

气相色谱-质谱法快速筛查食物中毒中 15 种 农药残留

杨 静*, 刘 超, 杨龙祥

(滁州市疾病预防控制中心, 滁州 239000)

摘 要: **目的** 建立气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)快速定性及半定量检测食物中毒后呕吐物、血液中 15 种农药残留的方法。**方法** 呕吐物、血液分别采用乙腈、乙酸乙酯溶剂超声萃取, 提取液经分散固相萃取法净化, 上清液氮吹浓缩至 1 mL, 通过气相色谱-质谱法检测分析。**结果** 15 种农药在 0.1~3.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 浓度范围内线性关系良好, 相关系数为 0.992~0.998, 检出限为 0.001~0.005 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 平均回收率为 73.2%~96.6%, 相对标准偏差为 1.7%~9.4%。**结论** 本方法操作过程简便、快速, 重复性和准确性较好, 适用于食物中毒事件中呕吐物及血液样品中多种农药的检测。

关键词: 食物中毒; 农药; 气相色谱-质谱法; 快速筛查

Rapid screening of 15 kinds of pesticide residues in food poisoning by gas chromatography-mass spectrometry

YANG Jing*, LIU Chao, YANG Long-Xiang

(Chuzhou Center for Disease Control and Prevention, Chuzhou 239000, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the rapid qualitative and semi-quantitative determination of 15 kinds of pesticide residues in vomit and blood after food poisoning with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). **Methods** The vomit and blood were extracted by ultrasonic extraction with acetonitrile and ethyl acetate respectively. The extraction solution was purified by dispersive solid phase extraction. The supernatant liquid nitrogen was blown and concentrated to 1 mL, and then detected and analyzed by GC-MS. **Results** The 15 kinds of pesticides had good linear relationships within the concentration range of 0.1–3.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, and the correlation coefficients were 0.992–0.998. The limits of detection were 0.001–0.005 $\mu\text{g}/\text{mL}$. The average recovery rates were 73.2%–96.6%, and the relative standard deviations were 1.7%–9.4%. **Conclusion** This method is simple, rapid, repeatable and accurate, and suitable for the detection of various pesticides in vomitus and blood samples in food poisoning incidents.

KEY WORDS: food poisoning; pesticides; gas chromatography-mass spectrometry; rapid screening

基金项目: 滁州市科技计划项目(2019ZN009)

Fund: Supported by the Chuzhou Science and Technology Plan Project (2019ZN009)

*通讯作者: 杨静, 副主任技师, 主要研究方向为食品及水质检验。E-mail: 972525444@qq.com

*Corresponding author: YANG Jing, Associate Chief Technician, Chuzhou Centers for Disease Control and Prevention, Chuzhou 239000, China. E-mail: 972525444@qq.com

1 引言

我国农药的生产量与使用量排名世界第一,部分农户使用农药不科学、不规范等原因导致的误食、污染食品的农药中毒,是比较常见的化学性食物中毒事件^[1],还可能会造成突发的群体性公共卫生安全事件。当此类农药中毒事件发生后对患者的及时抢救是非常重要的,因此实验室对中毒因子快速筛查确证对于事件的处置有重要的意义。而气相色谱-质谱联用法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)通过色谱分离,质谱作为检测器进行定性和定量分析。根据样品的全扫描总离子流图(total ion chromatogram, TIC)对各谱峰质谱图特征离子进行谱库(NIST 谱库)检索,当获得可疑目标物时比对标准物质的质谱图及保留时间,从而对中毒样品中未知毒物进行鉴定确认^[2,3]。由于一个样品可能有多个可鉴别的色谱峰,人工逐个进行谱库检索,会耗费大量的时间。而利用 GC-MS 分析软件中自动解卷积技术(automated mass spectral deconvolution & identification system, AMDIS)能从样品的 TIC 图中自动快速筛查目标化合物,特别在鉴定基质复杂的样品时,AMDIS 能将叠加在一起的色谱图拆分,提取到在一个重叠峰里的单个组分的色谱峰和质谱图,与谱库中的化合物自动筛选进行匹配。GC-MS-AMDIS 技术查找鉴定未知物比单纯 GC-MS 法更加快速、准确,因此被广泛应用于农残检测、毒物鉴定等领域^[4-6]。

按照化合物类别,农药分为有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类、有机氯类等多类别农药。其中有机磷类农药因品种多、毒性强、使用广泛而引发的食物中毒在农药中毒事件中经常出现。而应用 GC-MS 法对食物中毒后人体呕吐物及血液样品中多种农药的检测研究相对较少。本研究选择部分国内常用、毒性较大,易引起中毒的 15 种农药,包括有机磷、氨基甲酸酯及菊酯类农药^[7-9],以常见的中毒样品(模拟呕吐物、血液)作为研究对象,建立气相色谱-质谱法快速定性和半定量方法,力求在农药导致的食物中毒事件中尽早确定中毒原因,患者尽早对症治疗,同时为事件的及时处置提供技术支持。

2 材料与方 法

2.1 仪器与试剂

7980B/5977A GC-MS(美国安捷伦公司); NIST2011 质谱库(美国 Agilent 公司); DB-5MS 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm, 美国 Agilent 公司); TGL-20M 台式高速冷冻离心机(长沙湘仪离心机仪器公司); KQ3200 型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); MTN-5800A 氮吹浓缩装置(天津奥特赛恩斯仪器有限公司)。

丙酮(色谱纯,美国 Fisher 公司); 乙腈、乙酸乙酯(色

谱纯,美国 TEDIA 公司); 敌敌畏、甲拌磷、乐果、氯唑磷、甲基对硫磷、马拉硫磷、毒死蜱、对硫磷、水胺硫磷、杀扑磷、三唑磷、异丙威、克百威、甲氰菊酯、氯氟氰菊酯等 15 种农药标准(1000 μg/mL, 农业部环境保护科研监测所); 氯化钠、无水硫酸钠(分析纯,天津市科密欧有限公司); 15 mL 分散固相萃取管(内含 900 mg 硫酸镁、150 mg N-丙基乙二胺、150 mg C₁₈, 美国 Agilent 公司)。

血液为健康人的空白抗凝血; 模拟呕吐物: 取熟制米饭、菜、肉按照 3:2:1(m:m:m)份量混合生理盐水搅碎成食糜备用; 中毒患者的呕吐物(从现场采集)。

2.2 标准溶液的配制

准确移取 1 mL 上述 15 种农药单标溶液于 100 mL 容量瓶中, 丙酮定容配制成为 10 μg/mL 混标储备液。

2.3 仪器条件

进样口温度 250 °C, 进样方式不分流进样, 升温程序: 初始温度为 60 °C, 保持 2 min, 以 25 °C/min 升至 150 °C, 5 °C/min 升至 210 °C, 再以 25 °C/min 升至 280 °C, 保持 10 min。载气: 氮气(纯度 ≥ 99.999%), 载气流速 1.0 mL/min, 进样量 1 μL。质谱条件: 离子源: EI; 电子能量: 70 eV; 离子源温度: 230 °C; 四级杆温度: 150 °C; 接口温度: 280 °C; 溶剂延迟 5 min。质量扫描范围: 50~50(m/z); 扫描方式: 全扫描离子采集方式(Scan)和选择离子采集方式。

2.4 样品前处理

2.4.1 呕吐物样品前处理方法

取 10 g 样品至 50 mL 离心管, 加入 10 mL 乙腈、5 g 无水硫酸钠及陶瓷均质子漩涡混匀 1 min, 加入 2 g 氯化钠继续振摇 1 min, 超声提取 10 min, 6000 r/min 5 °C 低温离心 10 min, 将上层乙腈层全部吸取至 15 mL 分散固相萃取管净化, 漩涡混匀 1 min, 离心 5 min, 吸出乙腈层, 重复提取 1 次, 合并乙腈提取液 40 °C 氮吹浓缩至 1 mL, 过 0.22 μm 滤膜上机检测。

2.4.2 血液前处理方法

用 15 mL 离心管取 2 mL 血样, 加入 5 mL 乙酸乙酯, 漩涡混匀 1 min, 超声提取 10 min, 6000 r/min 5 °C 低温离心 10 min 后吸出全部乙酸乙酯层, 重复提取 1 次, 合并提取液至 15 mL 分散固相萃取管, 漩涡混匀 1 min, 离心 5 min, 吸取上清液 30 °C 氮吹浓缩至 1 mL, 过 0.22 μm 滤膜上机检测。

3 结果与分析

3.1 条件的优化

3.1.1 仪器条件的优化

本实验选用 DB-5ms 弱极性色谱柱分析多种农药成分, 它的固定相是 5% 的苯基、95% 的聚硅氧烷, 具有通用性强、

柱流失低的优点。柱温的初始温度为 60 °C, 逐步升至 280 °C, 保证低沸点组分和高沸点组分在色谱柱中都有适宜的保留, 利于各组分完全分离。最后在 280 °C 保持 10 min, 充分去除样品中残留组分。将农药混合标准储备液用丙酮稀释至 1.0 µg/mL, 进 1 µL 上机分析。在 m/z 50 ~ 500 范围内进行

全扫描, 确立化合物的保留时间。建立选择离子监测方法: 每种农药分别选择 1 个定量离子、2 个定性离子, 按照出峰顺序, 分时段分别检测。15 种农药混合标准的选择离子流图见图 1, 15 种农药混标在 23 min 内完全分离, 峰形皆较好。各组分的保留时间及特征离子测定结果见表 1。

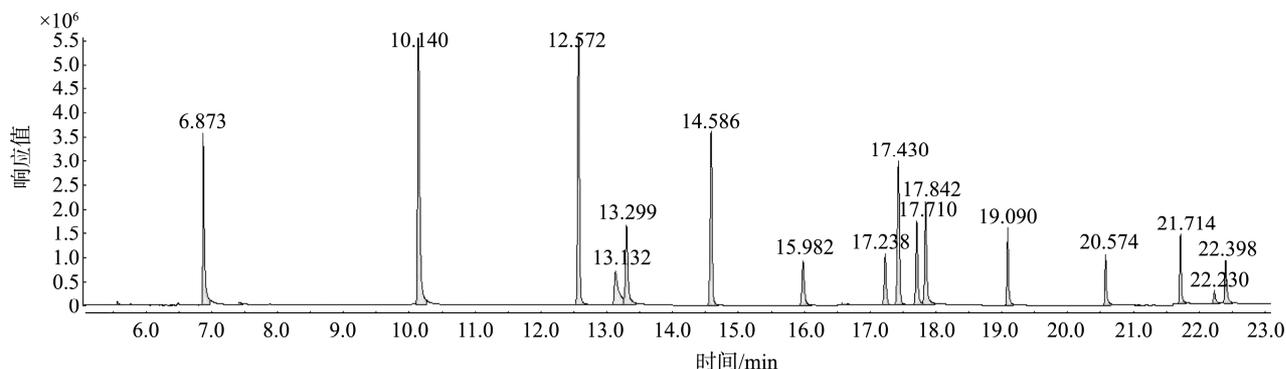


图 1 15 种农药标准色谱图

Fig.1 Standard chromatogram of 15 kinds of pesticides

表 1 15 种农药中各组分的保留时间及特征离子的选择
Table 1 Retention time and selection of characteristic ions of 15 kinds of pesticides

农药	保留时间/min	定量离子	定性离子
敌敌畏	6.873	109	185 79
异丙威	10.140	121	136 91
甲拌磷	12.572	75	121 97
乐果	13.132	87	93 125
克百威	13.299	164	149 221
氯唑磷	14.586	161	119 162
甲基对硫磷	15.982	109	125 263
马拉硫磷	17.238	173	158 143
毒死蜱	17.430	197	199 314
对硫磷	17.710	109	97 291
水胺硫磷	17.842	136	121 120
杀扑磷	19.090	145	85 93
三唑磷	20.574	161	162 172
甲氰菊酯	21.714	181	209 265
氯氟氰菊酯	22.230 22.398	181	197 141

3.1.2 样品前处理方法的优化

食物中毒样品中诸如呕吐物、剩余饭菜类的样品, 采用乙腈作为提取农残的溶剂。与常用溶剂丙酮相比, 乙腈提取出的色素、脂肪等共萃物少, 而且更容易通过加入氯

化钠后盐析、分层去除样品中的水分及杂质。在提取的同时加入陶瓷均质子有利于样品萃取过程的均匀性, 提高萃取效率。溶剂直接提取法虽然简便快速, 但是提取液基质较复杂, 采用分散固相萃取管净化, 具有操作简便、有机溶剂用量小、缩短提取时间的优点^[10-12]。提取过程中超声提取 10 min 及溶剂的二次萃取可有效提取大部分农残, 回收率可提高 10% 以上。见图 2。提取液最后氮吹浓缩至 1 mL, 可以提高方法的灵敏度及目标物的检出率。

3.2 方法学确认

3.2.1 标准曲线线性及检出限

用丙酮逐步稀释农药混标储备液, 配制成浓度范围在 0.1~3.0 µg/mL 标准系列, 以浓度为横坐标, 对应定量离子的峰面积为纵坐标绘制标准曲线, 计算回归方程。以低浓度混合标准溶液的 3 倍信噪比计算最低检出限。按照出峰顺序各组分的结果见表 2。

3.2.2 加标回收实验

为了验证方法的准确度和精密度, 将模拟呕吐物、空白抗凝血进行加标回收实验。按 0.5、1.0、2.0 µg/mL 3 个浓度进行样品加标, 采用上述方法提取农残并检测, 每个浓度重复测定 6 次。计算方法的回收率和相对标准偏差 (relative standard deviation, RSD)。结果见表 3~表 4。从检测结果来看, 呕吐物和抗凝血的平均加标回收率范围为 73.2%~96.6%, 相对标准偏差范围为 1.7%~9.4%, 能够满足农药多残留分析的检测质量要求^[13]。

通过 AMDIS 自动检索并与 NIST 谱库匹配识别, 本方法中加标样品中 15 种农药残留与 NIST 谱库匹配度均在 85% 以上, 与标准溶液的保留时间差均小于 0.01 min, 说明可以用于实际检测工作中^[14]。

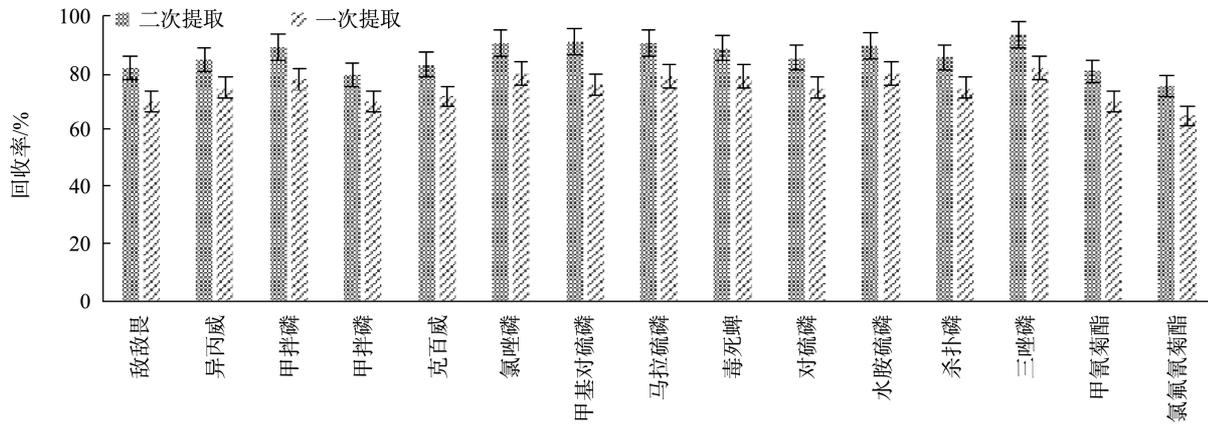
图 2 超声及二次提取对提取效率的影响($n=6$)Fig.2 Effects of ultrasonic and secondary extraction on extraction efficiency ($n=6$)

表 2 15 种农药标准曲线及回归方程

Table 2 Standard curves and regression equations of 15 kinds of pesticides

农药名称	浓度范围/($\mu\text{g/mL}$)	线性方程	相关系数 r^2	检出限/($\mu\text{g/mL}$)
敌敌畏	0.1~3.0	$Y=1211418X+106776$	0.992	0.001
异丙威	0.1~3.0	$Y=1982810X+72230$	0.996	0.001
甲拌磷	0.1~3.0	$Y=1264609X-4280$	0.997	0.001
乐果	0.1~3.0	$Y=812788X-58170$	0.994	0.005
克百威	0.1~3.0	$Y=112154X+25909$	0.994	0.003
氯唑磷	0.1~3.0	$Y=522476X-9288$	0.998	0.001
甲基对硫磷	0.1~3.0	$Y=603126X-105005$	0.993	0.002
马拉硫磷	0.1~3.0	$Y=852585X+33973$	0.995	0.001
毒死蜱	0.1~3.0	$Y=352267X-13756$	0.996	0.003
对硫磷	0.1~3.0	$Y=266485X-44876$	0.992	0.002
水胺硫磷	0.1~3.0	$Y=838032X-75699$	0.998	0.001
杀扑磷	0.1~3.0	$Y=941947X-122709$	0.994	0.003
三唑磷	0.1~3.0	$Y=592169X-89717$	0.996	0.003
甲氧菊酯	0.1~3.0	$Y=307742X+4342$	0.998	0.002
氯氟氰菊酯	0.1~3.0	$Y=1068331X-95915$	0.996	0.002

表 3 呕吐物的平均加标回收率和相对标准偏差($n=6$)Table 3 Average recoveries and RSDs of vomit ($n=6$)

农药名称	加标水平					
	0.5 mg/kg		1.0 mg/kg		2.0 mg/kg	
	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%
敌敌畏	81.8	4.4	87.4	4.2	91.0	2.3
异丙威	84.9	8.5	83.8	6.3	90.2	2.8
甲拌磷	89.1	5.4	85.3	4.7	84.6	6.8
乐果	79.7	4.2	77.2	5.9	83.7	2.5

续表 3

农药名称	加标水平					
	0.5 mg/kg		1.0 mg/kg		2.0 mg/kg	
	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%
克百威	83.1	8.3	90.7	9.4	87.6	1.7
氯唑磷	90.5	7.8	91.4	8.2	86.7	6.5
甲基对硫磷	91.2	6.4	90.7	2.1	96.6	5.2
马拉硫磷	90.5	4.1	90.6	5.3	89.6	6.2
毒死蜱	88.9	6.1	89.5	2.6	91.1	4.5
对硫磷	85.4	5.2	88.5	3.6	79.8	5.6
水胺硫磷	89.5	7.3	88.4	4.3	88.9	2.7
杀扑磷	85.6	3.2	88.6	4.7	90.4	3.6
三唑磷	93.5	6.4	91.4	6.2	90.8	5.4
甲氰菊酯	80.8	8.5	81.9	5.4	74.4	4.9
氯氟氰菊酯	75.6	7.3	79.2	4.8	80.6	6.8

表 4 血液的平均加标回收率和相对标准偏差($n=6$)
Table 4 Average recoveries and RSDs of blood ($n=6$)

农药名称	加标水平					
	0.5 mg/L		1.0 mg/L		2.0 mg/L	
	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%
敌敌畏	83.3	5.2	88.3	2.5	91.8	3.1
异丙威	76.0	5.0	82.6	5.3	90.0	4.6
甲拌磷	88.5	6.8	92.3	8.7	91.2	2.9
乐果	73.2	7.5	75.9	4.1	81.6	4.7
克百威	83.2	7.2	85.1	6.8	84.5	5.8
氯唑磷	92.5	6.2	91.4	3.2	93.4	2.9
甲基对硫磷	90.5	5.4	91.8	4.8	90.6	4.1
马拉硫磷	91.3	6.1	88.6	3.2	86.4	3.8
毒死蜱	87.3	8.5	81.1	3.1	92.1	5.9
对硫磷	75.6	8.8	76.5	7.9	80.3	7.4
水胺硫磷	80.3	3.2	85.6	4.6	78.8	6.7
杀扑磷	90.5	6.3	91.8	6.9	89.7	4.5
三唑磷	89.6	4.7	90.4	5.6	88.4	3.9
甲氰菊酯	79.4	3.7	80.7	3.9	85.3	4.1
氯氟氰菊酯	80.3	4.2	78.6	3.6	88.6	3.9

3.3 实际样品分析测定

运用相同的仪器条件及检测方法, 在一份农药中毒

患者呕吐物中检出敌敌畏成分, 由于基质复杂, 在敌敌畏 6.8 min 保留时间段有干扰, 人工检索容易漏检, 通过 AMDIS 分离重叠峰, 并与谱库进行匹配检索, 在 5 min 内

识别出中毒成分, 匹配度达到 83%。通过标准物质外标法半定量的结果为 0.42 mg/kg。

4 结 论

由于农药的种类繁多, 截止到 2020 年 3 月共批准农药登记 877 个^[15], 实验室不可能储存大量农药标准品, 通过 GC-MS-AMDIS 快速筛查出可疑目标物, 可以有针对性的购买标准物质并在同样的方法下进行 GC-MS 分析, 对其保留时间、质谱碎片及其丰度进行比较、确证及半定量检测。本实验室仪器中 NIST11 谱库中有 20 多万种化合物的信息, 为分析基质复杂的农药中毒样品提供强大的技术支持。

食品安全问题是一个社会性问题, 涉及面广且影响因素复杂, 高效、准确的快速检测技术是当前安全监管的有力支撑^[16]。本研究针对食物中毒后的呕吐物及血液样品建立简单的前处理方法, 利用 GC-MS 快速筛查鉴定 15 种农药中毒的方法准确度和重现性较好, 有机试剂用量小, 从样品提取到检测能在 2 h 内完成, 可操作性强, 可以满足基层实验室中农药中毒的应急检测, 同时该方法可以推广到 GC-MS 能够检测的其他农药中毒鉴定中。

参考文献

- [1] 邵兵, 张晶, 高馥蝶, 等. 化学性食物中毒因子检测技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(3): 625-635.
Shao B, Zhang J, Gao FD, *et al.* Research advances on toxicological screening techniques for chemical food poisoning accidents [J]. J Food Saf Qual, 2013, 4(3): 625-635.
- [2] 沈平, 彭进, 谢朝梅. GC-MS 同时检测食品中多种常见毒物的方法研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(4): 781-787.
Shen P, Peng J, Xie CM. Determination of various poisons in common in food by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chin J Health Lab, 2011, 21(4): 781-787.
- [3] 杜然. GC/MS 法检测混合型农药中毒死亡 1 例[J]. 中国法医学杂志, 2015, 30(6): 626-627.
Du R. A case of death from mixed pesticide poisoning detected by GC/MS [J]. Chin J Forens Med, 2015, 30(6): 626-627.
- [4] 黄盈煜, 谢维平, 欧阳燕玲. GC/MS/AMDIS 系统在茶叶中 17 种有机氯和拟除虫菊酯农药残留检测确证中的应用[J]. 中国卫生检验杂志, 2010, 20(7): 1606-1608.
Huang YY, Xie WP, Ouyang YL. Application of GC/MS/AMDIS to analysis and confirmation of 17 organochlorine and pyrethroid pesticide residue in tea [J]. Chin J Health Lab, 2010, 20(7): 1606-1608.
- [5] 刘奋, 李添娣, 谢玉璇. GC/MS/AMDIS 在血中农药快速筛查中的应用研究[J]. 职业与健康, 2016, 32(24): 3345-3348.
Liu F, Li TD, Xie YX. Study on rapid screening of pesticides in human blood by GC/MS/AMDIS [J]. Occup Health, 2016, 32(24): 3345-3348.
- [6] Meyer MR, Peters FT, Maurer HH. Automated mass spectral deconvolution and identification system for GC-MS screening for drugs, poisons, and metabolites in urine [J]. Clin Chem, 2010, 56(4): 575-584.
- [7] 李飞, 郑双来, 金顺亮. 2006—2012 年杭州市余杭区急性农药中毒流行病学特征分析[J]. 疾病监测, 2013, 28(11): 933-935.
Li F, Zheng SL, Jin SL. Epidemiology of acute pesticide poisoning in Yuhang, Hangzhou, 2006-2012 [J]. Dis Surv, 2013, 28(11): 933-935.
- [8] 高云, 何芳, 邢漪, 等. 云南省 2007—2013 年农药中毒流行病学分析[J]. 中国公共卫生, 2016, 32(8): 1078-1081.
Gao Y, He F, Xing Y, *et al.* Epidemiological characteristics of pesticide poisoning in Yunnan province, 2007-2013 [J]. Chin J Public Health, 2016, 32(8): 1078-1081.
- [9] 李跃翔. 2007-2016 年东台市生产性农药中毒特征分析[J]. 江苏预防医学, 2018, 29(5): 587-588.
LI YP. Analysis on the characteristics of pesticide poisoning in Dongtai city, 2007-2016 [J]. Jiangsu J Prev Med, 2018, 29(5): 587-588.
- [10] 刘佳铭, 李雯婷, 潘惠勤, 等. 多种样品前处理方法在高分辨质谱法检测农药残留中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(2): 433-442.
Liu JM, Li WT, Pan HQ, *et al.* Application of various sample pretreatment methods in the detection of pesticide residues by high resolution mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(2): 433-442.
- [11] 王慎苓, 于丽, 李安荣, 等. QuEChERS 方法在果蔬农药多残留检测中的应用[J]. 食品与药品, 2019, 21(3): 231-234.
Wang SL, Yu L, Li AR, *et al.* Application of QuEChERS in detection of pesticide multi-residues in fruits and vegetables [J]. Food Drug, 2019, 21(3): 231-234.
- [12] 刘缙, 毛海峰, 蔡红新, 等. 基质分散固相萃取-气质联用法分析人血中拟除虫菊酯类农药[J]. 刑事技术, 2020, 45(2): 169-172.
Liu J, Mao HF, Cai HX, *et al.* Determination of pyrethroid pesticides in human blood by QuEChERS-GC/MS [J]. Forens Sci Technol, 2020, 45(2): 169-172.
- [13] 董静, 吕建霞, 宫小明, 等. 农药残留分析质量控制程序[J]. 分析科学学报, 2009, 25(2): 244-248.
Dong J, Lv JX, Gong XM, *et al.* Quality control procedures for pesticide residues analysis document [J]. J Anal Sci, 2009, 25(2): 244-248.
- [14] 许大年, 刘石磊. 色谱-质谱自动处理与鉴定系统—AMDIS 简介[J]. 现代科学仪器, 2002, (6): 42-44.
Xu DN, Liu SL. Introduction of an automated mass spectral deconvolution and identification system—AMDIS [J]. Mod Sci Instrum, 2002, (6): 42-44.
- [15] 信息窗口. 近期农药登记概况[J]. 农药科学与管理, 2020, 41(4): 64-68.
Information window. Recent pesticide registration [J]. Pest Sci Admin, 2020, 41(4): 64-68.
- [16] 卢瑛. 食品安全快速检测技术研究动态[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(11): 3383-3384.
Lu Y. Research trends on rapid detection techniques of food safety [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(11): 3383-3384.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

杨 静, 副主任技师, 主要研究方向为食品及水质检验。
E-mail: 972525444@qq.com