

◆ 环境与残留 ◆

超高效液相色谱-串联质谱法检测草莓中新烟碱类农药残留

杜鑫, 覃明丽*, 陈绍辉, 易珊珊, 苏旭, 张维维

(南充农产品质量监测检验中心, 四川南充 637000)

摘要:建立了超高效液相色谱-串联质谱法(UPLC-MS/MS)同时检测草莓中噻虫嗪、噻虫胺、吡虫啉、啶虫脒等4种新烟碱类农药残留。样品采用QuEChERS方法进行前处理,经Waters XBridge C₁₈液相色谱柱分离,以甲醇、0.1%甲酸水溶液(5 mmol/L乙酸铵)和乙腈为流动相进行梯度洗脱,在电喷雾正离子模式(ESI⁺)和选择多反应监测模式(MRM)下进行数据采集,基质匹配外标法定量。结果表明:4种农药在5~200 μg/L质量浓度范围内表现出良好的线性关系,相关系数均大于0.999,方法定量限为5 μg/kg,检出限在1.0~2.4 μg/kg。3个添加水平下,回收率为84.1%~107.2%,相对标准偏差(RSD)为3.0%~5.8%。该方法简单、快速、重现性好,具有良好的抗基质干扰能力,适用于草莓中4种新烟碱类农药的残留检测。

关键词:草莓;新烟碱类农药;QuEChERS;超高效液相色谱-串联质谱法;残留检测

中图分类号:TQ 450.2⁺63 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1671-5284.2025.05.007

Determination of neonicotinoid pesticide residues in strawberry by UPLC-MS/MS

DU Xin, QIN Mingli*, CHEN Shaohui, YI Shanshan, SU Xu, ZHANG Weiwei

(Nanchong Monitoring and Test Center for Agricultural Products Quality, Sichuan Nanchong 637000, China)

Abstract: An analytical method was established for simultaneous determination of four neonicotinoid pesticide residues such as imidacloprid, acetamiprid, thiamethoxam and clothianidin in strawberry using ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS). The samples were pretreated using the QuEChERS method, and separated by Waters XBridge C₁₈ column using gradient elution with a mixture of 0.1% formic acid aqueous solution (5 mmol/L ammonium acetate), acetonitrile and methanol as mobile phases. The pesticide residues were lastly quantified by matrix matching external standard method using UPLC-MS/MS in the multiple reaction monitoring (MRM) mode with positive electrospray ionization (ESI⁺). The linear range of the method was in the range of 5-200 μg/L for all the analytes with correlation coefficients greater than 0.999. The quantitation limits were 5.0 μg/kg and the detection limits were in the range of 1.0-2.4 μg/kg. The average recoveries were ranged from 84.1% to 107.2%, with the RSD of 3.0%-5.8%. The method was accurate, reliable and had good reproducibility, which can be used for simultaneous determination of neonicotinoid pesticides in strawberry.

Key words: strawberry; neonicotinoid pesticide; QuEChERS; UPLC-MS/MS; residue detection

草莓因其酸甜可口的风味和丰富的营养价值(如高糖分、维生素、有机酸及矿物质等)而深受消费者青睐^[1]。在冬季大棚种植中,高温高湿的环境容

易引发病虫害。为提高草莓品质和产量,生产中常使用噻虫嗪、噻虫胺、吡虫啉、啶虫脒等新烟碱类农药。这类农药具有广谱、高效、低毒、低残留的特点,

收稿日期:2025-03-11

作者简介:杜鑫(1988—),男,四川达州人,高级农艺师,主要从事农畜水产品检测方面研究。E-mail 278489241@qq.com

通信作者:覃明丽(1986—),女,四川彭州人,高级农艺师,主要从事农产品质量安全检测方面研究。E-mail 285466409@qq.com

通过作用于昆虫神经系统的烟碱乙酰胆碱受体,干扰中枢神经传导,从而有效防治蚜虫、飞虱、蓟马、叶蝉、粉虱等多种害虫^[2-4]。然而,其对传粉昆虫(如蜜蜂)及水生、陆生无脊椎动物的危害,可能会破坏生态系统平衡,威胁人类健康^[5-6]。目前,我国农业农村部已批准吡虫啉、啉虫脒等新烟碱类农药在草莓上登记使用,主要用于防治刺吸式口器害虫,并规定了严格的安全间隔期^[7]。《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》^[8]规定,草莓中新烟碱类农药的最大残留限量(MRL)分别为噻虫嗪0.5 mg/kg、噻虫胺0.07 mg/kg、吡虫啉0.5 mg/kg、啉虫脒2 mg/kg。相比之下,欧盟(EC No 396/2005)对吡虫啉的MRL设定为0.05 mg/kg,并计划全面禁止新烟碱类农药在浆果类作物上的使用^[9]。因此,开发高效、准确的检测方法对保障草莓质量安全及生态环境具有重要意义。

QuEChERS方法因其操作简便、溶剂用量少、高效快速等优点,已被广泛应用于样品前处理。超高效液相色谱-串联质谱法(UPLC-MS/MS)具有高灵敏度、准确定量及强抗干扰能力等特点^[10-13]。两者联用已成为药物多残留分析的主流技术,并成功应用于多种复杂基质中新烟碱类农药残留的检测^[11-17]。本研究将QuEChERS与UPLC-MS/MS相结合,用于草莓中新烟碱类农药残留的检测。该方法兼具创新性与实用性,可为草莓质量安全提供技术支持,同时为其他复杂基质中农药残留的检测提供参考。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

甲醇、乙腈、甲酸均为质谱级,乙酸铵为色谱级,QuEChERS分散萃取试剂盒(5982-5258)及萃取盐包(5982-0032)购于美国Agilent公司。噻虫嗪、噻虫胺、吡虫啉、啉虫脒等4种农药标准溶液购于农业农村部环境质量监督检验测试中心(天津),质量浓度均为100 mg/L。50 mL离心管购于康宁(上海)有限公司,PTFE 0.22 μ m针筒式微孔滤膜购于天津津腾实验设备有限公司,蒸馏水购自广州屈臣氏食品饮料有限公司。

Waters ACQUITY UPLC H-Class/Xevo TQ-S超高效液相色谱-串联质谱仪,美国Waters公司;ML802型分析天平,瑞士Mettler Toledo公司;GD 16 plus高速研磨均质仪,深圳市新锐科技有限公司;3-18KS型高速冷冻离心机,德国Sigma公司;Biocomma多管涡旋混匀仪,深圳逗点生物技术有限公司;JB 3060

食品调理机,德国博朗国际贸易有限公司。

1.2 样品制备

草莓样品(红颜、巧克力、香野、奶油、白草莓等)均购于某地草莓市场及采摘基地。选取有代表性的草莓全果(去柄)样品,采用四分法缩分后约1 kg,放入食品料理机中,高速匀浆后装入洁净的聚乙烯塑料样品盒中,密封后于-18℃冰箱保存。

1.3 样品提取

准确称取10 g(精确至0.01 g)匀浆后的草莓样品于50 mL离心管中,依次加入1颗陶瓷均质子、10 mL乙腈、1袋萃取盐包,拧紧离心管盖,快速放入高速研磨均质仪中以3 000 r/min低温(2℃)均质提取3 min,再于4 000 r/min离心3 min,取上清液待净化。

1.4 样品净化

吸取5 mL上清液加入内含885 mg MgSO₄、150 mg PSA、15 mg GCB填料的15 mL塑料净化离心管中,涡旋振荡2 min,于4 000 r/min离心3 min,吸取2 mL上清液过0.22 μ m微孔滤膜后,上机测定。

1.5 仪器检测条件

1.5.1 色谱条件

Waters XBridge C₁₈色谱柱(100 mm×3.0 mm,粒径3.5 μ m),柱温40℃,样品室温度18℃,进样体积1.00 μ L。选用甲醇(A)、水(含0.1%甲酸、5 mmol/L乙酸铵,B)、乙腈(C)作为流动相,流速为0.4 mL/min。按表1中的流动相梯度洗脱程序分离目标物。

表1 流动相组成及梯度洗脱程序

时间/min	$\varphi_A/\%$	$\varphi_B/\%$	$\varphi_C/\%$	曲线
0	12	88	0	6
1.5	12	88	0	6
4.5	5	20	75	6
6.0	0	0	100	6
9.5	0	0	100	6
10.0	12	88	0	6

1.5.2 质谱条件

脱溶剂气和锥孔气为高纯氮气,脱溶剂气流量为1 000 L/h,设置其温度为550℃,锥孔气流量为150 L/h。碰撞气用高纯氩气,其流量为0.10 mL/min。毛细管电压为3.0 kV,离子源温度为150℃。采用电喷雾正离子模式(ESI⁺)和多反应监测(MRM)模式采集数据信号,采集时间段为3.5~6.5 min,其他时间段液相色谱的流动相切换到废液。

1.6 溶液配制

用质谱级乙腈将4种农药标准溶液稀释成10.0

mg/L的标样母液,分别吸取2.00 mL上述标样母液于同一个10 mL容量瓶中,配制成2.0 μg/mL混合标样溶液,于-18℃避光保存。用筛选后的草莓空白基质逐级稀释成质量浓度5.00、10.0、20.0、50.0、100、200 μg/L的基质工作溶液。

1.7 基质效应

基质效应 (ME) 是指样品分析液中除目标分析物以外的不被检测的组分导致分析物的响应信号增强和减弱。其与样品前处理方式、基质类型、目标化合物的化学性质密切相关^[18-20]。常选用加入适当的内标、合适的分析保护剂以及使用基质匹配校准曲线定量等3种方法来降低基质效应对化合物定量的影响。为所有目标物找到相应的内标成本较高,分析保护剂又不能适用所有基质,故本试验采用基质匹配外标法定量。通过空白样品基质中标准曲线的斜率A与溶剂中标准曲线的斜率B评价基质效应^[19]。

$$ME/\% = \frac{(A-B)}{B} \times 100$$

ME<0,基质抑制效应 ;ME>0,基质增强效应。
|ME|<20%,弱基质效应 ;20%≤|ME|≤50%,中等基

质效应 ;|ME|>50%,强基质效应。

2 结果与分析

2.1 色谱-质谱条件优化

用乙腈+水 (体积比50 : 50) 分别配制质量浓度为50 μg/L的4种农药标样溶液,质谱进样,在不同流动相体系下对4种农药进行了全扫描,分析目标物响应信号强度。试验发现 4种农药 [M+H]⁺离子峰响应信号较强,将其作为母离子,用仪器“intellistart”功能快速筛选出2个响应信号强且没有干扰的子离子,并选用响应信号最强的分子离子对作为定量离子对,分析参数见表2。在0.1%甲酸水溶液中加入乙酸铵缓冲液,色谱进样考察其浓度在0~10 mmol/L 范围变化时,目标物的保留时间、峰形、响应信号强度。当水相中乙酸铵浓度为5 mmol/L时,对峰形和灵敏度的改善效果最好,优选后的色谱条件见表1。在优化后的色谱和质谱检测条件下,溶剂标样溶液的MRM色谱图见图1。4种农药在5.5 min内全部出峰,均具有较强的分子离子峰强度,峰形及分离度良好。

表 2 4 种新烟碱类农药质谱检测参数

农药	保留时间/min	母离子 (m/z)	定量子离子 (m/z)	定性子离子 (m/z)	锥孔电压/V	碰撞能量/V
噻虫嗪	4.65	292.1	211.1	181.0	20	12/22
噻虫胺	4.83	250.0	132.0	169.1	20	20/25
吡虫啉	4.90	256.3	175.1	209.1	36	25/20
啉虫脒	4.99	223.1	126.0	90.1	30	32/20

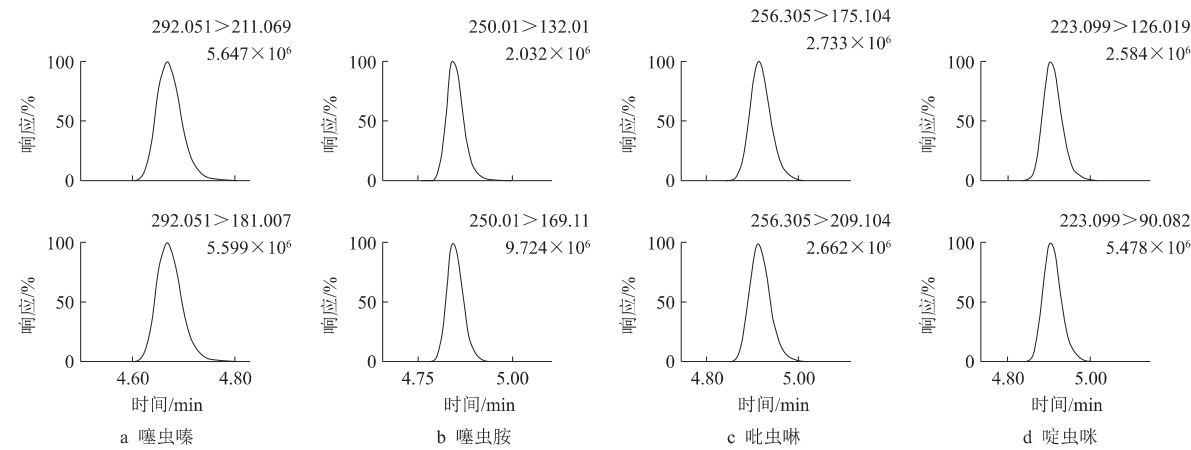


图 1 4 种农药的溶剂标样溶液 MRM 色谱图 (50.0 μg/L)

2.2 提取剂选择

草莓中含有大量的水分,因此选用能与水互溶的甲醇和乙腈为提取剂。试验发现 :以甲醇为提取剂无法彻底分离草莓中的有机相及水相。而乙腈对不同极性农药的溶解性强,对试样中油脂和色素类

杂质的溶解度较小,加入盐包振荡离心后,盐析可使乙腈和样品中的水快速分层。此外,其能去除草莓样品中的糖类、有机酸及维生素等大部分杂质,可减少基质干扰,降低基质效应影响,便于后续净化操作。因此,选用10.00 mL乙腈为提取剂。

2.3 QuEChERS方法优化

QuEChERS主要以*N*-丙基乙二胺(PSA)、石墨化炭(GCB)和十八烷基键合硅胶(C_{18})等固相吸附剂为填料。PSA因化学结构中含有2个氨基,比氨基柱具有更强的离子交换能力,还能与金属离子产生螯合作用,已被广泛用于植物农残分析,以去除糖类、脂肪酸、有机酸、极性色素和金属离子等。GCB主要用于吸附去除样品提取液中大量色素,但也会吸附提取液中类似于平面型结构的农药分子,导致目标物回收率大幅降低。 C_{18} 主要用于吸附基质中诸如维生素、挥发性油脂及脂肪类非极性化合物。以空白草莓(红颜)为基质,农药添加量为100 $\mu\text{g}/\text{kg}$,分别以900 mg MgSO_4 +150 mg C_{18} 、900 mg MgSO_4 +150 mg PSA、885 mg MgSO_4 +150 mg PSA+15 mg GCB为固相分散剂的QuEChERS试剂盒对样品进行净化,比较了4种农药的加标回收率,并以此来考察填料的净化效果,结果见图2。

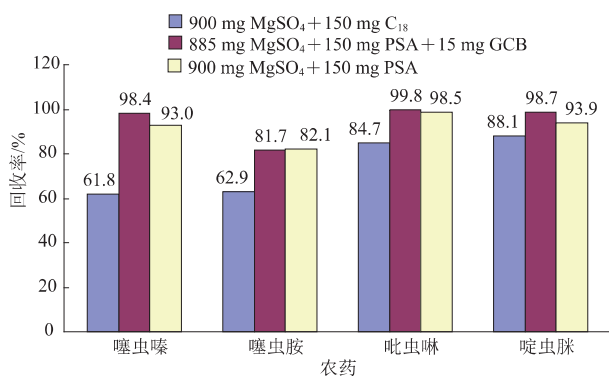


图2 不同净化填料对目标物回收率的影响

试验发现 采用 C_{18} 净化后的草莓基质提取液颜

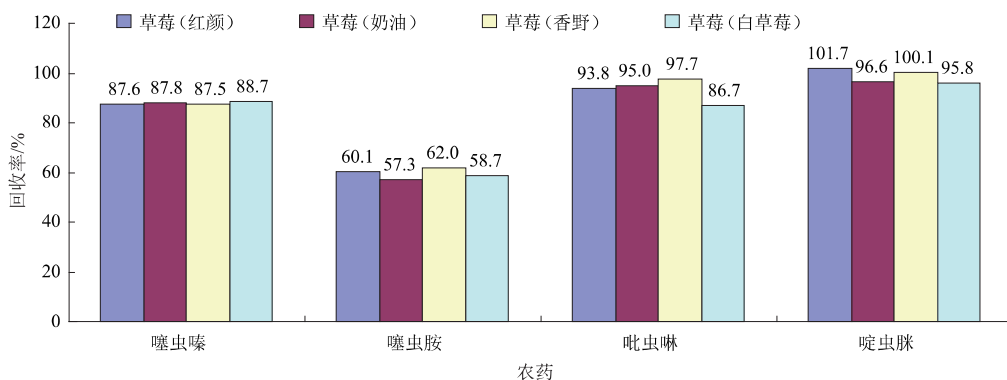


图3 不同草莓基质对4种新烟碱类农药回收率的影响

2.5 方法的线性范围和检出限

以草莓空白基质配制质量浓度为5、10、20、50、100、200 $\mu\text{g}/\text{L}$ 的4种农药混合标样溶液,以每种农药的质量浓度为横坐标,定量离子对的色谱峰面积为

色仍然呈粉红色,颜色几乎没有变化,4种农药的回收率整体偏低,其中噻虫嗪和噻虫胺的回收率约为60%。当固相填料为PSA和PSA+GCB时,4种农药在草莓基质中的回收率均在80%~100%,仅用PSA净化后的大部分样品提取液呈无色,但有一部分原颜色较深的草莓净化液仍呈淡黄色。为减小基质中色素干扰,选择在PSA填料中加入少量能吸附色素的GCB作为净化填料,净化液全部变为无色。以内含885 mg MgSO_4 +150 mg PSA+15 mg GCB的净化管处理样品后,基质不干扰试样中目标物的测定,目标物峰形对称且响应良好,有效提高了方法的灵敏度、选择性和稳定性。

2.4 基质效应评价

选取4种不同品种草莓空白基质,进行加标回收试验,按优化后的QuEChERS方法进行前处理,考察不同草莓基质对目标物的影响。添加水平为50 $\mu\text{g}/\text{kg}$,用50 $\mu\text{g}/\text{L}$ 溶剂标样溶液进行定量计算,得到目标物加标回收率(图3)。4种农药在不同草莓基质中的回收率差异较小,噻虫嗪、吡虫啉、啶虫脒的回收率都在85%~105%,草莓基质对上述3种目标物的基质效应较小,但是噻虫胺的回收率仅为60%左右。为进一步考察基质效应,用纯溶剂和草莓空白基质按相同方法配制了一系列标样溶液进行检测,绘制标准曲线,结果见表3。噻虫嗪、吡虫啉和啶虫脒的基质效应分别为0.3%、12.4%、-1.1%,有较弱的基质效应;但噻虫胺的基质效应为-61.5%,存在很强的基质抑制效应,不能忽略。为使定量结果更准确可靠,必须采用基质匹配标准曲线进行定量分析,以抵消基质效应的影响。

纵坐标,进行线性拟合,结果见表3。在5~200 $\mu\text{g}/\text{L}$ 范围内,化合物线性相关系数(r)均大于0.999。用Masslynx V4.1软件计算信噪比(S/N),以 $S/N=3$ ^[21]计算得到4种农药的方法检出限为1.0~2.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

表 3 4 种新烟碱类农药的线性回归方程、检出限及基质效应

农药名称	草莓基质		乙腈溶液		检出限/(μg/kg)	基质效应/%
	线性方程	相关系数	线性方程	相关系数		
噻虫嗪	$y=6\ 106.7x+2\ 940.2$	0.999 5	$y=6\ 088.6x+4\ 492.0$	0.999 1	1.3	0.3
噻虫胺	$y=760.3x+319.8$	0.999 7	$y=1\ 973.1x+1\ 823.1$	0.998 7	2.4	-61.5
吡虫啉	$y=3\ 010.2x+1\ 061.7$	0.999 8	$y=2\ 678.8x+3\ 181.4$	0.998 7	1.8	12.4
啉虫脒	$y=25\ 517.3x+14\ 381.2$	0.999 2	$y=25\ 793.6x+19\ 935.4$	0.998 9	1.0	-1.1

2.6 方法的回收率、精密度与定量限

以空白草莓样品为基质,分别添加质量分数5、10、100 μg/kg的混合标样溶液,每个添加水平设3个平行样。为模拟试样检测过程,称样后加入4种农药的混合标样溶液,涡旋1 min,密封过夜,待样品充分

吸收农药后,次日按照1.3~1.6节方法进行检测,结果见表4。4种农药的平均回收率为84.1%~107.2%,相对标准偏差(RSD)为3.0%~5.8%,回收率和精密度符合农药残留检测的要求^[22]。经加标回收率试验,得到本方法的定量限为5 μg/kg。

表 4 添加回收率和精密度 (n=3)

农药名称	添加水平/(μg/kg)	草莓(红颜)		草莓(巧克力)		草莓(奶油)	
		回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%
噻虫嗪	5	85.3~92.9	5.3	97.2~104.5	3.4	98.3~103.3	4.2
	10	94.2~101.7	4.1	88.2~98.3	4.1	101.2~104.5	4.5
	100	98.6~93.4	3.5	92.7~103.6	3.0	88.6~93.6	3.2
噻虫胺	5	86.8~95.1	5.4	94.0~103.5	5.4	91.2~101.6	5.1
	10	87.4~94.2	4.2	92.1~104.7	3.2	84.1~92.8	4.8
	100	88.6~97.2	3.4	92.6~98.7	4.2	85.0~101.2	3.9
吡虫啉	5	96.0~103.5	5.8	88.8~99.3	5.3	86.4~97.3	4.9
	10	92.4~97.3	4.2	102.2~105.2	5.6	94.4~100.8	4.4
	100	91.3~94.9	3.6	93.9~101.9	5.4	87.3~95.2	3.2
啉虫脒	5	88.0~98.5	5.8	85.6~93.4	5.7	89.6~94.7	4.7
	10	98.0~102.6	5.2	98.6~102.7	5.3	95.0~103.2	4.2
	100	95.9~101.5	3.6	102.2~107.2	4.0	97.3~105.3	3.3

2.7 实样检测

对市场和生产基地随机抽取的50个草莓样品进行检测,每个样品设平行双样。试验共检出11个阳性样品,检出率为22%。4种农药的检出率由高到低依次为噻虫胺(10%)、啉虫脒(8%)、吡虫啉(6%)、噻虫嗪(4%)。阳性样品中农药残留量分别为啉虫脒61.3~520.2 μg/kg、吡虫啉60.8~170.1 μg/kg、噻虫嗪17.4~59.3 μg/kg、噻虫胺13.4~39.2 μg/kg。依据GB 2763—2021判断,草莓样品中的4种农药残留均未超标。

3 结论

基于QuEChERS前处理技术结合UPLC-MS/MS,建立了同时快速检测草莓中噻虫嗪、噻虫胺、吡虫啉、啉虫脒等4种农药的分析方法。以乙腈为提取剂,885 mg MgSO₄+150 mg PSA+15 mg GCB为

QuEChERS分散净化剂对草莓基质中的杂质进行有效净化,采用基质匹配标准曲线法来补偿基质效应。该方法前处理过程简便快速、稳定性好、灵敏度高,回收率和精密度等指标均符合农药残留检测的要求,可以为定量检测草莓中的其他新烟碱类农药提供技术参考。

参考文献

[1] 何娟,肖祥飞,郑美娟. 草莓营养品质的鉴定分析[J]. 食品安全导刊, 2023(9): 88-91.
[2] 兰献敏,穆博帅. 手性新烟碱类杀虫剂的研究进展[J]. 现代农药, 2025, 24(2): 11-17.
[3] 张鹏,张宗俭,田迎迎,等. 第二代新烟碱类农药噻虫嗪研究及应用进展[J]. 现代农药, 2022, 21(1): 15-22.
[4] 李昌兴,刘东东,高一星,等. 新烟碱类杀虫剂的研究与开发进展[J]. 化学试剂, 2023, 45(3): 29-36.
[5] 粟有志,李芳,齐鑫,等. QuEChERS-高效液相色谱/串联质谱法同时测定蜂蜜中9种新烟碱类杀虫剂残留[J]. 分析科学学报,

- 2015, 31(2): 203-207.
- [6] 张琪, 赵成, 卢晓霞, 等. 新烟碱类杀虫剂对非靶标生物毒性效应的研究进展[J]. 生态毒理学报, 2020, 15(1): 56-71.
- [7] 农业农村部农药检定所. 中国农药登记数据手册2023版[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 145-148.
- [8] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 中华人民共和国农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量: GB 2763—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [9] European Commission. Commission regulation (EU) 2023/782 amending annexes and I to regulation (EC) No 396/2005 as regards maximum residue levels for thiamethoxam and clothianidin in or on certain products[J]. Official Journal of the European Union, 2023, 102: 12-15.
- [10] 杜鑫, 彭海燕, 覃明丽, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法同时检测草莓中4种农药残留量[J]. 农药科学与管理, 2022, 43(5): 30-37.
- [11] 刘彭, 郭礼强, 李亚静, 等. QuEChERS-高效液相色谱-串联质谱法同时测定生活饮用水中11种新烟碱类杀虫剂的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2024, 60(1): 55-59.
- [12] 黄丁宁, 缪丹旋, 赵巧灵, 等. QuEChERS结合超高效液相色谱-串联质谱法同时测定果蔬中12种新烟碱类农药残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(9): 186-194.
- [13] 门雪, 吴兴强, 仝凯旋, 等. 改进的QuEChERS法结合液相色谱-高分辨质谱筛查热带水果中33种新烟碱类杀虫剂及杀菌剂[J]. 分析测试学报, 2022, 41(6): 820-826.
- [14] 李国烈, 杜鑫, 苏旭, 等. 超高效液相色谱-串联质谱方法测定桑葚中吡虫啉和啉虫脒残留量[J]. 农药科学与管理, 2018, 39(1): 41-46; 52.
- [15] 赵飞, 张武, 张毓秀, 等. 高效液相色谱-串联质谱法检测柑橘中4种新烟碱类农药的残留量[J]. 农药科学与管理, 2023, 44(11): 45-51; 62.
- [16] 平华, 赵天宇, 马智宏, 等. 分散固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定土壤中新烟碱类农药及其代谢物的残留量[J]. 理化检验-化学分册, 2023, 59(11): 1276-1283.
- [17] 江阳, 陈雨露, 赵咏梅, 等. 高效液相色谱-串联质谱法同时测定生活饮用水中9种新烟碱类农药[J]. 预防医学情报杂志, 2023, 39(12): 1513-1519.
- [18] 高娜, 孙程鹏, 许炳雯, 等. 液相色谱串联质谱法测定不同蔬菜中农药多残留的基质效应[J]. 食品科技, 2021, 46(4): 310-317.
- [19] 张海燕, 李艳美, 华鹏. 气相色谱-三重四级杆串联质谱法测定4种果品中99种农药残留[J]. 农药学报, 2023, 25(1): 193-209.
- [20] KRUIVE A, ALLAN KUNNAPAS, HERODES K, et al. Matrix effects in pesticide multi-residue analysis by liquid chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2008, 1187(1/2): 58-66.
- [21] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 化学分析方法验证通则: GB 5009.295—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [22] 全国认证认可标准化技术委员会. GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范食品理化检测》理解与实施[M]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

(编辑: 顾林玲)

(上接第32页)

- [2] 卜元卿, 王轲畅, 智勇, 等. 农药制剂中助剂使用状况调研及风险分析[J]. 农药, 2014, 53(12): 932-936.
- [3] 李敏洁, 张琛, 李晓慧, 等. 农药助剂牛脂胺聚氧乙烯醚的毒性及其分析技术研究进展[J]. 农药学报, 2023, 25(2): 310-318.
- [4] BEDNAROVA A, KROPF M, KRISHNAN N. The surfactant polyethoxylated tallowamine (POEA) reduces lifespan and inhibits fecundity in *Drosophila melanogaster*- in vivo and in vitro study [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2020, 188: 109883.
- [5] EFSA. Request for the evaluation of the toxicological assessment of the co-formulant POE- tallowamine [J]. EFSA J, 2015, 13(11): 4303.
- [6] 陈祖义, 米春云. 农药杀虫单对土壤微生物功能的影响-对土壤呼吸的影响[J]. 环境科学, 1987, 8(1): 36-39.
- [7] 张灿光, 杜军辉, 李华, 等. 农药助剂对蚯蚓的急性毒性[J]. 生态毒理学报, 2014, 9(3): 593-602.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 化学农药环境安全评价试验准则 第15部分 蚯蚓急性毒性试验: GB/T 31270.15—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [9] 中华人民共和国农业部. 化学农药 蚯蚓繁殖试验准则: NY/T 3091—2017[S]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 化学农药环境安全评价试验准则 第16部分 土壤微生物毒性试验: GB/T 31270.16—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

(编辑: 顾林玲)

欢迎订阅《现代农药》(双月刊) 定价: 120 元/年

编辑部电话: 025-86581148 QQ: 906491600 联系人: 靳红华