

超高效液相色谱-串联飞行时间质谱法测定绿茶中 9 种拟除虫菊酯类农药

冯永巍¹, 许文艳¹, 邰宇², 陆佩瑶³, 汪振炯^{4*}

(1. 无锡市食品安全检验检测中心, 无锡 214142; 2. SCIEX 中国应用中心, 上海 200335;
3. 墨尔本大学, 墨尔本 3010; 4. 南京晓庄学院食品科学学院, 南京 211171)

摘要: **目的** 建立绿茶中 9 种拟除虫菊酯农药残留量检测的方法。**方法** 采用超高效液相色谱电喷雾串联飞行质谱对 9 种拟除虫菊酯进行定量和裂解途径研究。**结果** 样品经 QuEChERS 方法处理后上机, 正离子模式下氟氯氰菊酯、氯氰菊酯、溴氰菊酯、氰戊菊酯、氟氰戊菊酯、四溴菊酯易形成 $[M+NH_4]^+$ 加合离子, 苯醚氰菊酯、甲氰菊酯、氟胺氰菊酯易形成 $[M+H]^+$ 加合离子。采用一级母离子定量, 9 种拟除虫菊酯 1~20 $\mu\text{g/L}$ 范围内线性关系良好($r^2>0.99$); 9 种拟除虫菊酯的最低检出限均为 1 $\mu\text{g/kg}$; 2~10 $\mu\text{g/kg}$ 范围内回收率为 85.2%~106.3%; 相对标准偏差(RSD) $\leq 6.1\%$ 。**结论** 方法简便、高效适用于绿茶中拟除虫菊酯类农药残留的快速筛查。

关键词: 拟除虫菊酯; 超高效液相色谱串联飞行时间质谱; 裂解规律

Determination of nine pyrethroids in green tea by ultra high performance liquid chromatogram tandem time of flight mass spectrometry

FENG Yong-Wei¹, XU Wen-Yan¹, HUAN Yu², LU Pei-Yao³, WANG Zhen-Jiong^{4*}

(1. Wuxi Institute for Food Control, Wuxi 214142, China; 2. Shanghai AB SCIEX Analytical Instrument Trading Co. Ltd, Shanghai, 200335 China; 3. University of Melbourne, Melbourne, 3010, Australia; 4. School of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing 211171, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of pesticide residues of 9 pyrethrins in green tea. **Methods** Ultra high performance liquid chromatography electrospray ionization quadrupole-time-of-flight mass spectrometry was used for the quantification and fragmentation pathway of 9 pyrethroids. **Results** After extracting pyrethroids by QuEChERS method, the samples were easy to form $[M+NH_4]^+$ adduct ions under the positive ion mode, while $[M+H]^+$ adduct ion were easy to form under the positive ion mode. The linear relationship of the method were significant within the range of 1~20 $\mu\text{g/L}$ ($r^2>0.99$). The limits of detection of all the 9 pyrethroids were 1 $\mu\text{g/kg}$. The recoveries within the range of 2~10 $\mu\text{g/kg}$ were 85.2~106.3%, and relative standard deviations (RSD) was no less than 6.1%. Quasi-molecular ions of 9 pyrethroids were fragmented from either ammonium adducts or hydrogenated molecules. **Conclusion** The method is simple and efficient for the rapid screening of pyrethroid pesticide residues in green tea.

KEY WORDS: pyrethroids; ultra high performance liquid chromatography tandem time-of-flight mass spectrometry;

*通讯作者: 汪振炯, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品营养安全研究。E-mail: wangzhenjiong@gmail.com

*Corresponding author: WANG Zhen-Jiong, Ph.D, Associate Professor, School of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing 211171, China. E-mail: wangzhenjiong@gmail.com

fragmentation pathway

1 引言

拟除虫菊酯(pyrethroids)是仿照天然除虫菊酯结构合成的一类有机杀虫剂, 具有广谱、高效和半衰期短等特点, 在茶叶种植领域被广泛使用^[1,2]。长期大量使用导致拟除虫菊酯在食品和环境中的累积构成了对人体健康的威胁, 如神经毒性、生殖发育毒性和免疫毒性等^[3]。世界各国都制定了茶叶等农产品中拟除虫菊酯残留的最大限量值, 对相关的检测方法也开展了大量的研究。

拟除虫菊酯是一类沸点较高的非极性化合物, 目前主要采用气相色谱质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)和气相色谱串联质谱法(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)进行检测^[4]。GC-MS 法和 GC-MS/MS 法检测拟除虫菊酯多残留在实际应用存在一定的局限性: 第 1 是分析时间过长, 方法定量繁琐^[5,6]; 第 2 是部分拟除虫菊酯对热不稳定, 如四溴菊酯在 GC 进样口(温度 250 °C)会被转化成溴氰菊酯, 不能气质联用方法检测^[7]; 第 3 是 GC-MS 方法的离子化产物是碎片离子而非分子离子, 因此碎片指征和裂解规律方面的研究很少。液质联用技术(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)准确、快速、灵敏度高, 适用于高沸点农药的检测^[8]。配备的电喷雾离子源(electron spray ionization, ESI)的离子化温度低, 可检测热不稳定的化合物^[9], 离子化产物主要是准分子离子、加合物离子及少量碎片离子^[10], 为实现快速定量和裂解规律研究提供了技术前提^[11,12]。本研究采用超高效液相色谱串联四级杆飞行时间质谱(high performance liquid chromatography tandem time-of-flight mass spectrometry, UHPLC-ToF-MS)对绿茶样品中氟氯氰菊酯、氯氰菊酯、苯醚氰菊酯、溴氰菊酯、甲氰菊酯、氰戊菊酯、氟氰戊菊酯、氟胺氰菊酯、四溴菊酯等 9 种拟除虫菊酯类农药的定量和裂解规律进行研究。筛选适宜的定性、定量离子, 优化方法条件, 实现对拟除虫菊酯类农药残留的快速准确分析。以期液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)高通量快速检测茶叶拟除虫菊酯类农药及其代谢产物的残留进行了有益的探索。

2 材料与方法

2.1 仪器、试剂与材料

X-500R 型超高效液相色谱串联四级杆飞行时间质谱仪(美国 SCIEX 公司); IQ7000 型超纯水机(美国 Millipore 公司); Allegra X-30R 型离心机(美国 Beckman Coulter 公司); 甲醇、乙腈、甲酸、乙酸铵(LC/MS 级, 德国 Merck 公司);

氟氯氰菊酯、氯氰菊酯、苯醚氰菊酯、溴氰菊酯、甲氰菊酯、氰戊菊酯、氟氰戊菊酯、氟胺氰菊酯、四溴菊酯标准品(浓度 100 mg/mL, 农业部环境保护科研检测所); QuEChERS 试剂包 [其中提取管(50 mL 离心管、硫酸镁 6 g、乙酸钠 1.5 g)、净化管(2 mL 离心管、PSA 一级二级胺吸附剂 50 mg、石墨化碳黑 8 mg、C₁₈ 吸附剂 50 mg、硫酸镁 150 mg)](天津博纳艾杰尔科技有限公司); 绿茶样品购于无锡当地有机茶场。

2.2 实验方法

2.2.1 色谱条件

色谱柱: Phenomenexkinetex C₁₈, (3.0 mm× 50mm, 2.6 μm); 流动相: A 相为 5 mmol/L 乙酸铵水溶液(含 0.1%(V/V)甲酸), B 相为 5 mmol/L 乙酸铵甲醇溶液(含 0.1%(V/V)甲酸); 洗脱程序: 0.0~0.5 min, 70% A; 0.5~ 4.0 min, 70% A~2% A; 4.0~7.0 min, 2% A; 7.0~10.0 min, 2% A~70% A; 10.0~11.5 min, 70% A; 流速: 0.3 mL/min; 柱温: 40 °C; 进样量: 5 μL; 进样器温度: 15 °C。

2.2.2 质谱条件

ESI 源: 正离子模式; 喷雾电压: 4500 V; 气帘气: 30 psi; 离子源温度: 450 °C; 雾化器压力: 50 psi; 辅助加热器压力: 50 psi; 扫描范围 130~700 Da; 去簇电压 45 V; 累计时间 0.15 s; 二级质谱扫描范围: 50~700 Da; 去簇电压 45 V; 累积时间 0.15 s; 碰撞能量 25 V。

2.2.3 标准储备液配制

分别取 9 种拟除虫菊酯标准物质各 1 mL 于 100 mL 容量瓶中, 加入乙腈至刻度, 配制成浓度 1 mg/L 的标准物质储备液, 过 0.22 μm 滤膜, 冷藏备用。

2.2.4 样品前处理

称取 1.5 g 粉碎的茶叶样品, 分别向样品中加入 15 mL 超纯水和 15 mL 含有 0.1% (V/V)甲酸的乙腈, 涡旋混匀 1 min。将混合样品加入到 QuEChERS 提取管中, 涡旋混匀 1 min, 6000 r/min 离心 5 min。取 1 mL 离心上清液, 加入到 QuEChERS 净化管, 涡旋混匀 1 min, 6000 r/min 离心 5 min, 离心上清液过 0.45 μm 滤膜, 待上机。

2.2.5 线性及检出限

将拟除虫菊酯标准储备液用乙腈稀释, 得到浓度为 1、2、5、10、20 μg/L 标准工作液。加入到空白绿茶样品, 按前述方法提取、进样分析。以信噪比 3:1 作为方法最低检出限(minimum limit of detection, MLOD)。

2.2.6 准确性及精密度

向空白样品中加入适当浓度的标准工作液, 制备含量 2、5、10 μg/kg 加标样品, 进行回收率和精密度试验。每个含量水平 6 个重复取平均值, 计算回收率和精密度。

3 结果与分析

3.1 定性检测结果

9 种拟除虫菊酯的定性检测结果见表 1。飞行时间质谱的优势在于更的高分辨率及对所有离子进行扫描,其分析结果能提供分子离子、加合离子、碎片离子、同位素离子等多种定性信息。研究中分别提取了 9 种拟除虫菊酯的 $[M+H]^+$ 加合物离子和 $[M+NH_4]^+$ 加合物离子。表 1 可见,甲氰菊酯、氟胺氰菊酯、苯醚氰菊酯 $[M+H]^+$ 峰面积远大于 $[M+NH_4]^+$ 峰面积,离子化的主要产物是 $[M+H]^+$ 准分子离子;其他 6 种拟除虫菊酯 $[M+NH_4]^+$ 峰面积远大于 $[M+H]^+$ 峰面积,表明离子化更易形成 $[M+NH_4]^+$ 加合离子。一般来讲,加合离子的响应越强稳定性就越高、定量更准确。在方法学和裂解途径研究中,选择对应的加合离子作为定量离子二级质谱的母离子。表 1 还列出了 9 种拟除虫菊酯的保留时间,9 化合物在 7 min 之内全部出峰,分析时间较气质联用方法大大缩

短^[13]。基于 EI 电离源 Electron Impact 的 GC-MS 法是将目标物分子打碎,靠其质谱碎片峰来定量。拟除虫菊酯类物质的结构相近,离子化会产生相同的碎片离子,因此必须完全色谱分离待测化合物才能进行定性、定量,导致分析时间较长。

3.2 方法学考察

3.2.1 线性及检出限

超高效液相色谱串联飞行时间质谱检测 9 种拟除虫菊酯方法的线性关系及最低检出限结果见表 2。表 2 所示,9 种拟除虫菊酯在 1~20 $\mu\text{g/L}$ 范围内线性关系良好($r^2>0.99$);最低检出限均为 1 $\mu\text{g/kg}$,该结果优于等人报道的 GC-MS/MS 检测方法^[14]。

3.2.2 准确性及重复性

方法的准确性及重复性结果见表 3。如表 3 所示,茶叶样品中拟除虫菊酯含量在 2~10 $\mu\text{g/kg}$ 范围内时,回收率可达到 85.2~106.3%;相对标准偏差(RSD) $\leq 6.1\%$ 。

表 1 9 种拟除虫菊酯的定性检测结果
Table 1 UHPLC-TOF-MS characteristics of 9 pyrethroids

化合物	保留时间/min	加氢离子峰面积/uV·s	加氨离子峰面积/uV·s	母离子/Da	加合物
氟氯氰菊酯 cyfluthrin	6.39	310070.4	1194185	451.0986	$[M+NH_4]^+$
氯氰菊酯 cypermethrin	6.45	1553689.5	2957294.1	433.1080	$[M+NH_4]^+$
苯醚氰菊酯 cyphenothrin	6.54	8037419.5	1644067	393.2173	$[M+H]^+$
溴氰菊酯 deltamethrin	6.47	647709.7	3079787.8	521.007	$[M+NH_4]^+$
甲氰菊酯 fenpropathrin	6.38	9972700.2	2002547.9	420.1361	$[M+H]^+$
氰戊菊酯 fenvalerate	6.50	185276.7	3486578.4	437.1626	$[M+NH_4]^+$
氟氰戊菊酯 flucythrinate	6.28	93353	8526877.1	469.1933	$[M+NH_4]^+$
氟胺氰菊酯 tau-fluvalinate	6.53-6.63	3283792.6	107909.2	503.1344	$[M+H]^+$
四溴菊酯 tralomethrin	6.18	1727.7	96620.9	678.8437	$[M+NH_4]^+$

表 2 线性关系及最低检出限
Table 2 Linear relationship and minimum detection limit

编号	化合物	相关系数 r^2	溶剂校准曲线	方法最低检出限 MLOD/($\mu\text{g/kg}$)
1	氟氯氰菊酯 cyfluthrin	0.9925	$Y=1442X-185$	1
2	氯氰菊酯 cypermethrin	0.9983	$Y=16599X-376$	1
3	苯醚氰菊酯 cyphenothrin	0.9968	$Y=79907X+4005$	1
4	溴氰菊酯 deltamethrin	0.9981	$Y=31937X-1143$	1
5	甲氰菊酯 fenpropathrin	0.9964	$Y=52627X-2003$	1
6	氰戊菊酯 fenvalerate	0.9914	$Y=1685X+762$	1
7	氟氰戊菊酯 flucythrinate	0.9951	$Y=2586X+157$	1
8	氟胺氰菊酯 tau-fluvalinate	0.9960	$Y=24004X+1701$	1
9	四溴菊酯 tralomethrin	0.9943	$Y=2700X-872$	1

表 3 方法的准确性及重复性			
Table 3 Accuracy and repeatability of the method			
化合物	茶叶		
	添加量/(μg/kg)	回收率/%	相对标准偏差 RSD/%
氟氯氰菊酯 cyfluthrin	2	85.2	5.0
	5	91.0	4.3
	10	92.3	4.1
	2	86.4	4.2
氯氰菊酯 cypermethrin	5	92.0	2.8
	10	93.2	2.7
	2	99.3	3.1
苯醚氰菊酯 cyphenothrin	5	102.2	1.8
	10	102.3	1.5
	2	90.1	3.1
溴氰菊酯 deltamethrin	5	93.5	2.3
	10	98.4	2.0
	2	98.6	4.7
甲氰菊酯 fenpropathrin	5	105.6	3.0
	10	106.3	2.9
	2	89.6	5.6
氰戊菊酯 fenvalerate	5	94.5	4.7
	10	95.3	4.3
	2	90.6	4.5
氟氰戊菊酯 flucythrinate	5	94.4	3.4
	10	96.2	2.3

化合物	茶叶		
	添加量/(μg/kg)	回收率/%	相对标准偏差 RSD/%
氟胺氰菊酯 tau-fluvalinate	2	91.2	6.1
	5	96.7	5.0
	10	98.3	3.9
四溴菊酯 tralomethrin	2	88.8	5.1
	5	91.2	3.7
	10	95.2	2.9

3.3 裂解规律

9 种拟除虫菊酯的二级图谱中含有多个相似的碎片离子, 本文以苯醚氰菊酯为代表, 探讨拟除虫菊酯的二级质谱裂解规律, 苯醚氰菊酯二级质谱图见图 1。如图 1 所示, 苯醚氰菊酯二级质谱中主要有 $m/z=208.0769$ 、 $m/z=181.0656$ 、 $m/z=151.1118$ 和 $m/z=123.1170$ 等 4 个丰度较强的碎片离子。 $m/z=208.0769$ 、 $m/z=181.0656$ 出现在所有 9 种菊酯的二级图谱里, 推断 $m/z=208.0769$ 应该是住友醇的碎片离子 $C_{14}H_{10}NO^+$, $m/z=181.0656$ 应该是住友醇进一步脱去氰基的碎片离子 $C_{13}H_9O^+$, $m/z=151.1118$ 和 $m/z=123.1170$ 分别对应菊酸部分碎片 $C_{10}H_{15}O^+$ 及其脱掉羧基的碎片 $C_9H_{15}^+$ 。上述结果可以推断, 9 种拟除虫菊酯母离子裂解首先发生在菊酸和住友醇形成酯键, 住友醇的裂解碎片 $m/z=208.0769$ 、 $m/z=181.0656$ 为 9 种化合物共有的特征性子离子。拟除虫菊酯类的基本结构为三碳环的菊酸与醇类物质形成的酯。醇基部分使用最多的是 s- α -氰基-3-苯氧基苄醇(s- α -cyano-3-phenoxy benzyl alcohol), 也叫住友醇结构, 这个结构的存在既提高了化合物的光稳定性也提高了杀虫毒性^[15]。据报道新型菊酯的研发也都是基于住友醇结构进行基团改性, 因此 $m/z=208.0769$ 、 $m/z=181.0656$ 可以作为未知菊酯类农药的非靶向筛查的目标离子。

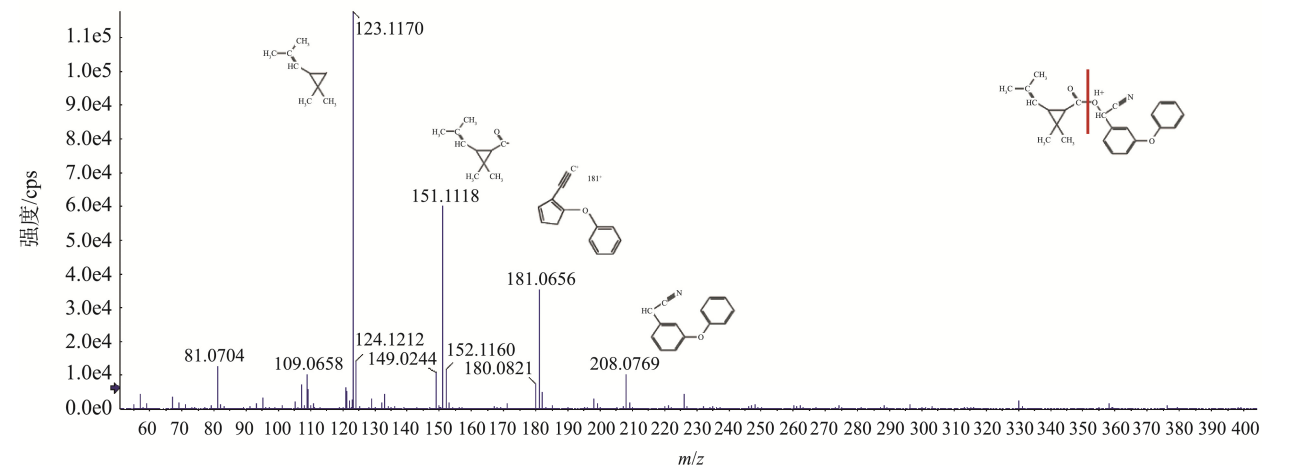


图 1 苯醚氰菊酯的二级质谱裂解规律(5 μg/L)
Fig.1 The fragment pathway of cyphenothrin tested by LC-ESI-Q-ToF-MS (5 μg/L)

4 结 论

本研究建立超高效液相色谱串联飞行时间质谱检测茶叶中 9 种拟除虫菊酯农药残留的方法,并探讨了其二级质谱的裂解规律。该方法简便、高效,适用于绿茶中拟除虫菊酯类农药残留的快速筛查。该方法确定了串联质谱方法的母离子和特征性的子离子,优化了方法参数。发现住友醇结构碎片是 9 种拟除虫菊酯二级质谱共有的碎片离子,为拟除虫菊酯类农药的非靶向筛查提供了新思路。目前用于农产品种植领域的拟除虫菊酯多达二十几种,仍有一些拟除虫菊酯检测及裂解规律本文尚未涉及,有待于进一步补充、完善。

参考文献

- [1] 徐冉,魏宁,黄虹,等.天然除虫菊酯与拟除虫菊酯的对比及发展建议[J].环境污染与防治,2019,41(9):1114-1119.
- Xu R, Wei N, Huang H, *et al.* Comparison and development proposals of natural pyrethrin and pyrethroid [J]. Environ Poll Pre, 2019, 41(9): 1114-1119.
- [2] 高帅,陈辉,胡雪艳,等.改进的 QuEChERS 方法结合液相色谱-四极杆-飞行时间质谱快速筛查与确证调味茶中 52 种农药残留[J].色谱,2019,37(9):955-962.
- Gao S, Chen H, Hu XY, *et al.* Rapid screening and identification of 52 pesticide residues in flavored tea by improved QuEChERS combined with liquid chromatography-quadrupole-time-of-flight mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2019, 37(9): 955-962.
- [3] 马瑞,李燕.拟除虫菊酯类农药暴露对人群生殖系统及甲状腺和婴幼儿体格发育影响的研究进展[J].昆明医科大学学报,2019,40(3):126-130.
- Ma R, Li Y. Research progress of exposure to pyrethroid pesticides impact on reproductive system of human and physical development of infants [J]. J Kunming Med Univ, 2019, 40(3): 126-130.
- [4] 郑玲,覃文长,李湧,等.液相色谱-串联质谱法测定 10 种食品中四溴菊酯残留[J].分析测试学报,2012,31(7):833-837.
- Zheng L, Qin WC, Li Y, *et al.* Determination of tralomeethrin residues in plant-based foods by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Instr Anal, 2012, 31(7): 833-837.
- [5] 彭晓俊,梁优珍,梁伟华,等. QuEChERS 结合气相色谱-质谱法测定农产品中杀螨剂和拟除虫菊酯农药残留[J].分析科学学报,2017,33(6):863-868.
- Peng XJ, Liang YZ, Liang WH, *et al.* Determination of acaricide and pyrethroid pesticides residues in farm produce by QuEChERS and gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Anal Sci, 2017, 33(6): 863-868.
- [6] 王姣. QuEChERS-气相色谱-串联质谱法测定茶叶中的多种拟除虫菊酯农药[J].现代食品,2018,(15):121-125.
- Wang J. Determination of acaricide and pyrethroid pesticides residues in farm produce by QuEChERS and gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Mod Food, 2018, (15): 121-125.
- [7] 绳慧珊,张新忠,王新茹,等.飞行时间质谱技术在水果、蔬菜与茶叶中农药残留分析中的应用[J].分析测试学报,2018,37(2):139-153.
- Sheng HS, Zhang XZ, Wang XR, *et al.* Determination of a variety of pyrethroid pesticides in tea by QuEChERS- gas chromatography tandem mass mpectrometry [J]. J Instr Anal, 2018, 37(2): 139-153.
- [8] Calvaruso E, Cammilleri G, Pulvirenti A, *et al.* Residues of 165 pesticides in citrus fruits using LC-MS/MS: A study of the pesticides distribution from the peel to the pulp [J]. Nat Product Res, 2020, 34(1): 34-38.
- [9] 冯永巍,薛庆海,汪振炯.高效液相色谱-串联飞行时间质谱法测定茶叶中 6 种农药的残留量[J].食品与发酵工业,2013,39(5):176-179.
- Feng YW, Xue QH, Wang ZJ. Applications of time of flight mass spectrometry in analysis on pesticide residues in fruits, vegetables and tea [J]. Food Ferment Ind, 2013, 39(5): 176-179.
- [10] 赵静,高进,吴宇宽,等.高效液相色谱-加热电喷雾串联三重四级杆质谱法测定蔬菜中 18 种常用农药残留[J].分析科学学报,2011,27(6):759-763.
- Zhao J, Gao J, Wu YK, *et al.* Determination of 18 pesticides in vegetables using high performance liquid chromatography- electrospray ionization tandem mass spectrometry [J]. J Anal Sci, 2011, 27(6): 759-763.
- [11] Hernández-Mesa M, García-Campaña MA, Cruces BC. Development and validation of a QuEChERS method for the analysis of 5-nitroimidazole traces in infant milk-based samples by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Chromatogr A, 2019, 1562: 36-46.
- [12] 王慧卿,徐斐,张建国,等.拟除虫菊酯类农药残留检测技术的研究进展[J].食品与发酵工业,2013,39(9):150-155.
- Wang HQ, Xu P, Zhang JG, *et al.* Determination technologies of synthetic pyrethroid pesticide residue [J]. Food Ferment Ind, 2013, 39(9): 150-155.
- [13] 刘丽,张琦,王海雁,等.串联双柱固相萃取-气相色谱-串联质谱法检测茶叶中拟除虫菊酯[J].色谱,2017,35(8):860-866.
- Liu L, Zhang Q, Wang HY, *et al.* Determination of pyrethroid pesticides in tea by series two-solid phase extraction-columns cleanup and gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2017, 35(8): 860-866.
- [14] 曹亚林,李伟,裴晓华,等.快速溶剂萃取-气相色谱质谱法快速测定茶叶中 7 种拟除虫菊酯农残[J].分析仪器,2018,(3):57-63.
- Cao YL, Li W, Pei XH, *et al.* Determination of seven pyrethroids in tea by APLE-GC/MS [J]. Anal Instr, 2018, (3): 57-63.
- [15] 李玲玉,刘艳,颜冬云,等.拟除虫菊酯类农药的降解与代谢研究进展[J].环境科学与技术,2010,33(4):65-71.
- Li LY, Liu Y, Yan DY, *et al.* Research progress on degradation and metabolism of pyrethroid insecticides [J]. Environ Sci Technol, 2010, 33(4): 65-71.

(责任编辑:王欣)

作者简介

冯永巍,博士,高级工程师,主要研究方向为食品质量安全检测。
E-mail: 402200023@qq.com

汪振炯,博士,副教授,主要研究方向为食品营养安全研究。
E-mail: wangzhenjiong@gmail.com