

QuEChERS-气相色谱-质谱联用法快速检测 植物源性食品中 24 种农药残留

钟韵梅^{1*}, 丛梅梅¹, 牟善婷¹, 王若菲¹, 马 杰^{2*}

(1. 通化市疾病预防控制中心, 通化 134001; 2. 吉林省疾病预防控制中心, 长春 130062)

摘 要: 目的 建立 QuEChERS-气相色谱-质谱联用法(gas chromatography-mass spectrometry, GC/MS) 测定植物源性食品中有机磷、有机氯、拟除虫菊酯类等 24 种农药残留的检测技术。**方法** 植物源性食品中多组分农药残留通过乙腈与 QuEChERS 试剂包提取、净化、浓缩, 经气相色谱质谱联用仪分析测定, 选择离子模式下监测, 外标法定量。**结果** 在 0.010~1.0 mg/L 范围内, 24 种农药的质量浓度与对应的峰面积间呈良好的线性关系, 相对系数均大于 0.994。分别取蘑菇、山药、苹果为空白基质样品, 以 0.1 mg/kg 浓度进行加标实验, 24 种农药的平均回收率在 71.4%~108.7% 之间, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD) 在 2.03%~11.78%($n=6$) 之间。方法的检出限 2~5 $\mu\text{g/kg}$, 定量限为 6~15 $\mu\text{g/kg}$ 。**结论** 该方法简单、快速、准确、灵敏度高, 可用于植物性样品中多种农药残留的同时检测分析。

关键词: QuEChERS; 气相色谱-质谱联用法; 农药残留; 植物源性食品

Determination of 24 kinds of pesticide residues in plant-derived foods by QuEChERS-gas chromatography-mass spectrometry

ZHONG Yun-Mei^{1*}, CONG Mei-Mei¹, MU Shan-Ting¹, WANG Ruo-Fei¹, MA Jie^{2*}

(1. Tonghua Center for Disease Control and Prevention, Tonghua 134001, China; 2. Jilin Provincial Center for Disease Control and Prevention, Changchun 130062, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for determination of 24 pesticide residues such as organophosphorus, organochlorine and pyrethroids in plant-derived foods by QuEChERS-gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS). **Methods** Multi-component pesticide residues in plant-derived foods were extracted, purified and concentrated by acetonitrile and QuEChERS reagents. The samples were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry, monitored under selected ion mode and quantified by external standard method. **Results** In the range of 0.010~1.0 mg/L, the mass concentration of 24 pesticides showed a good linear relationship with the corresponding peak area, and the relative coefficients were all greater than 0.994. Samples of mushroom, yam and apple were taken as blank substrate respectively, and the standard experiment was carried out at the concentration of 0.1 mg/kg. The average recovery of 24 pesticides ranged from 71.4% to 108.7%, and the relative standard deviations were between 2.03% and 11.78% ($n=6$). The limit of detection of method were 2-5 $\mu\text{g/kg}$ and the

*通讯作者: 钟韵梅, 硕士, 主管技师, 主要研究方向为理化检验。E-mail: 308601729@qq.com

马杰, 硕士, 主管技师, 主要研究方向为理化检验。E-mail: 81368296@qq.com

*Corresponding author: ZHONG Yun-Mei, Master, Technician, Tonghua Center for Disease Control and Prevention, Tonghua 134001, China. E-mail: 308601729@qq.com

MA Jie, Master, Technician, Tonghua Center for Disease Control and Prevention, Tonghua 134001, China. E-mail: 81368296@qq.com

limit of quantitation were 6-15 $\mu\text{g}/\text{kg}$. **Conclusion** This method is simple, rapid, accurate and sensitive, which can be used for simultaneous detection and analysis of various pesticide residues in plant samples.

KEY WORDS: QuEChERS; gas chromatography-mass spectrometry; pesticide residue; plant-derived foods

1 引 言

随着社会的进步和公众健康意识的提高, 食品中农药残留问题备受关注。农药残留检测在安全评价、监督控制农产品污染和保证质量安全方面是必不可少的手段, 而样品种类繁多、基质复杂, 存在大量干扰因素, 而且需要检测的残留农药种类多、性质差异大、含量少^[1-4]。及时、高效、全面是农药残留监测工作的关键字, 农残检测也是国家食品安全风险监测工作的重要部分。

我国使用农药防治农作物病虫害的历史由来已久, 是农药生产和使用的大国。农药能够为农作物的供应带来保证, 同时也带来危害健康的农药残留问题。目前中国植源性食物中农药残留的检测方法主要有气相色谱-火焰光度法^[5-9]和气相色谱-电子捕获法等^[10-13], 不同种类农药的使用, 农药残留分析已不能满足单一农药检测, 需要进行多种农药同时检测。而关于食品中多组分农药残留一起检出的快速、高效的检测方法较少。QuEChERS 方法^[14,15]具有快速、简便、成本低的优点, 已成为欧洲标准委员会认可的快速检测方法, 被广泛运用于植物性食品中农药残留的检测分析。

在此基础上, 本研究对植物性样品中有机磷、有机氯、拟除虫菊酯类农药进行测定, 共选择 24 种农药为研究对象, 使用 QuEChERS 前处理技术和气相色谱-质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometer)联合分析测定, 以期更好地满足食品风险监测工作需要, 实现快速、方便、有效、可靠的多种农药残留同时检测。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

7890B-5977B 气相色谱-串联质谱仪(配备 Extra 离子源, 美国安捷伦公司); WSZ-200A 氮吹仪(北京优晟联合科技公司); BT423S 天平(0.001 g)、BT224S 天平(0.0001 g)(德国赛多利斯公司); 涡混 v2s025 涡旋混合器(德国 IKA 公司); z326k 离心机(德国 Hermle 公司)。

乙腈、丙酮、乙酸乙酯(色谱纯, 德国 Merck 公司); QuEChERS 萃取盐包(含无水硫酸镁 4 g、氯化钠 1 g、柠檬酸钠 1 g、柠檬酸氢二钠 0.5 g)、净化离心管 I(含无水硫酸镁 900 mg 及 PSA 150 mg)、净化离心管 II(含无水硫酸镁 885 mg、PSA 150 mg 及石墨化炭黑 GBS 15 mg)(安捷伦公司); 0.22 μm 有机滤膜(上海安普公司); 氮气(99.999%, 长春巨洋气体有限公司); 24 种农药标准品: 氧乐果、甲拌磷、五

氯硝基苯、百菌清、氟甲腈、甲拌磷亚砷、甲拌磷砷、毒死蜱、水胺硫、甲基异硫磷、氟虫腈亚砷、氟虫腈砷、腐霉利、 α -硫丹、腈菌唑、氟虫腈砷、 β -硫丹、恶霜灵、三唑磷、硫丹硫酸酯、异菌脲、氯氟氰菊酯、氟氯氰菊酯、吡啶醚菌酯(含量均 $\geq 96.6\%$, 上海安普公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 色谱工作条件

色谱柱: HP-5MS(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm); 进样方式: 不分流进样, 进样量: 1 μL ; 流速: 纯度为 99.999% 的 He 为载气, 恒定流速 1 mL/min; 进样口温度: 250 $^{\circ}\text{C}$; 柱温: 起始温度 40 $^{\circ}\text{C}$, 保持 1 min, 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升到 120 $^{\circ}\text{C}$, 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升到 280 $^{\circ}\text{C}$, 保持 10 min。

2.2.2 质谱条件

质谱条件: 离子源: Extra; 传输线温度: 250 $^{\circ}\text{C}$; 离子源温度: 230 $^{\circ}\text{C}$; MS 四极杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$; 电离电压: 70 eV; 扫描质量数范围(m/z): 50~400。溶剂延迟时间: 10 min。选择离子监测(m/z): 每种目标化合物分别选择 1 个定量离子和 1~2 个定性离子, 保留时间、定量离子、定性离子及定量离子, 详细数据参见表 1。

2.2.3 标准混合溶液配制

分别称取 24 种农药标准品 10 mg(精确至 0.1 mg)置于 10 mL 容量瓶中, 以丙酮为溶剂, 配制浓度为 1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的储备液。各移取 24 种农药储备液 1 mL 于 100 mL 容量瓶中, 用乙酸乙酯稀释定容, 配制成浓度为 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的混合标准中间溶液。以乙酸乙酯稀释配制成不同浓度的混合标准曲线溶液(10.0、25.0、50.0、100.0、200.0、400.0、800.0、1000 $\mu\text{g}/\text{L}$ 或其他浓度), 待测。

2.2.4 样品的制备和保存

取一定量新鲜样品(新鲜样品不少于 200 g, 干性样品 50 g 左右), 初步切碎用匀浆机磨碎(注意不要过分研磨), 干性样品经均质机磨碎过 40 目筛, 四分法取样。所取样品平均分为 2 份, 1 份供测定, 另一份放置于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存、备用。待检样品于常温下解冻至室温待测(注: 在抽样及制样的操作过程中, 应防止样品受到污染或发生残留物含量的变化)。

2.2.5 样品前处理

称取样品 10 g(精确至 0.01 g)于 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 乙腈。加入 QuEChERS 萃取盐包, 陶瓷均质子 1 颗, 盖上离心管盖, 手动快速振荡混匀 1 min, 防止盐类结块。4200 r/min 离心 5 min, 取上清液 6 mL。普通浅色试样置于净化离心管 I; 有色试样置于净化离心管 II, 涡旋混匀约 1 min。4200 r/min 离心 5 min, 取上清液 4 mL 于 10 mL 离心管中, 氮

气吹近干, 用乙酸乙酯复溶, 过微孔滤膜, 用于GC/MS测定。

3 结果与分析

3.1 前处理方法的选择

常规的农残提取方法大多数为溶剂浸泡, 再经固相

萃取小柱净化, 溶剂洗脱提取农残。该方法步骤繁琐, 有机试剂消耗大, 样品量多的分析, 耗时长, 试剂污染比较严重。QuEChERS 快速提取法与传统固相萃取小柱方法对比, 对回收率没有显著区别, 已经被很多科研团队验证, 在国际上得到广泛应用和推广^[16,17]。

表 1 农药残留的保留时间和特征碎片监测离子
Table 1 Retention times and characteristic ions of pesticide residues

序号	农药中文名	英文名称	保留时间/min	定量离子(<i>m/z</i>)	定性离子(<i>m/z</i>)
1	氧化乐果	omethoate	14.528	156	110/79
2	甲拌磷	phorate	16.533	75	121/97
3	五氯硝基苯	quintozene	18.104	237	265/249
4	百菌清	chlorothalonil	19.053	266	264/268
5	氟甲腈	fipronil-desulfinyl	21.026	388	333/390
6	甲拌磷亚砷	phorate sulfoxide	21.841	97	125/153
7	甲拌磷砷	phorate-sulfone	22.137	97	153/125
8	毒死蜱	chlorpyrifos	22.352	197	199/97
9	水胺硫磷	isocarbofos	22.608	120	121/136
10	甲基异硫磷	isofenphos-methyl	23.361	121	58/199
11	氟虫腈亚砷	fipronil-sulfide	23.785	351	353/352
12	氟虫腈	fipronil	24.036	367	369/213
13	腐霉利	procymidone	24.178	96	283/285
14	α -硫丹	alpha-endosulfan	24.788	241	239/195
15	腈菌唑	myclobutanil	26.102	179	150/181
16	氟虫腈砷	fipronil-sulfone	26.370	383	385/255
17	β -硫丹	beta-endosulfan	26.874	195	241/207
18	恶霜灵	oxadixyl	27.482	105	163/132
19	三唑磷	triazophos	28.024	161	162/172
20	硫丹硫酸酯	endosulfan-sulfate	28.437	272	274/229
21	异菌脲	iprodione	30.184	314	316/187
22	氯氟氰菊酯	cyhalothrin	32.652	181	197/208
23	氟氯氰菊酯(I-IV)	cyfluthrin	35-36	163	165/206
24	吡唑醚菌酯	pyraclostrobin	37.576	132	164/111

本研究涉及农药残留种类较多, 结构复杂, 通过实验优化, 选取对大多数有机物溶解性较好的乙腈为提取溶剂, 对含水量相对较高的植物源性样品中农药残留的提取效率较好。选用 QuEChERS 快速提取方法, 节省了提取时间, 减少了大量有机试剂带来的污染, 按照样品含色素的多少, 净化过程采用不同的净化离心管。在保证回收率的情况下, 对植物源性样品中 24 种杀虫剂、杀菌剂农药残留进行测定

研究, 真正实现了多组分农残的快速提取, 以及测定的高效性和可靠性。

3.2 色谱条件的选择

以浓度为 1 mg/L 的混合标准溶液对 24 种农药混合标准进行气相色谱条件优化, 达到最优的分离效果(见图 1)。全扫描方式进行质谱条件优化, 确定每种农药及其代谢物的定量离子、定性离子、质荷比等。通过优化参数确定色

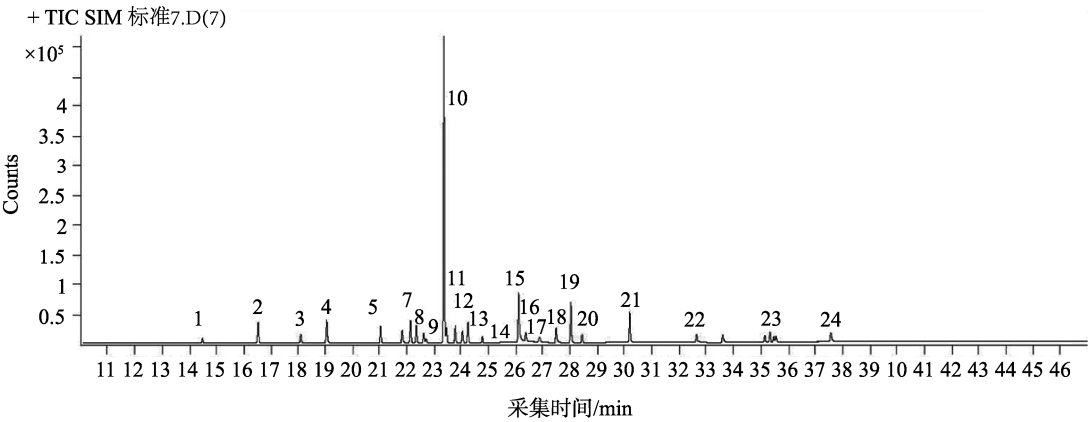
谱采集工作条件, 质谱采集参数, 具体数据参见表 1。

3.3 方法的线性范围及检出限

配制 24 种农药混合标准使用液, 浓度为 10.0、25.0、50.0、100.0、200.0、400.0、800.0、1000 μg/L。以浓度为横坐标, 峰面积为纵坐标, 绘制标准曲线回归方程。24 种农药标准的相关系数(*r*), 方法检出限, 方法定量限如表 2 所示。

3.4 准确度和精密度实验

本实验选取食用菌、蔬菜、水果各一份基质空白样品(蘑菇、山药、苹果), 将 24 种农药以 0.1 mg/kg 浓度进行加标实验, 加入 3 种空白基质样品中, 每种样品做 6 份平行样, 计算平均回收率及相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。由于基质影响, 氧化乐果回收率偏低 70%~80%, 大部分农药的回收均在 80%~110%, 相对标准偏差均<12%(表 3)。



注: 1: 氧化乐果; 2: 甲拌磷; 3: 五氯硝基苯; 4: 百菌清; 5: 氟甲腈; 6: 甲拌磷亚砷; 7: 甲拌磷砷; 8: 毒死蜱; 9: 水胺硫磷; 10: 甲基异硫磷; 11: 氟虫腈亚砷; 12: 氟虫腈; 13: 腐霉利; 14: α-硫丹; 15: 腈菌唑; 16: 氟虫腈砷; 17: β-硫丹; 18: 恶霜灵; 19: 三唑磷; 20: 硫丹硫酸酯; 21: 异菌脲; 22: 氯氟氰菊酯; 23: 氟氯氰菊酯(I-IV); 24: 吡唑醚菌酯。

图 1 24 种农药的总离子流图
Fig.1 Total ion chromatogram of 24 kinds of pesticide

表 2 方法的相关系数、检出限及定量限
Table 2 Correlation coefficients and detection limits of the method

农药名称	相关系数	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)	农药名称	相关系数	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)
氧化乐果	0.9996	0.005	0.015	腐霉利	0.9995	0.003	0.01
甲拌磷	0.9995	0.002	0.006	α-硫丹	0.9998	0.005	0.015
五氯硝基苯	0.9995	0.003	0.01	腈菌唑	0.9978	0.003	0.01
百菌清	0.9994	0.003	0.01	氟虫腈砷	0.9991	0.002	0.006
氟甲腈	0.9999	0.002	0.006	β-硫丹	0.9995	0.005	0.015
甲拌磷亚砷	0.9997	0.003	0.01	恶霜灵	0.9992	0.003	0.01
甲拌磷砷	0.9943	0.003	0.01	三唑磷	0.9998	0.005	0.015
毒死蜱	0.9997	0.003	0.01	硫丹硫酸酯	0.9998	0.005	0.015
水胺硫磷	0.9992	0.005	0.015	异菌脲	0.9993	0.003	0.01
甲基异硫磷	0.9998	0.002	0.006	氯氟氰菊酯	0.9998	0.003	0.01
氟虫腈亚砷	0.9984	0.002	0.006	氟氯氰菊酯	0.9992	0.003	0.01
氟虫腈	0.9997	0.002	0.006	吡唑醚菌酯	0.9994	0.003	0.01

表 3 蘑菇、山药、苹果基质加标的回收率和相对标准偏差 RSD(n=6)
Table 3 Recoveries and RSD results of 24 kinds of pesticides in spiked mushroom, yam and apple(n=6)

农药名称	蘑菇/%	RSD/%	山药/%	RSD/%	苹果/%	RSD/%
氧化乐果	71.4	10.13	77.2	8.63	75.0	11.61
甲拌磷	84.7	3.07	86.7	2.85	90.0	3.64
五氯硝基苯	99.0	5.43	97.2	2.81	95.0	2.48
百菌清	93.0	6.53	96.7	4.32	95.0	5.18
氟甲腈	89.0	4.74	97.0	3.20	96.0	2.93
甲拌磷亚砷	104.0	2.22	102.0	2.54	97.0	2.14
甲拌磷砷	93.7	4.52	95.5	2.76	98.0	5.31
毒死蜱	97.0	3.21	108.0	2.97	108.7	3.47
水胺硫磷	102.0	2.06	97.0	2.32	97.5	3.41
甲基异硫磷	104.0	4.07	99.5	3.99	97.5	3.78
氟虫腈亚砷	88.0	5.06	94.5	4.33	96.5	3.43
氟虫腈	86.0	2.53	97.0	3.74	95.0	3.29
腐霉利	94.0	4.79	97.0	6.01	99.0	6.53
α -硫丹	95.0	2.14	96.0	2.43	101.0	2.03
腈菌唑	78.0	4.37	93.9	5.26	94.4	5.07
氟虫腈砷	92.5	3.67	94.5	2.78	95.0	3.07
β -硫丹	97.0	4.67	96.6	5.07	98.0	3.03
恶霜灵	75.0	6.48	87.0	6.03	81.0	5.14
三唑磷	84.0	4.52	83.0	5.47	87.0	5.37
硫丹硫酸酯	101.0	2.97	99.5	2.45	103.0	3.94
异菌脲	94.8	6.25	93.8	6.78	95.0	5.67
氯氟氰菊酯	86.0	5.01	95.0	5.23	78.0	4.52
氟氯氰菊酯(I-IV)	89.0	5.29	83.9	6.30	81.0	5.97
吡啶醚菌酯	97.0	10.87	98.5	11.32	99.9	11.78

4 结 论

采用先进的 QuEChERS 前处理技术,建立了气相色谱-质谱法对植物源性样品中农药残留量进行快速定性、精准定量的检测技术。通过对样品提取、净化等前处理实验条件进行优化,选择合适的色谱条件和质谱条件对多组分农残进行测定,实现了一次进样可以测定 24 种农药的检测目标,并可以同时应用到检测食用菌、蔬菜、水果等多种植物源性样品中的农残含量。本研究方法的回收率稳定,具有良好的精密度,检出限能满足对植物源性样品中多组分农药残留量的检测要求,可以完成农药的快速测定,更好地应对突发性农药中毒检测。

参考文献

[1] 徐春春. 进口新型农药评估体系的建立及检测技术的研究[D]. 上海: 东华大学, 2016.
Xu CC. Study on establishment of novel imported pesticide evaluation system and detection technology [D]. Shanghai: Donghua University, 2016.
[2] 刘桂科. 我国蔬菜农药残留监管现状及改进措施[J]. 北京农业, 2011, 15: 47-48.
Liu GK. Regulatory status and measures for improvement of pesticide residues in vegetables in China [J]. Beijing Agric, 2011, (15): 47-48.
[3] 郭映花, 邢永华, 杨惠莲, 等. 海东地区大棚蔬菜有机磷农药残留检测分析[J]. 现代预防医学, 2016, (2): 256-258.
Guo YH, Xing YH, Yang HL, et al. Detection and analysis of

- organophosphorus pesticide residues in greenhouse vegetables in the Haidong area [J]. *Mod Prev Med*, 2016, (2): 256–258.
- [4] 孙健, 朱玲勤, 郭映花, 等. 银川市郊大棚蔬菜中有机磷农药残留现状调查[J]. *环境卫生学杂志*, 2014, (2): 128–131.
- Sun J, Zhu LQ, Guo YH, *et al.* Current status of organophosphorus pesticide residues in vegetables grown in greenhouse in Yinchuan suburb [J]. *J Environ Hyg*, 2014, (2): 128–131.
- [5] GB/T 5009.103-2003 植物性食品中甲胺磷和乙酰甲胺磷农药残留量的测定[S].
- GB/T 5009.103-2003 Determination of methamidophos and acephate pesticide residues in plant foods [S].
- [6] GB/T 5009.20-2003 食品中有机磷农药残留量的测定[S].
- GB/T 5009.20-2003 Determination of organophosphorous pesticide residues in foods [S].
- [7] 汤婕, 汤锋, 岳永德, 等. 气相色谱法(GC-FPD)快速测定蔬菜、水果中 18 种有机磷农药残留[J]. *安徽农业大学学报*, 2013, 40(6): 1054–1058.
- Tang J, Tang F, Yue RD, *et al.* Rapid detection of 18 organophosphorus pesticide multiresidue in vegetables and fruits with (GC-FPD) [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2013, 40(6): 1054–1058.
- [8] Zhao WJ, Sun XK, Deng XN, *et al.* Cloud point extraction coupled with ultrasonic-assisted back-extraction for the determination of organophosphorus pesticides in concentrated fruit juice by gas chromatography with flame photometric detection [J]. *Food Chem*, 2011, 127(2): 683–688.
- [9] Yang YH, Kong WJ, Zhao LH, *et al.* A multiresidue method for simultaneous determination of 44 organophosphorous pesticides in Pogostemon cablin and related products using modified QuEChERS sample preparation procedure and GC-FPD [J]. *J Chromatogr B*, 2015, (974): 118–125.
- [10] GB/T 5009.19-2003 食品中六六六、滴滴涕残留量的测定[S].
- GB/T 5009.19-2003 Determination of HCH and DDT residues in foods [S].
- [11] 邱世婷, 侯雪, 杨晓凤, 等. GC-ECD 检测苦荞茶中的 31 种农药残留不同前处理方法比较[J]. *云南农业大学学报*, 2017, 32(3): 536–542.
- Qiu ST, Hou X, Yang XF, *et al.* Comparison of four different sample treatment methods in the analysis of 31 pesticide residues in buckwheat tea by gas chromatography-electron capture detector [J]. *J Yunnan Agric Univ*, 2017, 32(3): 536–542.
- [12] GB/T 5009.110-2003 植物性食品中氯氰菊酯、氰戊菊酯和溴氰菊酯残留量的测定[S].
- GB/T 5009.110-2003 Determination of cypermethrin, fenvalerate and deltamethrin residues in vegetable foods [S].
- [13] GB/T 5009.146-2008 植物性食品中有机氯和拟除虫菊酯类农药多种残留量的测定[S].
- GB/T 5009.146-2008 Determination of organochlorines and pyrethroid pesticide multiresidues in vegetable foods [S].
- [14] Anastassiades M, Lehotay SJ, Stajnbaher D, *et al.* Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and “dispersive solid-phase extraction” for the determination of pesticide residues in produce [J]. *AOAC Int*, 2003, 86(2): 412–431.
- [15] Payá P, Anastassiades M, Mack D, *et al.* Analysis of pesticide residues using the quick easy cheap effective rugged and safe (QuEChERS) pesticide multiresidue method in combination with gas and liquid chromatography and tandem mass spectrometric detection [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2007, 389(6): 1697–1714.
- [16] Surma MK, Sadowska-Rociek AB, Cieřlik EJ. Evaluation of the QuEChERS method with GC-MS detection for the determination of organochlorine pesticides in food of animal origin [J]. *Food Anal Methods*, 2014, 7(2): 366–376.
- [17] Schenck FJ, Hobbs JE. Evaluation of the quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe (QuEChERS) approach to pesticide residue analysis [J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2004, 73(1): 24–30.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



钟韵梅, 硕士, 主管检验师, 主要研究方向为理化检验。
E-mail: 308601729@qq.com

马 杰, 硕士, 主管技师, 主要研究方向为理化检验。
E-mail: 81368296@qq.com