

超高效液相色谱-串联质谱法同时测定玉米和植株 中苯唑草酮和莠去津残留

钟年孝¹, 张欣达², 李娜³, 张玉婷³, 郭永泽^{3*}, 李存^{1*}

(1. 天津农学院动物科学与动物医学学院, 天津市农业动物繁育与健康养殖重点实验室, 天津 300384; 2. 天津市北大港湿地自然保护区管理中心, 天津 300270; 3. 天津市农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 天津 300381)

摘要: **目的** 建立超高效液相色谱-串联质谱法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)同时测定玉米和植株中苯唑草酮和莠去津残留的分析方法。**方法** 样品经乙腈/水提取, C₁₈ 和乙二胺-N-丙基硅烷化硅胶(primary secondary amine, PSA)分散固相萃取净化, 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式下采用 UPLC-MS/MS 测定, 基质匹配外标法定量。**结果** 在 0.0005~0.0500 mg/L 范围内 2 种农药线性关系良好($r>0.999$), 添加浓度为 0.01~0.10 mg/kg 时, 苯唑草酮在玉米和植株中的回收率为 73.4%~97.8%, 相对标准偏差为 2.2%~6.9%; 添加浓度为 0.005~0.100 mg/kg 时, 莠去津在玉米和植株中的回收率为 74.2%~105.5%, 相对标准偏差为 2.8%~14.8%。**结论** 该方法分离净化效果好、操作简便, 准确度和精密度均可满足残留检测要求。

关键词: 超高效液相色谱-串联质谱法; 玉米; 植株; 苯唑草酮; 莠去津; 残留

Simultaneous determination of topramezone and atrazine residues in corn and plant by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

ZHONG Nian-Xiao¹, ZHANG Xin-Da², LI Na³, ZHANG Yu-Ting³, GUO Yong-Ze^{3*}, LI Cun^{1*}

(1. Tianjin Key Laboratory of Agricultural Animal Breeding and Healthy Husbandry, College of Animal Science and Veterinary Medicine, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. Tianjin Beidagang Wetland Management Center, Tianjin 300270, China; 3. Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology, Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300381, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the simultaneous determination of topramezone and atrazine residues in corn and plant by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS). **Methods** The sample was extracted by acetonitrile/water, cleaned-up by dispersive solid phase extraction with C₁₈ and primary secondary amine (PSA), analyzed by UPLC-MS/MS under multiple reaction monitoring mode (MRM), and quantified by external standard method. **Results** In the range of 0.0005–0.0500 mg/L, the linear relationships between topramezone and atrazine were good, with $r>0.999$. When the concentrations were 0.01–0.10 mg/kg, the

*通信作者: 郭永泽, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全与营养研究。E-mail: guoyz1971@126.com

李存, 教授, 主要研究方向为兽医药理学与毒理学研究。E-mail: hhlicun@163.com

*Corresponding author: GUO Yong-Ze, Professor, Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology, Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300381, China. E-mail: guoyz1971@126.com

LI Cun, Professor, Tianjin Key Laboratory of Agricultural Animal Breeding and Healthy Husbandry, College of Animal Science and Veterinary Medicine, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China. E-mail: hhlicun@163.com

recoveries of oxazolidone in maize and plants were 73.4%–97.8%, and the relative standard deviations were 2.2%–6.9%; when the concentrations were 0.005–0.100 mg/kg, the recoveries of atrazine in maize and plants were 74.2%–105.5%, and the relative standard deviations were 2.8%–14.8%. **Conclusion** The method has good separation and purification effect, simple operation, and the accuracy and precision can meet the requirements of residue detection.

KEY WORDS: ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; corn; plant; topamezone; atrazine; residues

0 引言

玉米是禾本科草本植物,它是世界上最重要的粮食作物之一,由于其具有成熟快、产量高、耐寒性强、营养价值高等优点,成为了世界上重要的粮食作物,其植株也被用作动物饲料。中国已经成为玉米生产与消费大国,每年产量约占全球的 20%。为防止杂草害导致玉米减产、质量下降,人们开始研发各种品种的农药。苯唑草酮是由巴斯夫公司研制的苯甲酯吡唑酮类除草剂,它是一种新型羟基苯基丙酮酸酯双氧化酶抑制剂^[1-2],可以有效防除玉米地一年生禾本科杂草和阔叶杂草,具有高效和安全性高等特点^[3]。莠去津是选择性内吸苗前、苗后封闭除草剂^[4-5],它的杀草谱较广,对玉米有较好的选择性^[6]。将两种不同类型的除草剂进行科学地混合可以增强除草剂的使用效果。虽然苯唑草酮和莠去津对人畜低毒,但不合理使用除草剂会使其使残留超过国家标准,进而危害人类的身体健康。近年来已有研究表明苯唑草酮会引起大鼠血清酪氨酸水平升高,导致眼、肝、肾、胰腺和甲状腺等发生不良反应^[7]。莠去津会影响动物的生殖系统,可能会导致小鼠乳腺癌和卵巢癌的发生^[8-9],且对环境存在一定的危害^[6]。我国 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》规定苯唑草酮在玉米和青玉米中的最高残留限量(maximum residue limit, MRL)值为 0.05 mg/kg,莠去津在玉米中 MRL 值为 0.05 mg/kg。

目前关于苯唑草酮残留分析的报道较少。姜宜飞等^[10]采用高效液相色谱法对苯唑草酮原药进行分析,但其灵敏度较低;冯义志等^[11]和 LI 等^[12]建立了玉米、玉米植株和土壤中苯唑草酮的残留检测方法,前处理方法均采用二氯甲烷提取苯唑草酮,液液分配净化,该方法有较好的提取效果,但二氯甲烷具有一定毒性,对人体和环境危害较大,且只能用于单独分析苯唑草酮残留;冷金蔓等^[13]建立高效液相色谱-串联质谱法检测苯唑草酮在玉米和玉米植株中的残留,3 个添加水平下平均回收率为 76.7%~102.2%,定量限为 0.01 mg/kg,高效液相色谱梯度洗脱程序为 15 min,耗时较长,不适合大批量样品的检测。莠去津残留分析方法有色谱法^[14-16]、气相色谱-质谱法^[17-18]以及高效液相色谱-串联质谱法^[19-20]等。文献中的样品前处理方法大多为液

-液萃取、固相萃取等,使用较多有机溶剂,比较烦琐。

目前关于这 2 类除草剂的残留分析方法大多是分开检测,对于苯唑草酮和莠去津复配剂在玉米中的分析方法报道较少。因此,本研究建立超高效液相色谱-串联质谱法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)同时检测玉米及植株中苯唑草酮和莠去津残留的分析方法,前处理基于 QuEChERS 方法进行了改进,用于定量分析玉米及植株中苯唑草酮和莠去津残留,为食品安全监控提供技术支持。

1 材料与方 法

1.1 仪器与材料

Acquity UPLC I-Class/Xevo TQ-S 超高效液相色谱-串联质谱仪(美国 Waters 公司); QL-901 旋涡混合器(江苏海门其林贝尔仪器制造有限公司); CK2000 高通量组织研磨仪(托摩根生物科技有限公司); Milli-Q 型纯水仪(美国 Millipore 公司); 0.22 μm 有机滤膜(天津科亿隆实验设备有限公司)。

乙腈(色谱纯,德国 Merck 公司); 氨水(浓度 28%)、氯化钠(分析纯,天津风船化学试剂公司); C₁₈、乙二胺-N-丙基硅烷化硅胶(primary secondary amine, PSA)(上海安谱实验科技有限公司); 甲酸(色谱纯,上海罗恩试剂有限公司)。苯唑草酮标准品(纯度 99.8%)、莠去津标准品(纯度 98.9%)(天津阿尔塔公司)。

玉米及植株样品: 采购于天津当地农贸市场以及采集于天津市西青区杨柳青镇宏宇采摘园。

1.2 实验方法

1.2.1 标准溶液配制

(1)标准储备液

称取一定量的苯唑草酮和莠去津标准品,用乙腈溶解、定容,配制成 1000 mg/L 的标准储备液。

(2)标准工作液配制

用乙腈稀释标准储备液,分别配制成 10 μg/mL 的单个及混合标准工作液。

1.2.2 样品的前处理

玉米: 称取 5.00 g 样品(精确到 0.01 g)于 50 mL 离心

管,加水 5 mL,加乙腈 20 mL,涡旋 1 min,振荡 15 min,加 3.0 g 氯化钠,振荡 5 min,4000 r/min 离心 5 min,取上清液 2 mL 于装有 C₁₈和 PSA 各 100 mg 的 10 mL 离心管中,涡旋 1 min,4000 r/min 离心 5 min,取上清 1 mL,加 1 mL 甲醇-水(1:1, V:V),涡旋混匀,过 0.22 μm 有机滤膜,待测。

植株:称取 2.50 g 样品(精确到 0.01 g)于 50 mL 离心管,前处理步骤同玉米样品。

1.2.3 仪器条件

(1) 色谱条件

色谱柱:Acquity UPLC HSS T₃柱(100 mm×2.1 mm, 1.8 μm);流动相:A:乙腈;B:0.01%氨水(V:V),梯度洗脱条件见表 1;柱温:40 °C;进样量:5 μL。

表 1 梯度洗脱程序

Table 1 Mobile phase gradient elution conditions

时间/min	流速/(mL/min)	A/%	B/%	梯度变化曲线
0	0.2	10	90	初始梯度
1.0	0.2	90	10	6
2.5	0.2	90	10	1
3.0	0.2	10	90	1

注:6 表示线性变化,1 表示立即变化。

(2) 质谱条件

离子源:电喷雾离子源(electron spray ionization, ESI);毛细管电压:3.0 kV;离子源温度:150 °C;脱溶剂气温度:500 °C;锥孔反吹气流量:150 L/h;脱溶剂气流量:1000 L/h;监测方式为多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)扫描模式。数据处理软件:Masslynx 4.1。

2 结果与分析

2.1 色谱条件的优化

不同的流动相和色谱柱对化合物的峰型、分离度以及响应值有很大的影响。考察了 C₁₈及 T₃ 两种常见的色谱柱,结果表明,选择 T₃ 色谱柱时化合物响应强度较高。

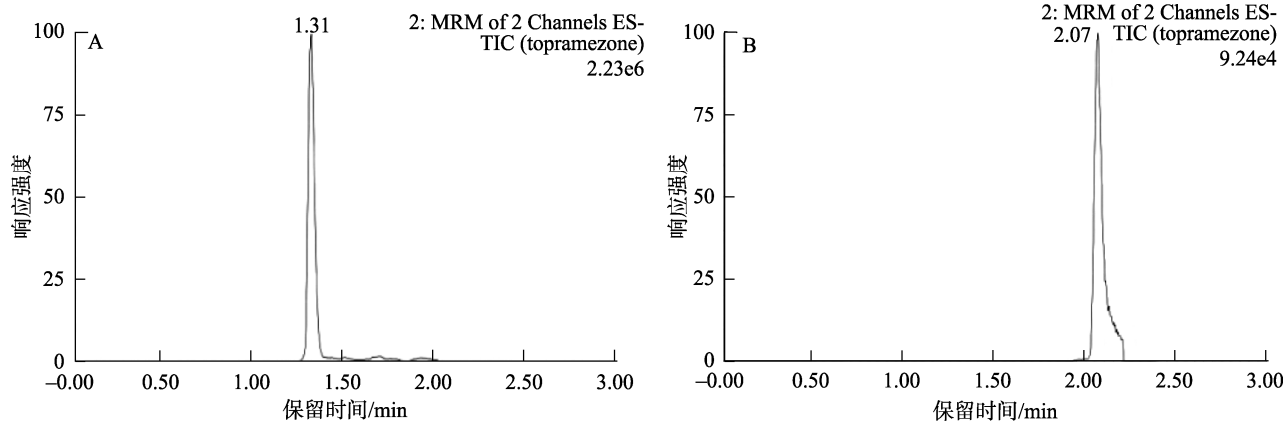
为确定最佳质谱参数,根据经验和文献报道^[10-13],在正负离子同时扫描模式下,分别采用乙腈-水、乙腈-0.1%甲酸、乙腈-0.01%氨水作为流动相,考察对苯唑草酮和莠去津的峰型和响应强度的影响。结果表明,以乙腈-0.1%甲酸为流动相时,苯唑草酮响应强度较低且色谱峰出现拖尾现象;以乙腈-0.01%氨水为流动相时,待测物保留时间提前,峰型明显改善,且响应值提高了 10 倍,如图 1 所示。因此,本研究最终确定采用 T₃ 色谱柱分离,以乙腈-0.01%氨水作为流动相。

2.2 质谱条件的优化

取 100 ng/mL 的苯唑草酮和莠去津标准溶液,正负离子模式同时扫描。对苯唑草酮和莠去津进行分子离子全扫描,确定 2 个稳定、响应高的定性离子,同时对其余质谱条件进行了优化。具体优化后参数见表 2。

2.3 前处理方法的优化

为降低基质对待测物的影响,分别考察了 C₁₈、PSA、C₁₈+PSA 3 种净化剂对回收率的影响,结果表明使用 C₁₈+PSA 作为净化剂时两种待测物的响应强度最高。同时对 C₁₈和 PSA 的用量进行了比较,结果表明在 C₁₈以及 PSA 用量均达到 100 mg 时,待测物响应值达到最高,之后随着吸附剂用量的增加响应强度不再增加,故使用 100 mg C₁₈+100 mg PSA 作为前处理净化剂。



注:A:乙腈-0.01%氨水;B:乙腈-0.1%甲酸。

图 1 不同流动相对苯唑草酮色谱峰的影响

Fig.1 Effects of different mobile phases on the chromatographic peak of topramezone

表 2 苯唑草酮和莠去津的 MRM 参数

Table 2 MRM parameters of topramezone and atrazine

分析物	保留时间 /min	定量、定性离子对(m/z)	锥孔电压 /eV	碰撞能量 /eV
苯唑草酮	1.31	362.1>334*	25	30
		362.1>318		30
莠去津	2.56	216.3>174.0*	30	17
		216.3>96.0		22

注: *表示定量离子。

2.4 线性关系

分别称取青玉米、玉米、青植株和植株空白样品于 50 mL 离心管中, 按照 1.2.2 样品前处理步骤进行提取, 得到空白基质配制质量浓度分别为 0.0005、0.0010、0.0020、

0.0050、0.0200、0.0500 mg/L 的混合标准溶液, 依照 1.2.3 所述方法进行测定, 以标准溶液浓度(X, mg/L)和离子峰面积 Y 绘制标准曲线, 在 0.0005~0.0500 mg/L 范围内相关系数均大于 0.999, 说明该方法线性关系良好, 并分别以 3、10 倍信噪比所对应的待测物浓度计算苯唑草酮和莠去津的检出限、定量限, 结果见表 3, 均满足检测的要求。

2.5 准确度与精密度

分别在玉米和植株空白样品中添加 3 个浓度水平的苯唑草酮和莠去津混合标准溶液进行添加回收实验, 每个加标浓度设立 5 组平行。涡旋混匀后用 1.2.2 方法前处理, UPLC-MS/MS 检测, 计算平均回收率与相对标准偏差 (relative standard deviations, RSDs)。

表 3 2 种农药的线性范围、基质类型和线性方程

Table 3 Linear ranges, matrix types and linear equations of 2 kinds of pesticides

分析物	基质类型	线性方程	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)
苯唑草酮	青玉米	$Y=110435.78X-6.30$	0.0030	0.010
	玉米	$Y=190178.12X+2.08$	0.0030	0.010
	青植株	$Y=119467.41X+38.75$	0.0060	0.020
	植株	$Y=162026.08X+2.61$	0.0060	0.020
莠去津	青玉米	$Y=47793119.61X+3976.31$	0.0015	0.005
	玉米	$Y=129147881.40X-10837.07$	0.0015	0.005
	青植株	$Y=89257302.14X+36063.86$	0.0030	0.010
	植株	$Y=104035346.10X+24456.80$	0.0030	0.010

结果显示, 苯唑草酮回收率为 73.4%~97.8%, RSDs 小于 6.9%, 莠去津回收率为 74.2%~105.5%, RSDs 小于 14.8%, 表明该方法回收率高, 精密度较好, 满足 NY/T 788—2018《农作物中农药残留实验准则》中的标准要求, 具体结果见表 4。

表 4 苯唑草酮和莠去津在玉米和玉米植株中回收率和相对偏差 (n=5)

Table 4 Recoveries and RSDs of topramezone and atrazine in corn and plant (n=5)

基质	添加水平 /mg/kg	苯唑草酮		莠去津	
		回收率 /%	RSDs/%	回收率 /%	RSDs/%
青玉米	0.005	-	-	85.2	14.8
	0.010	74.6	3.2	-	-
	0.050	78.4	3.4	86.7	6.1
	0.100	97.5	4.9	97.2	3.4
玉米	0.005	-	-	105.5	5.2
	0.010	97.8	6.3	-	-
	0.050	74.5	5.1	86.7	6.3
	0.100	87.7	2.2	80.9	4.2

表 4(续)

基质	添加水平 /mg/kg	苯唑草酮		莠去津	
		回收率 /%	RSDs/%	回收率 /%	RSDs/%
青植株	0.010	-	-	74.2	3.1
	0.020	94.6	6.9	-	-
	0.050	77.4	4.2	80.3	3.4
	0.100	94.8	3.4	75.3	2.8
植株	0.010	-	-	78.2	8.7
	0.020	87.5	3.1	-	-
	0.050	73.4	3.0	85.7	5.2
	0.100	94.6	2.9	86.1	5.9

注: -表示未做此浓度的添加回收实验。

2.6 实际样品的检测

采用本研究的方法对天津农贸市场(20 份)及天津采摘园(25 份)样品进行分析, 并采用样品加标和平行样进行质量控制, 结果苯唑草酮和莠去津均低于定量限。

3 结论与讨论

本研究通过对样品前处理方法和仪器参数的优化,确定了最佳的流动相以及吸附剂用量,基于 UPLC-MS/MS 建立了检测玉米和玉米植株中苯唑草酮和莠去津残留量的分析方法,该方法可同时对 2 种待测物进行分析,且 UPLC-MS/MS 梯度洗脱程序时间短,3 min 就可以对玉米及植株中的 2 种农药残留进行分析,提高了检测效率。还考察了方法线性回归方程、回收率和相对标准偏差,均符合残留分析方法的要求。该方法前处理步骤简便,相较于其他方法使用更少剂量的有机溶剂,毒性低污染小,对环境友好。结果表明该方法准确可靠、重现性好,苯唑草酮和莠去津在玉米和植株中定量限更低,灵敏度更高,为玉米和玉米植株中苯唑草酮和莠去津残留分析提供了参考。

参考文献

- [1] 李军国, 潘朝晖, 张伟. 苯唑草酮的合成研究进展[J]. 农药, 2020, 59(8): 547-555.
LI JG, PAN CH, QIANG W. Research progress on synthesis of topramezone [J]. Agrochemicals, 2020, 59(8): 547-555.
- [2] GROSSMANN K, EHRHARDT T. On the mechanism of action and selectivity of the corn herbicide topramezone: A new inhibitor of 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase [J]. Pest Manag Sci, 2007, 63(5): 429-439.
- [3] 刘君良, 刘伟堂, 李小芳, 等. 苯唑草酮等 3 种除草剂对不同玉米品种的安全性[J]. 农药, 2011, 50(6): 426-427, 435.
LIU JL, LIU WT, LI XF, *et al.* Tolerance of the different corn varieties to three herbicides [J]. Agrochemicals, 2011, 50(6): 426-427, 435.
- [4] 刘煜财, 王翌, 王宏波, 等. 25%苯唑草酮·莠去津可分散油悬浮剂对玉米田恶性杂草防效及安全性研究[J]. 东北农业科学, 2020, 45(6): 82-85.
LIU YC, WANG Z, WANG HB, *et al.* Study on the effect and safety of controlling malignant weed in spring corn field with 25% mixture of benzoofuacotong and atrazine [J]. J Northeast Agric Sci, 2020, 45(6): 82-85.
- [5] 高兴祥, 张纪文, 李美, 等. 唑草酮与莠去津复配防除杂草效果及对高粱的安全性[J]. 植物保护学报, 2020, 47(6): 1370-1376.
GAO XX, ZHANG JW, LI M, *et al.* Effect and safety of the combination of quinotrione with atrazine in sorghum fields [J]. J Plant Prot, 2020, 47(6): 1370-1376.
- [6] 赵芳芳. 除草剂苯唑草酮对小球藻的毒性机制研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2017.
ZHAO FF. Toxic mechanism of herbicide topramezone to *Chlorella vulgaris* [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2017.
- [7] 李慧冬. 莠去津等多种农药残留风险评估及莠去津在水/沉积物体系中降解研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
LI HD. Research on multi-residue risk assessment of pesticides including atrazine and degradation of atrazine in the system of sediment and water [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020.
- [8] MARTINS EC, MELO VDF, BOHONE JB, *et al.* Sorption and desorption of atrazine on soils: The effect of different soil fractions [J]. Geoderma, 2018, 322: 131-139.
- [9] WEI XO, SUN Y, LIU C, *et al.* A nitrile-mediated SERS aptasensor coupled with magnetic separation for optical interference-free detection of atrazine [J]. Sens Actuata B Chem, 2021, 329: 129075.
- [10] 姜宜飞, 薄瑞, 于荣. 苯唑草酮原药高效液相色谱分析方法研究[J]. 农药科学与管理, 2012, 33(1): 39-41.
JIANG YF, BO R, YU R. Analytical method for determination of topramezone TC by HPLC [J]. Pest Sci Admin, 2012, 33(1): 39-41.
- [11] 冯义志, 金杰, 潘金菊, 等. 苯唑草酮在玉米和土壤中的残留消解动态及残留量[J]. 农药, 2017, 56(9): 664-667.
FENG YZ, JIN J, PAN JJ, *et al.* Residues and decline dynamics of topramezone in corn and soil [J]. Agrochemicals, 2017, 56(9): 664-667.
- [12] LI YB, DONG FS, LIU XG, *et al.* Miniaturized liquid-liquid extraction coupled with ultra-performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry for determination of topramezone in soil, corn, wheat, and water [J]. Anal Bioanal Chem, 2011, 400(9): 3097-3107.
- [13] 冷金蔓, 张晟, 孙晓伟, 等. 3 种除草剂在玉米中的残留分析方法及样品储藏稳定性[J/OL]. 吉林农业大学学报: 1-10. [2021-05-28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1100.S.20210512.1545.003.html>
LENG JM, ZHANG S, SUN XW, *et al.* Residue analysis method of three herbicides in maize and stability of sample storage [J/OL]. J Jilin Agric Univ: 1-10. [2021-05-28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1100.S.20210512.1545.003.html>
- [14] 姚杰, 刘传德, 周先学, 等. 基于气相色谱-氮磷检测法同时检测玉米中莠去津、乙草胺和丁草胺的残留量[J]. 中国农学通报, 2018, 34(9): 127-130.
YAO J, LIU CD, ZHOU XX, *et al.* Determination of atrazine, acetochlor and butachlor residues in maize by GC-FTD [J]. Chin Agric Sci Bull, 2018, 34(9): 127-130.
- [15] 吴飞, 邵爱梅, 徐晓培. 高效液相色谱法测定饮用水中莠去津、三氯杀螨醇、氰戊菊酯、甲氰菊酯和二氯苯醚菊酯[J]. 现代预防医学, 2020, 47(19): 3619-3622.
WU F, SHAO AIM, XU XP. Simultaneous determination of atrazine, dichloropermethrin, cypermethrin, mepermethrin and permethrin in drinking water by HPLC [J]. Mod Prev Med, 2020, 47(19): 3619-3622.
- [16] 刘博静, 范小振, 田蜜. 超声萃取-气相色谱法测定土壤中乙草胺和莠去津残留量[J]. 农药, 2018, 57(11): 820-822.
LIU BJ, FAN XZ, TIAN M. Determination of acetochlor and atrazine residues in soil by GC with ultrasonic extraction [J]. Agrochemicals, 2018, 57(11): 820-822.
- [17] 王博, 侯志广, 刘良月, 等. 烟嘧磺隆、莠去津、2 甲 4 氯异辛酯及其代谢物在玉米和土壤中的残留分析[J]. 现代农药, 2018, 17(6): 40-44.
WANG N, HOU ZG, LIU LY, *et al.* Residual analysis of nicosulfuron,

atrazine, MCPA-isooctyl and its metabolite in corn and soil [J]. *Mod Agric*, 2018, 17(6): 40-44.

- [18] 杜鹏飞, 金茂俊, 石梦琪, 等. 分散固相萃取-气相色谱-质谱法同时测定玉米中乙草胺、莠去津和 2,4-滴异辛酯[J]. *农药*, 2015, 54(10): 748-751.

DU PF, JIN MJ, SHI MQ, *et al.* Simultaneous determination of acetochlor, atrazine and 2,4-D-ethylhexyl residues in corn by dispersive solid phase extraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Agrochemicals*, 2015, 54(10): 748-751.

- [19] 董新风. 色谱与质谱联用技术用于除草剂多残留检测及莠去津降解规律的研究[D]. 保定: 河北大学, 2015.

DONG XF. Rapid determination for herbicides residues by ESI-UPLC/MS/MS and study on degradation regulation of atrazine in soil [D]. Baoding: Hebei University, 2015.

- [20] 王容燕, 马娟, 高波, 等. 土壤中烟嘧磺隆和莠去津残留对甘薯的药害评价[J]. *农药学报*, 2021, 23(5): 915-921.

WANG RY, MA J, GAO B, *et al.* Phytotoxicities of nicosulfuron and atrazine residues in soil on sweetpotato [J]. *Chin J Pest Sci*, 2021, 23(5): 915-921.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介



钟年孝, 硕士研究生, 主要研究方向为兽医药理学与毒理学研究。
E-mail: 541151594@qq.com

郭永泽, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全与营养研究。
E-mail: guoyz1971@126.com

李 存, 教授, 主要研究方向为兽医药理学与毒理学研究。
E-mail: hhlicun@163.com