğlu 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 唐祝兴, 陈寅, 刘彭军. 浊点萃取-原子吸收光谱法测定饮料中的微量铅[J]. 沈阳理工大学学报, 2012, 31(3): 55-58.  
Tang ZX, Chen Y, Liu PJ. Cloud point extraction for determination of trace lead in drinks by atomic absorption spectrometry[J]. J Shenyang Ligong Univ, 2012, 31(3): 55-58.
- [23] 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]. 分析试验室, 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.
- [24] 仓金顺, 朱磊石. 浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定微量锌[J]. 光谱实验室, 2008, 25(6): 1235-1238.  
Cang JS, Zhu XS. Determination of trace zinc in samples by flame atomic absorption spectroscopy with cloud point

- extraction[J]. *Chin J Spectrosc Lab*, 2008, 25(6): 1235–1238.
- [25] 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.
- [26] 王尚芝, 孟双明, 关翠林, 等. 浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定面粉中痕量铬[J]. *山西大同大学学报(自然科学版)*, 2012, 28(3): 32–34.
- Wang SZ, Meng SM, Guan CL, *et al.* Determination of trace amounts of chromium in flour samples by flame atomic absorption spectrometry after cloud point extraction[J]. *J Shanxi Datong Univ(Nat Sci)*, 2012, 28(3): 32–34.
- [27] 王尚芝, 孟双明, 关翠林, 等. 浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定痕量铜[J]. *分析实验室*, 2013, 32(2): 36–38.
- Wang SZ, Meng SM, Guan CL, *et al.* Determination of copper after cloud point extraction by flame atomic absorption spectrometry [J]. *Chin J Anal Lab*, 2013, 32(2): 36–38.
- [28] 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.
- [29] 仓金顺. 浊点萃取-原子吸收光谱法测定生物试样中微量锰[J]. *分析仪器*, 2008, 6: 40–43.
- Cang JS. Determination of manganese in biological samples by cloud point extraction-flame atomic absorption spectroscopy[J]. *Anal Instrum*, 2008, 6: 40–43.
- [30] 胡洪羽, 杨思霞, 杜军良, 等. 浊点萃取-火焰原子吸收法(CPE-FAAS)测定苦荞茶中的痕量铜[J]. *食品工业*, 2013, 34(8): 217–220.
- Hu HY, Yang SX, Du JL, *et al.* Determination of trace copper in buckwheat tea by cloud point extraction-flame absorption spectrometry[J]. *Food Ind*, 2013, 34(8): 217–220.
- [31] Galbeiro R, Garcia S, Gaubeur I. A green and efficient procedure for the preconcentration and determination of cadmium, nickel and zinc from freshwater, hemodialysis solutions and tuna fish samples by cloud point extraction and flame atomic absorption spectrometry[J]. *J Trace Elem Med Biol*, 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2013.12.004>
- [32] Gholivanda MB, Babakhaniana A, Rafiee E. Determination of Sn(II) and Sn(IV) after mixed micelle-mediated cloud point extraction using  $\alpha$ -polyoxometalate as a complexing agent by flame atomic absorption spectrometry[J]. *Talanta*, 2008, 76(3): 503–508.
- [33] Ferreira HS, Santosa ACN, Portugal LA. *et al.* Pre-concentration procedure for determination of copper and zinc in food samples by sequential multi-element flame atomic absorption spectrometry[J]. *Talanta*, 2008, 77(1): 73–76.
- [34] Candira S, Narinb I, Soylak M. Ligandless cloud point extraction of Cr(III), Pb(II), Cu(II), Ni(II), Bi(III), and Cd(II) ions in environmental samples with Tween 80 and flame atomic absorption spectrometric determination[J]. *Talanta*, 2008, 77(1): 289–293.
- [35] Citak D, Tuzen M. A novel preconcentration procedure using cloud point extraction for determination of lead, cobalt and copper in water and food samples using flame atomic absorption spectrometry[J]. *Food Chem Toxicol*, 2010, 48(5): 1399–1404.
- [36] Lemos VA, Santos MS, David GT. *et al.* Development of a cloud-point extraction method for copper and nickel determination in food samples[J]. *J Hazard Mater*, 2008, 159(2-3): 245–251.
- [37] Sahin CA, Efecinar M, Satiroglu N. Combination of cloud point extraction and flame atomic absorption spectrometry for preconcentration and determination of nickel and manganese ions in water and food samples[J]. *J Hazard Mater*, 2010, 176(1–3): 672–677.
- [38] Xiang G, Wen S, Wu X. *et al.* Selective cloud point extraction for the determination of cadmium in food samples by flame atomic absorption spectrometry[J]. *Food Chem*, 2012, 132(1): 532–536.
- [39] Ulusoy S, Ulusoy Hİ, Akçay M. *et al.* Inexpensive and versatile method for trace Sn(II) and Sn(IV) ions in food samples by CPE/FAAS[J]. *Food Chem*, 2012, 134(1): 419–426.
- [40] Ulusoy Hİ, Yılmaz Ö, Gürkan R. A micellar improved method for trace levels selenium quantification in food samples, alcoholic and nonalcoholic beverages through CPE/FAAS[J]. *Food Chem*, 2013, 139(1–4): 1008–1014.
- [41] Gürkan R, Aksoy Ü, Ulusoy Hİ, *et al.* Determination of low levels of molybdenum (VI) in food samples and beverages by cloud point extraction coupled with flame atomic absorption spectrometry[J]. *J Food Compos Anal*, 2013, 32(1): 74–82.
- [42] 向国强, 温圣平, 江秀明, 等. 浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定样品中的痕量钴[J]. *化工研究*, 2009, 20(4): 83–86.
- Xiang GQ, Wen SP, Jiang XM, *et al.* Determination of trace cobalt in samples by flame atomic absorption spectrometry after cloud point extraction[J]. *Chem Res*, 2009, 20(4): 83–86.
- [43] 温圣平, 向国强, 王瑞丽, 等. 浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定大米样品中的痕量镉[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2010, 31(2): 66–70.
- Wen SP, Xiang GQ, Wang RL, *et al.* Determination of trace



- cadmium in rice samples by cloud point extraction and flame atomic absorption spectrometry[J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci)*, 2010, 31(2): 66-70.
- [44] 杨方文, 王洪波, 张波. 浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定荔枝和桂圆肉中的痕量铜[J]. *化学研究与应用*, 2011, 23(7): 951-954.  
Yang WF, Wang HB, Zhang B. Determination of trace copper (II) in itchi and longan by cloud point extraction-flame atomic absorption spectrometry[J]. *Chem Res Appl*, 2011, 23(7): 951-954.
- [45] 秦九红, 陈静, 向国强, 等. 浊点萃取-火焰原子吸收光谱法测定食品和饮料中的痕量铜[J]. *化学研究*, 2010, 21(5): 72-75.  
Qin JH, Chen J, Xiang GQ, *et al.* Determination of trace copper in food and beverage by flame absorption spectrometry -cloud point extraction[J]. *Chem Res*, 2010, 21(5): 72-75.
- [46] Lemos VA, Baliza PX, de Carvalho AL. *et al.* Development of a new sequential injection in-line cloud point extraction system for flame atomic absorption spectrometric determination of manganese in food samples[J]. *Talanta*, 2008, 77(1): 388-393.
- [47] Lemos VA, David GT. An on-line cloud point extraction system for flame atomic absorption spectrometric determination of trace manganese in food samples[J]. *Microchem J*, 2010, 94(1): 42-47.

(责任编辑: 赵静)

### 作者简介



杨艳红, 博士, 中级工程师, 主要研究方向为食品、石油化工产品安全研究及检测。

E-mail: yanyan0160@hotmail.com