·实验技术及其应用·

固相萃取 – 气相色谱 – 串联质谱法测定生活饮用水中 21 种除草剂

丁宇，周睿，张博，宋黎黎
上海市黄浦区疾病预防控制中心，上海 200023

摘要：目的　基于固相萃取前处理技术，建立生活饮用水中 21 种除草剂的气相色谱 – 串联质谱检测方法。**方法**　抽取 500 ml 水样，经 C_{18} 固相萃取小柱萃取、5 ml 乙酸乙酯 – 二氯甲烷（1∶1）混合液洗脱。收集洗脱液，真空离心浓缩至近干，用 1 ml 乙酸乙酯定容后，进样气相色谱质谱仪检测、多反应监测模式（MRM）定量。**结果**　在 5.0 ~ 200.0 μg/L 范围内，各除草剂呈现良好的线性，相关系数在 0.995 4 ~ 0.999 8 之间，检出限（LOD）在 0.11 ~ 1.21 μg/L 之间，定量限（LOQ）在 0.33 ~ 3.64 μg/L 之间，精密度（RSD）在 1.6% ~ 6.3%范围内，回收率在 74.3% ~ 112.7%之间。**结论**　该方法线性范围宽、准确、可靠，适合于水中多种除草剂的检测。

关键词：固相萃取；气相色谱 – 串联质谱法；生活饮用水；除草剂
中图分类号：O657.71　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1003-8507（2025）01-149-06
DOI：10.20043/j.cnki.MPM.202405310

Solid phase extraction-gas chromatography-tandem mass spectrometry method for determining 21 types of herbicides in drinking water

DING Yu, ZHOU Rui, ZHANG Bo, SONG Li-li
Shanghai Huangpu District Center for Disease Prevention and Control, Shanghai 200023, China

Abstract: Objective To establish a gas chromatography-tandem mass spectrometry (GC-MS/MS) method for detecting 21 types of herbicides in drinking water based on solid phase extraction (SPE) pre-treatment technology. **Methods** A 500 ml water sample was extracted using a C_{18} solid phase extraction column, followed by elution with a 5 ml mixture of ethyl acetate and dichloromethane (1:1). The eluent was collected and concentrated near dryness using vacuum centrifugation, and then reconstituted with 1 ml of ethyl acetate for analysis by gas chromatography-mass spectrometry in multiple reaction monitoring (MRM) mode. **Results** Within the concentration range of 5.0 μg/L to 200.0 μg/L, the herbicides exhibited good linearity, with correlation coefficients ranging from 0.9 954 to 0.9 998. The limits of detection (LOD) ranged from 0.11 μg/L to 1.21 μg/L, while the limits of quantification (LOQ) ranged from 0.33 μg/L to 3.64 μg/L. Precision (RSD) was found to be between 1.6% and 6.3%, and the recovery rates ranged from 74.3% to 112.7%. **Conclusion** This method demonstrates a wide linear range, accuracy, and reliability, making it suitable for the detection of multiple herbicides in water.

Keywords: Solid phase extraction; Gas chromatography-tandem mass spectrometry; Drinking water; Herbicides

为了提高粮食产量，减少杂草对农作物营养、水分和阳光的争夺，各类除草剂相继开发并广泛用于农业生产。目前，丙草胺和丁草胺等多用与水稻田杂草抑制，而其他除草剂则用于旱田除草[1-2]。除草剂喷洒在农田后，部分会残留在土壤和空气中。相对于土壤吸附，除草剂更易溶于水，并逐步渗透至地下水，造成水源污染，最终通过食物链进入人体，干扰激素平衡，损坏神经系统，造成智力低下、多动症、过敏性疾病等，甚至诱发癌症，严重危害人体健康和生命安全[3-5]。

目前常见的除草剂检测方法主要有胶体金免疫分析法[6]、气相色谱法[7-9]、液相色谱法[10]、气相色谱 – 质谱法[11-12]、液相色谱 – 质谱法[13]等。柯童炜等[6]采用试纸条上固定的抗体识别、捕获样品中的扑草净，通过颜色变化半定量检测扑草净残留。但该方法仅能对部分除草剂进行分析，不适于多种待测组分的同时检测，且定量能力相较其他分析方法略显不足。张妮娜等[9]建立了地表水中甲草胺和乙草胺的气相色谱法测定方法；吴亮等[10]利用高效液相色谱法检测了稻田样品中禾草灵等 5 种除草剂。但是气相色谱法和液相色谱法检测灵敏度不高，且定性能力有限，近年来逐渐被质谱法替代；石莹等[14]采用液相色谱 – 质谱法测

基金项目：上海市黄浦区医学优势专科（2023PYZK04）；上海市黄浦区科学委员会课题（HLM202224）
作者简介：丁宇（1978—），男，本科，副主任技师，研究方向：理化检测工作
通信作者：宋黎黎，E-mail：13501871639@163.com

定了稻田水体中丙草胺、丁草胺等 8 种常用除草剂残留，取得了较好的效果。

气相色谱－串联质谱法具有卓越的定性能力和高灵敏度等优点，能够满足多种除草剂准确、灵敏、可靠检测的需求。本文分析的 21 种除草剂，多为硫代氨基甲酸酯类、三嗪类和酰胺类除草剂，极性相对较弱，C_{18} 小柱对其具有良好的保留能力。鉴于此，本研究采用 C_{18} 固相萃取小柱对目标待测物进行萃取和富集，再通过气相色谱－串联质谱法检测，此方法操作简便、准确可靠、结果满意。

1　材料与方法

1.1　仪器与试剂　GCMS-TQ8040 NXNC 气相色谱串联质谱仪（日本岛津公司）；EZ-2 真空浓缩仪（英国 Genevac 公司）；VF-5MS 色谱柱（30 m × 0.25 mm，0.25 μm，美国瓦里安公司）；0.45 μm 尼龙针头过滤器。氮气：纯度不小于 99.999%；氦气：纯度不小于 99.999%（上海优华气体有限公司）。

硫草敌、敌草腈、禾草敌、环草敌、氟草胺、异噁草酮、去草净、炔苯酰草胺、敌草净、乙草胺、嗪草酮、扑草净、异丙甲草胺、禾草丹、氟丁酰草胺、丁草胺、抑草磷、敌草胺、丙草胺、噁草酮和除草醚标准物质，浓度均为 100 μg/ml（天津阿尔塔科技有限公司）。

乙酸乙酯（HPLC 级，德国默克公司）；二氯甲烷（HPLC 级，德国默克公司）；甲醇（HPLC 级，德国默克公司）；CNW PolySery C_{18} 小柱（200 mg，6 ml）（上海安谱公司）。

1.2　方法

1.2.1　标准曲线的配制

1.2.1.1　混合标准中间液的配制　准确吸取 0.5 ml 各标准物质原液于 50 ml 容量瓶中，用乙酸乙酯定容，可得 1 000 μg/L 的混合标准中间液。

1.2.1.2　混合标准应用液的配制　分别取混合标准中间液 50、100、200、500、1 000 和 2 000 μl，用乙酸乙酯定容至 10 ml，配制成浓度为 5.0、10.0、20.0、50.0、100.0 和 200.0 μg/L 混合标准应用液。

1.2.2　样品制备　使用具有聚四氟乙烯瓶垫的 2 L 广口棕色玻璃瓶采集地下管网水样，取水至满瓶，加入 0.2 g 抗坏血酸，除去余氯，密封后送至实验室，4℃放置 24 h。检测前用 0.45 μm 滤膜过滤水样。

1.2.3　固相萃取

1.2.3.1　C_{18} 小柱的活化　依次用 5 ml 二氯甲烷、5 ml 乙酸乙酯过柱，真空泵抽干 30 s，再依次用 10 ml 甲醇、10 ml 纯水在重力作用下过柱活化，使用控流阀控制液面，保持吸附剂不暴露于空气中。

1.2.3.2　准确量取 500 ml 水样，以 15 ml/min 流速过 C_{18} 小柱。抽干水分，在 C_{18} 小柱上加入 5 ml 乙酸乙酯和二氯甲烷（1∶1）混合液，静置 60 s 后，在重力作用下洗脱，并收集洗脱液。将洗脱液置于真空浓缩仪中，浓缩至近干。用乙酸乙酯定容至 1.0 ml，上机测定。

1.2.4　仪器条件

1.2.4.1　色谱条件　色谱柱：VF-5MS 30m × 0.25 mm，0.25 μm；载气：氦气，流速为 1.0 ml/min；进样口温度：280 ℃；升温程序：初始温度为 60 ℃，保持 1 min，先以 40 ℃/min 升至 120 ℃，再以 5 ℃/min 升至 310 ℃，保持 4.5 min；进样量为 1 μl。

1.2.4.2　质谱条件　离子源温度：230 ℃；接口温度：280 ℃；溶剂延迟时间：3 min；电离方式：电子轰击电离（EI）；电离能量：70 eV；扫描间隔：0.30 s；监测扫描模式：MRM 模式；碰撞气：氩气。

2　结　果

2.1　色谱条件的优化　考察了 VF-5MS、VF-1701 和 VF-1MS 三种不同填料（柱长、粒径和涂层厚度一致）的色谱柱的分离效果，使用 VF-5MS 时 21 种待测物可实现较好分离，峰形尖锐，且同一浓度的待测物相应信号较后两者略大；而使用后两种色谱柱时，部分除草剂色谱峰重叠，不能完全分离。故选择 VF-5MS 用于后续分离。同时，优化了升温程序，确保目标组分能得到良好的分离，峰形对称且尖锐。

2.2　质谱条件的优化　首先采用 SCAN 模式对 21 种除草剂进行扫描，确定各待测物的保留时间，选择相对丰度较高、干扰少的特征碎片峰作为母离子，通过仪器自带优化程序，辅以人工筛选，优选出最适合的碰撞能量以及二级碎片离子，再用 MRM 模式对子离子进行检测，最终确定 21 种目标组分的保留时间、定性离子、定量离子和碰撞能量见表 1、图 1。

2.3　固相萃取柱的选择　将加标 0.1 μg/L 的 500 ml 水样分别使用 C_{18} 小柱、HLB 小柱、C-NH2 柱进行萃取，结果表明，水样经 HLB 小柱、C-NH2 柱处理后，基线偏高，杂峰较多，萃取效果欠佳；而水样经 C_{18} 小柱处理后，样品中杂质离子得到有效去除，基线稳定，杂峰较少，待测物分离效果良好。各小柱萃取的回收效果见表 2。

综上，C_{18} 小柱能有效去除样品中的基质干扰，回收效果也最为理想，故本文选用 C_{18} 小柱用于固相萃取前处理。

2.4　洗脱剂的优化　分别使用 5 ml 乙酸乙酯、5ml 二氯甲烷、5 ml 乙酸乙酯－二氯甲烷（1∶1）、5 ml 乙酸乙酯－二氯甲烷（2∶1）作为洗脱液，对加标 0.1 μg/L 的 500 ml 水样进行回收实验，回收率依次 54.2% ~ 79.0%、38.6% ~ 64.9%、74.3% ~ 112.7%、

62.7% ~ 87.4%。结果表明,采用乙酸乙酯 – 二氯甲烷(1 ∶ 1)洗脱时,各待测除草剂的回收效果更理想,故选择 5 ml 乙酸乙酯 – 二氯甲烷(1 ∶ 1)作为洗脱液。

表 1　21 种除草剂的保留时间、定性离子、定量离子和碰撞能量

Table 1　The retention time, qualitative ions, quantitative ions, and collision energy of 21 herbicides

除草剂	保留时间(min)	定量离子(m/z)			定性离子(m/z)		
		母离子	子离子	碰撞能量(ev)	母离子	子离子	碰撞能量(ev)
硫草敌	4.408	100.00	72.10	5.00	161.00	100.10	5.00
敌草腈	6.260	171.00	136.00	15.00	171.00	100.10	25.00
禾草敌	9.283	126.00	55.10	15.00	83.00	55.10	5.00
环草敌	10.948	83.00	55.10	10.00	154.00	83.10	10.00
氟草胺	11.567	292.00	159.90	30.00	292.00	264.10	5.00
异噁草酮	13.337	125.00	89.00	25.00	204.00	107.00	20.00
去草净	13.502	169.00	154.10	10.00	169.00	69.10	30.00
炔苯酰草胺	13.892	173.00	144.90	20.00	175.00	146.90	15.00
敌草净	15.618	198.00	108.00	10.00	198.00	57.20	30.00
乙草胺	15.626	213.00	125.30	15.00	162.00	147.10	15.00
嗪草酮	15.935	198.00	82.10	15.00	198.00	55.10	35.00
扑草净	16.402	241.00	58.10	10.00	226.00	184.00	10.00
异丙甲草胺	17.328	238.00	162.10	10.00	162.00	133.00	15.00
禾草丹	17.421	100.00	72.10	5.00	125.00	89.10	15.00
氟丁酰草胺	19.312	176.00	91.10	10.00	91.00	65.10	20.00
丁草胺	20.051	188.00	160.10	15.00	160.00	130.10	30.00
抑草磷	20.413	286.00	185.00	25.00	286.00	202.20	15.00
敌草胺	20.578	128.00	72.10	5.00	271.00	128.10	5.00
丙草胺	20.813	162.00	147.10	10.00	162.00	132.10	20.00
噁草酮	21.092	175.00	112.00	15.00	258.00	175.00	10.00
除草醚	22.079	128.00	72.10	5.00	271.00	128.10	5.00

表 2　各小柱萃取的回收效果

Table 2　The recovery efficiency of each small column extraction

固相萃取小柱	C_{18}	HLB	C–NH_2
回收率(%)	74.3 ~ 112.7	65.3 ~ 90.7	40.8 ~ 76.2

2.5　*洗脱剂浸没时间的选择*　在控流阀关闭状态下,将洗脱剂加入 C_{18} 小柱,待洗脱剂完全浸没填料层,并静置片刻,使吸附在填料上的除草剂充分置换到洗脱剂中。本文考察了浸没时长分别为 0、30、60 和 90 s 的回收率,结果见表 3。

表 3　洗脱剂浸没时间的优化

Table 3　The optimization of eluent immersion time

静置时间(s)	0	30	60	90
回收率(%)	42.1 ~ 68.8	56.2 ~ 90.4	74.3 ~ 112.7	73.1 ~ 110.5

经比较发现,大部分除草剂随洗脱剂浸没时间延长,回收率逐步升高,至 60 s 时可达到 74.3% ~ 112.7%,而浸没 90 与 60 s 的回收率无明显差异,故选择 60 s 作为洗脱剂浸没时长。

2.6　*标准曲线方程及检出限*　在 5.0 ~ 200.0 μg/L 范围内,以待测物的浓度为横坐标,待测物的响应值为纵坐标,绘制标准曲线,所有待测组分均呈现良好的线性关系。配制 1.0 μg/L 除草剂混合标准溶液,连续测定 6 次,以 3 倍信噪比计算检出限(LOD)、10 倍信噪比计算定量限(LQD)[15]。结果见表 4。

21 种除草剂的检出限(LOD)在 0.11 ~ 1.21 μg/L 之间,定量限(LOQ)在 0.33 ~ 3.64 μg/L 范围内。

2.7　*加标回收及精密度试验*　以纯水作为空白水样,对其进行高、中、低浓度的加标试验,并分别连续测定 6 次,测定回收率和 RSD,结果见表 5。

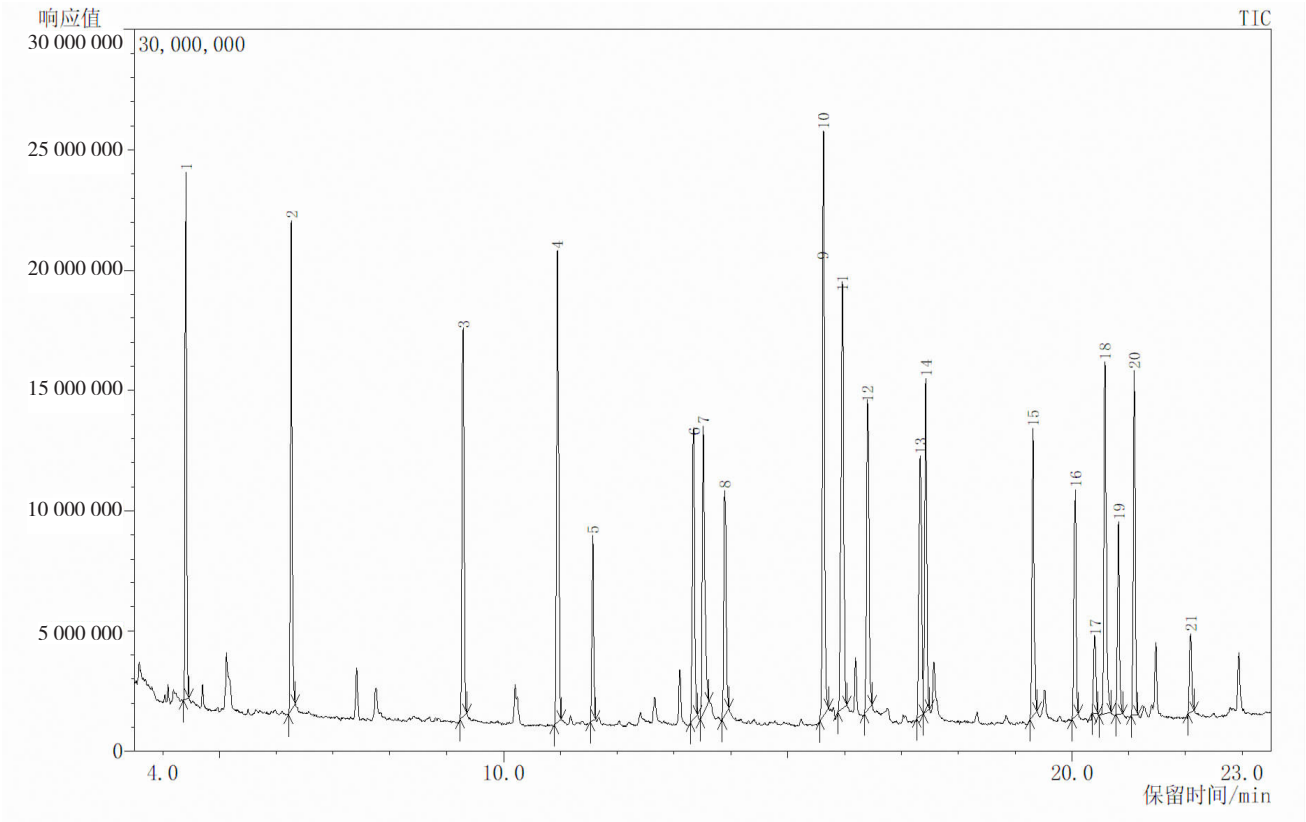
由表 5 可知,21 种除草剂回收率为 74.3 % ~ 112.7%,RSD 为 1.6 % ~ 6.3 %,表明所建立的方法准确且可靠。

2.8　*实际样品分析*　采用本方法对 30 件生活饮用水样品进行检测,1 件样品检出乙草胺,浓度为 0.018 μg/L,其余水样均未检出所测的除草剂成分。

表 4　21 种除草剂的线性方程、相关系数、检出限和定量限

Table 4　The linear equations, correlation coefficients, detection limits, and quantification limits of 21 herbicides

除草剂	线性方程	相关系数	LOD(μg/L)	LQD(μg/L)
硫草敌	y=2 541.9x+5 792.2	0.998 9	0.58	1.74
敌草腈	y=2 446.2x−6 359.8	0.999 0	0.57	1.71
禾草敌	y=2 447.61x−12 957.7	0.996 8	0.60	1.80
环草敌	y=3 357.43x−16 885.9	0.996 5	0.71	2.12
氟草胺	y=240.45x−1 464.9	0.997 1	1.12	3.35
异噁草酮	y=670.54x−1 027.0	0.999 8	0.23	0.69
去草净	y=195.82x+88.17	0.998 1	0.96	2.88
炔苯酰草胺	y=376.41x−562.23	0.998 2	0.40	1.20
敌草净	y=346.92x+87.48	0.999 2	1.21	3.64
乙草胺	y=263.63x−236.55	0.999 8	0.95	2.85
嗪草酮	y=105.55x+78.13	0.996 7	0.77	2.32
扑草净	y=227.13x−946.46	0.996 9	1.07	3.20
异丙甲草胺	y=1 212.22x−3 499.52	0.998 7	0.15	0.45
禾草丹	y=2 152.93x−9 841.76	0.997 1	0.11	0.33
氟丁酰草胺	y=356.44x−1 345.42	0.995 4	0.52	1.56
丁草胺	y=49.05x−83.51	0.996 3	0.89	2.66
抑草磷	y=70.51x−433.44	0.995 5	0.78	2.35
敌草胺	y=377.77x−664.07	0.999 6	0.28	0.84
丙草胺	y=388.73x−373.39	0.999 8	0.45	1.34
噁草酮	y=895.45x−3 079.57	0.997 9	0.23	0.69
除草醚	y=71.45x−410.44	0.996 1	0.73	2.18



注：1– 硫草敌、2– 敌草腈、3– 禾草敌、4– 环草敌、5– 氟草胺、6– 异噁草酮、7– 去草净、8– 炔苯酰草胺、9– 敌草净、10– 乙草胺、11– 嗪草酮、12– 扑草净、13– 异丙甲草胺、14– 禾草丹、15– 氟丁酰草胺、16– 丁草胺、17– 抑草磷、18– 敌草胺、19– 丙草胺、20– 噁草酮、21– 除草醚。

图 1　21 种除草剂总离子流图(MRM)

Figure 1　The total ion flux (MRM) of 21 herbicides

3　讨　论

进入水体的除草剂，浓度较低，通常需要进行提取和浓缩处理。固相萃取技术基于液固色谱萃取原理，利用除草剂和杂质组分在吸附剂上分配、吸附和

表 5　21 种除草剂的加标回收率及 RSD

Table 5　The spiked recovery and RSD of 21 herbicides

除草剂	加标量(5.0 μg/L)			加标量(25.0 μg/L)			加标量(50.0 μg/L)		
	测定值(μg/L)	回收率(%)	RSD(%)	测定值(μg/L)	回收率(%)	RSD(%)	测定值(μg/L)	回收率(%)	RSD(%)
硫草敌	4.1	81.2	5.7	21.2	84.7	4.5	43.2	86.3	3.6
敌草腈	4.0	79.8	5.3	20.8	83.2	5.3	42.3	84.5	2.7
禾草敌	5.3	105.3	6.3	26.1	104.5	4.7	55.1	110.2	2.9
环草敌	4.1	82.5	6.1	21.7	86.9	4.9	39.7	79.4	6.1
氟草胺	4.3	85.4	6.2	22.6	90.3	3.7	43.2	86.4	5.8
异噁草酮	4.3	86.3	4.2	23.7	94.7	1.9	45.2	90.3	5.3
去草净	4.1	81.9	5.5	22.4	89.4	2.5	42.4	84.7	2.7
炔苯酰草胺	3.7	74.3	5.7	19.6	78.5	2.9	38.0	75.9	3.5
敌草净	3.9	78.6	5.8	20.9	83.6	3.6	38.7	77.3	3.7
乙草胺	4.7	93.4	4.9	23.7	94.8	3.3	45.6	91.2	3.8
嗪草酮	4.6	92.7	4.8	22.9	91.6	4.2	47.3	94.5	4.6
扑草净	4.5	90.4	5.0	23.3	93.2	4.6	48.1	96.2	4.8
异丙甲草胺	5.1	101.8	6.1	24.2	96.9	4.1	51.9	103.8	5.6
禾草丹	5.6	112.7	4.7	26.2	104.7	2.9	55.2	110.4	6.2
氟丁酰草胺	5.2	104.3	4.8	23.8	95.1	3.8	52.6	105.1	5.1
丁草胺	4.7	93.1	4.9	23.3	93.2	4.5	48.2	96.3	1.6
抑草磷	4.4	88.4	5.3	22.4	89.7	3.6	46.3	92.6	2.4
敌草胺	4.2	84.5	5.4	22.9	91.4	3.7	46.8	93.6	3.1
丙草胺	3.9	78.6	5.4	21.2	84.7	4.6	41.3	82.5	3.8
噁草酮	4.0	79.4	5.6	21.8	87.3	4.3	43.2	86.4	3.6
除草醚	3.8	75.6	5.3	22.8	91.3	4.4	44.4	88.7	4.7

离子交换能力的差异，将待测组分与杂质分离，从而降低样品基体干扰、提高检测的灵敏度和准确度。

C_{18} 固相萃取小柱是基于十八烷基键合硅胶的反相萃取介质，它对非极性到弱极性的有机化合物具有较好的保留能力，而本研究分析的 21 种除草剂极性均较弱，因此 C_{18} 柱能够有效地富集和纯化这些目标分析物。另外，C_{18} 柱与水、含水缓冲液和大多数有机溶剂兼容性好，因此可灵活选择样品处理条件。

乙酸乙酯和二氯甲烷的极性各不相同，但是将其以 1∶1 混合后作为洗脱剂，则可以改变溶剂的极性，从而获得比单一试剂更广泛的极性选择范围，从而改善对部分除草剂的洗脱效果。加入洗脱剂后，需要浸没 60 s 左右，以便让吸附在 SPE 小柱填料中的除草剂被充分洗脱并转移至洗脱剂中，从而提高检出率。但是浸没时间不可过长，因为二氯甲烷易挥发，暴露在空气中时间过长会由于挥发而影响测定结果。

VF-5MS 是一种高惰性的 5% 苯基甲基聚硅氧烷色谱柱，比 VF-1MS 固定相极性稍高，而较 VF-1701 极性弱，适于兼顾对非极性除草剂和弱极性除草剂的分离，具有更高的检测灵敏度和分离效果。

综上，本文建立了生活饮用水中 21 种除草剂的固相萃取 - 气相色谱 - 串联质谱法测定方法，所建立的方法灵敏、准确、可靠，适于推广应用。

利益冲突声明　本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] 周冏，温倩倩，康晶，等. 农业面源污染对我国农村地表水的影响与对策研究[J]. 环境监控与预警，2022，14(6)：1-7.
Zhou J, Wen QQ, Kang J, et al. Study on the impact of agricultural non-point source pollution on rural surface water quality in China and countermeasures[J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2022, 14(6): 1-7.(In Chinese)

[2] 胡江博，任正鹏，丁翔，等. 稻田除草剂应用现状与抗除草剂水稻育种研究进展[J]. 中国稻米，2023，29(4)：13-19.
Hu JB, Ren ZP, Ding X, et al. Application of herbicides in rice fields and research progress on herbicide-resistant rice varieties breeding [J]. China Rice, 2023, 29(4): 13-19.(In Chinese)

[3] 刘存卫，梁晓聪，郭蓉，等. 气相色谱串联质谱法检测饮用水中酰胺类除草剂残留[J]. 环境卫生学杂志，2021，11(1)：87-92.
Liu CW, Liang XC, Guo R, et al. Determination of amide herbicide residues in drinking water by gas Chromatography-Tandem mass spectrometry [J]. Journal of Environmental Hygiene, 2021, 11 (1): 87-92.(In Chinese)

[4] 佟佳琪，李阳阳，丛月婵，等. 除草剂对环境污染与风险评价的研究进展[J]. 环境保护与循环经济，2022，42(2)：52-54.
Tong Jia Q, Li YY, Cong YC, et al. Research progress on herbicides impact on environmental pollution and risk assessment [J]. Liaoning Urban and Rural Environmental Science & Technology, 2022, 42(2): 52-54.(In Chinese)

[5] Anton BJ, Cornelius Ruhs E, White AM, et al. Elucidating the effects of acute and chronic exposure to 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid on

fathead minnow (Pimephales promelas) innate immunity[J]. Aquatic Toxicology, 2023, 260: 106571.

[6] 柯童炜,骆骄阳,秦家安,等. 胶体金免疫层析法快速检测中药材中除草剂扑草净残留 [J]. 药物分析杂志,2024,44(1):174-184.
Ke TW, Luo JY, Qin JA, et al. Colloidal Gold immunochromatographic assay for rapid detection of herbicide prometryn in traditional Chinese medicine [J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2024, 44(1): 174-184.(In Chinese)

[7] 李如茵,王洪艳,应锦玲,等. 气相色谱法测定贝类中扑草净残留方法建立[J]. 农产品加工,2019(1):49-51.
Li RY, Wang HY, Ying JL, et al. Study on determination of prometryn residue in shellfish by gas chromatography [J]. Farm Products Processing, 2019(1): 49-51.(In Chinese)

[8] 刘军. 气相色谱法检测生活饮用水中灭草松和 2,4- 二氯苯氧乙酸水平的研究 [J]. 检验医学与临床,2021,18(17):2598-2600.
Liu J. Study on the detection of glyphosate and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid levels in drinking water by gas chromatography [J]. Laboratory Medicine and Clinic, 2021, 18(17): 2598-2600.(In Chinese)

[9] 张妮娜. 分散液液微萃取 - 气相色谱法测定地表水中甲草胺和乙草胺[J]. 化学分析计量,2018,27(3):65-68.
Zhang NN. Determination of alachlor and acetochlor in surface water by dispersive liquid-liquid microextraction and gas chromatography [J]. Chemical Analysis and Meterage, 2018, 27 (3): 65-68. (In Chinese)

[10] 吴亮,龚道新,张小东,等. 高效液相色谱法同时检测稻田样品中 5 种除草剂的残留量[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2016,42(3):322-327.
Wu L, Gong DX, Zhang XD, et al. Simultaneous determination of five herbicides residue in paddy soil samples by high performance liquid chromatography[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2016, 42(3): 322-327.(In Chinese)

[11] 马杰,石矛,王辉龙,等. GC-MS 测定生活饮用水及水源水中 6 种酰胺类除草剂[J]. 环境卫生学杂志,2021,11(6):537-541.
Ma J, Shi M, Wang HL, et al. Determination of six amide herbicides in drinking water and source water by GC-MS [J]. Journal of Environmental Hygiene, 2021, 11(6): 537-541.(In Chinese)

[12] 郭伟伟,孙志洪,卢冠宇,等. 气相色谱质谱法检测稻田土壤中 6 种除草剂残留[J]. 中国测试,2022,48(11):78-81, 119.
Guo WW, Sun ZH, Lu GY, et al. Determination of six herbicide residues in paddy soil by gas chromatography mass spectrometry[J]. China Measurement & Testing Technology, 2022, 48 (11): 78-81, 119.(In Chinese)

[13] 陈奕如,胡馨羽,梁悦夫,等. QuEChERS-UPLC-MS/MS 测定水体与土壤中 9 种除草剂残留 [J]. 农药,2023,62(12):889-894.
Chen YR, Hu XY, Liang YF, et al. QuEChERS combined with UPLC-MS/MS to determine 9 herbicide residues in water and soil[J]. Agrochemicals, 2023, 62(12): 889-894.(In Chinese)

[14] 石莹,徐漫,康艺瑾,等. 超高效液相色谱 - 串联质谱法测定稻田水体中 8 种常用稻田除草剂的残留[J]. 农药,2024,63(3):268-273.
Shi Y, Xu M, Kang YJ, et al. Simultaneous determination of residues of 8 frequently-used herbicide in rice field water by UPLC-MS/MS [J]. Agrochemicals, 2024, 63(3): 268-273.(In Chinese)

[15] 国家卫生健康委员会. GB 5009.295-2023 食品安全国家标准 化学分析方法验证通则[S]. 北京:中国标准出版社,2023.
National Health Commission. GB 5009.295-2023 National food safety standards general rules for validation of chemical analysis methods[S]. Beijing: Standards Press of China.(In Chinese)

收稿日期:2024-05-18

读者·作者·编者

优先征集国家、省部级基金项目及重点攻关项目论文启事

为了提高本刊的学术水平，促进本刊发展，特向各医学院校、医院、医学科研机构广泛征集国家、省部级自然科学基金资助项目和重点攻关项目的论文，范围包括基础医学、预防医学和临床医学各专业的论著、调查报告、技术与方法等。对上述专业范围的基金项目或攻关项目产出的文稿须在首页下注明项目名称、项目编号，并提交有关证明的复印件，本刊一经审查合格，将优先发表，免收审稿费。

欢迎积极撰文，踊跃投稿。