

采用气相色谱-质谱联用仪分析

土壤中半挥发性有机物

刘鑫顺, 陈旭汉, 赵鹏

(广州禾信仪器股份有限公司, 广东 广州 510530)

摘要:使用禾信GCMS 1000按照HJ834-2017方法对实际土壤进行加标回收实验。实验结果表明, 在1 μ g/mL-50 μ g/mL的浓度范围内, 目标物的标准曲线相关系数 r 均大于0.99, 精密度为2.35%-24.21%, 土壤加标回收率为48.2%-119%, 方法检出限在0.003 mg/kg-0.037 mg/kg范围内, 均满足HJ834-2017标准要求。

关键词: 土壤; 半挥发性有机物

半挥发性有机物(SVOCs)是指可在有机溶剂中分配, 同时可进行气相色谱分析的一大类化合物, 包括多环芳烃、多氯联苯、邻苯二酸酯类、硝基苯类和苯酚类等多类化合物。SVOCs广泛分布于环境土壤中, 由于其难以挥发或降解, 导致其具有持久性和生物蓄积性, 因此土壤和沉积物中半挥发性有机物的检测对保障人体健康和保护环境起到非常重要的作用。

本文参考《土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法》标准(HJ 834-2017), 使用气相色谱-质谱联用仪进行半挥发性有机物分析, 通过检出限、精密度和准确度等指标评估仪器性能, 证明 GCMS 1000 满足土壤中半挥发性有机物检测的需要。

1 材料和方法

1.1 样品制备

称取 20 g 新鲜土样, 用硅藻土搅拌至散粒状, 全部转移至加压流体萃取装置中进行萃取, 萃取后使用 K-D 浓缩仪浓缩至 1 mL。

按照 HJ 834-2017 附录 B 中 B.1 硅酸镁层析柱净化方法进行净化, 使用氮吹仪浓缩至 1 mL, 加入适量内标中间液, 并定容至 1 mL, 混匀后转移至 2 mL 样品瓶中, 待测。

1.2 仪器条件

表1.仪器方法参数

模块	参数	值
色谱	进样口温度	280°C
	进样方式	不分流
	色谱柱系统	DB-5ms (30m×0.25mm×0.25μm)
	升温程序	起始温度40°C, 保持2 min, 以10 °C/min升至150°C, 保持5min, 以5°C/min升至290°C, 保持9min
	载气	氦气
	柱流量	1mL/min 恒流模式
	离子源	EI, 70eV
质谱	离子源温度	280°C
	接口温度	280°C
	检测器电压	-1160V
	质量采集范围	35-350amu
	采集速率	1000amu/s
	溶剂延迟	3.5min
	采集模式	全扫描

2 结果与讨论

2.1 仪器性能评价

通过进样1μL 50 mg/L十氟三苯基磷 (DFTPP) 的己烷溶液, 得到DFTPP质谱图, 对质谱图进行离子丰度评价。评价结果见图1, DFTPP各离子丰度比均符合HJ 834-2017标准要求。

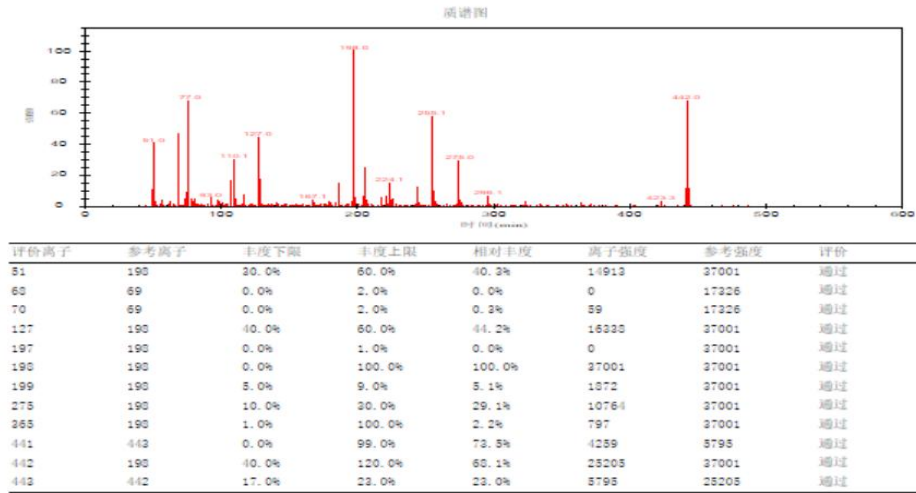


图1 DFTPP性能评价结果

2.2 标准谱图和物质信息

实验总离子流图见图2，目标化合物的出峰顺序、保留时间以及特征离子信息见表2。

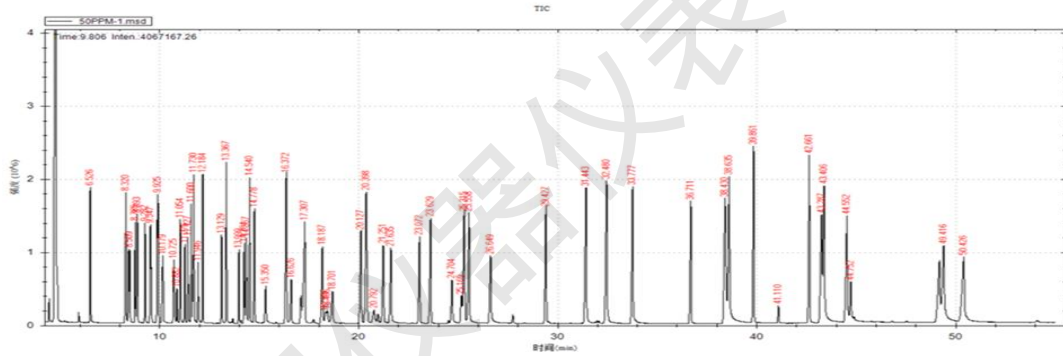


图2 HJ834-2017土壤加标实验总离子流图 (50 μ g/mL)

表2. 半挥发性有机物、替代物和内标的保留时间和特征离子信息表

序号	名称	CAS	RT, min	定量离子	定性离子
				m/z	m/z
1	N-亚硝基二甲胺	621-64-7	4.438	42.1	74.1、43.0
2	双(2-氯乙基)醚	111-44-4	8.478	93.0	63.0、95.1
3	1,3-二氯苯	541-73-1	8.804	146.0	111.0、75.1
4	1,4-二氯苯-D4 (内标1)	3855-82-1	8.881	150.0	151.9、115.0
5	1, 4-二氯苯	106-46-7	8.915	146.0	148.0、111.0
6	1, 2-二氯苯	95-50-1	9.303	146.0	148.0、111.0
7	二(2-氯异丙基)醚	108-60-1	9.602	121.0	45.0、41.0

8	N-亚硝基二正丙胺	621-64-7	9.931	43.1	70.1、130.2
9	六氯乙烷	118-74-1	9.943	116.9	200.8、119.0
10	硝基苯-d5 (替代物)	4165-60-0	10.138	82.1	54.1、128.1
11	硝基苯	98-95-3	10.184	77.0	123.0、51.0
12	异佛尔酮	78-59-1	10.727	82.0	138.1、54.0
13	二(2-氯乙氧基)甲烷	111-91-1	11.284	93.0	63.0、123.0
14	1, 2, 4-三氯苯	120-82-1	11.611	147.0	74.0、109.0
15	萘-d8 (内标2)	1146-65-2	11.689	136.1	108.1
16	萘	92-20-3	11.737	128.1	129.1
17	4-氯苯胺	106-47-8	11.950	127.0	65.0、129.1
18	六氯丁二烯	87-68-3	12.189	118.0	222.9、259.8
19	2-甲基萘	91-57-6	13.376	142.1	141.1、115.1
20	六氯环戊二烯	77-47-4	14.009	236.9	238.9、234.9
21	2-氟联苯 (替代物)	321-60-8	14.538	172.0	171.0、170.0
22	2-氯萘	91-58-7	14.786	162.1	127.1
23	2-硝基苯胺	88-74-4	15.365	138.2	65.0、92.1
24	邻苯二甲酸二甲酯	131-11-3	16.389	163.1	77.1
25	蒎烯	208-96-8	16.391	152.1	76.0
26	2, 6-二硝基甲苯	606-20-2	16.643	165.1	63.0、89.1
27	蒎-d10 (内标3)	15067-26-2	17.133	164.0	162.1、160.1
28	3-硝基苯胺	99-09-2	17.241	65.0	92.0、138.1
29	蒎	83-32-9	17.322	153.1	76.1、44.1
30	2,4-二硝基苯酚	51-28-5	17.747	184.1	154.1、63.1
31	二苯并呋喃	132-64-9	18.203	168.1	139.1
32	2, 4-二硝基甲苯	121-14-2	18.715	165.0	89.1、63.0
33	芴	86-73-7	20.149	166.1	165.1、82.5
34	4-氯苯基苯基醚	7005-72-3	20.404	204.1	141.1、77.1
35	邻苯二甲酸二乙酯	84-66-2	20.429	149.0	177.0、176.0
36	4-硝基苯胺	100-06-1	20.784	65.1	138.1、108.0

37	4,6-二硝基-2-甲基苯酚	534-52-1	20.977	198.0	105.0、51.1
38	偶氮苯	103-33-3	21.268	77.0	182.1、105
39	4-溴二苯基醚	101-55-3	23.090	250.0	141.1、77.1
40	六氯苯	118-74-1	23.645	283.8	285.8、248.0、 281.9
41	菲-d10 (内标4)	1517-22-2	25.192	188.2	80.1
42	菲	85-01-8	25.356	178.1	176.1、179.1
43	蒽	120-12-7	25.587	178.1	176.1、179.1
44	咔唑	86-74-8	26.671	167.1	166.1、139.1
45	邻苯二甲酸二正丁酯	84-74-2	29.445	149.1	150.1、76.1
46	荧蒽	206-44-0	31.466	202.1	200.1、203.1
47	芘	129-00-0	32.496	202.1	200.1、201.1
48	4, 4'-三联苯—d14 (替 代物)	1718-51-0	33.759	244.2	245.2、243.2
49	邻苯二甲酸丁基苄基酯	85-68-7	36.729	149.0	91.0、206.1
50	苯丙 (a) 蒽	56-55-3	38.450	228.1	226.1、229.1
51	蒽-d12 (内标5)	1719-03-5	38.514	240.2	236.2、241.2
52	蒽	218-09-1	38.660	228.1	226.1、229.1
53	邻苯二甲酸二(2-二乙基 己基)酯	117-81-7	39.886	149.0	167.0、57.1
54	邻苯二甲酸二正辛酯	117-84-0	42.667	149.1	279.3
55	苯丙 (a) 芘	50-32-8	43.313	252.1	250.1、126.1
56	苯并 (b) 荧蒽	205-99-2	43.437	252.1	250.2、126.1
57	苯并 (k) 荧蒽	207-08-9	44.577	252.1	250.1、253.2
58	芘-d12 (内标6)	1520-96-3	44.778	264.2	260.2、263.2
59	茚并 (1, 2, 3-cd) 芘	193-39-5	49.241	276.2	274.1、138.1
60	二苯并 (ah) 蒽	53-70-3	49.449	278.2	276.2、279.3
61	苯并 (ghi) 芘	191-24-2	50.467	276.2	274.2、138.0

2.3 标准曲线

二氯甲烷丙酮混合溶液（二氯甲烷:丙酮=1:1）作为溶剂，分别配制目标物和替代物浓度为 1 μ g/mL、5 μ g/mL、10 μ g/mL、20 μ g/mL、50 μ g/mL，内标浓度为 10 μ g/mL 的混合标准曲线溶液进行分析。55 种半挥发性有机物的线性相关系数 r 均大于 0.99，满足标准的要求。

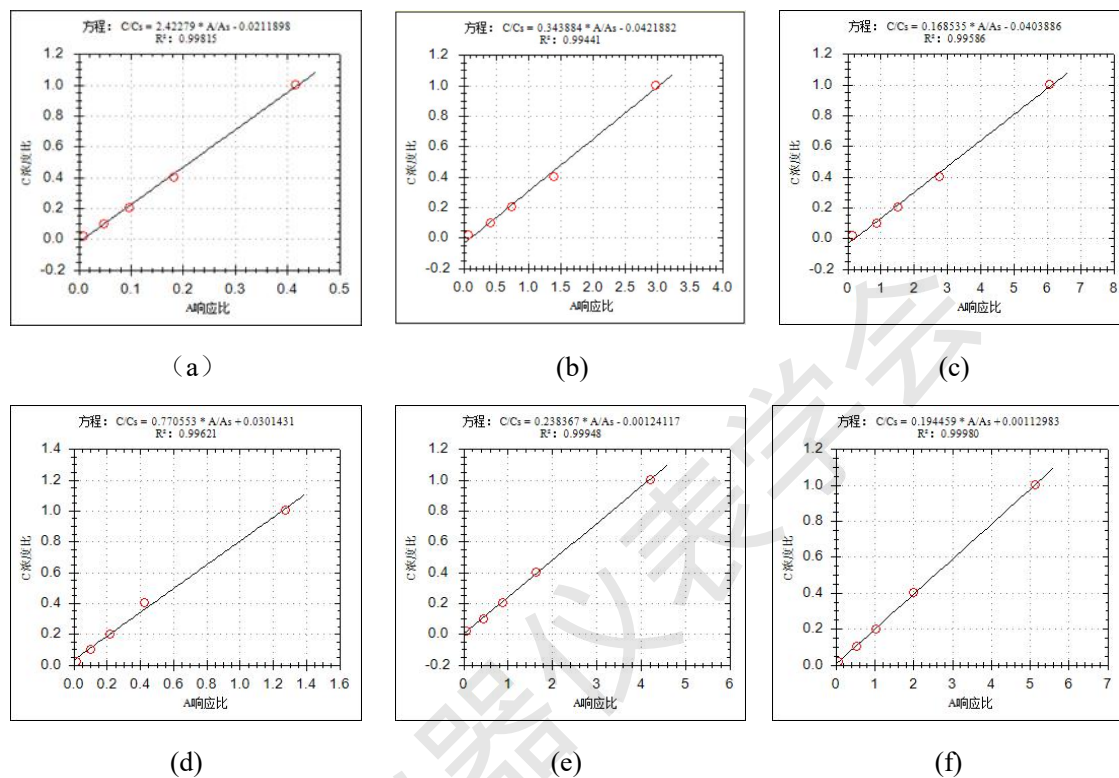


图3 六种代表性物质标准曲线图：

(a) N-亚硝基二甲胺, (b)1,3-二氯苯; (c)异佛尔酮; (d)4-氯苯胺; (e) 苯丙 (a) 苈; (f)邻苯二甲酸二甲酯;

表3.55种目标物标准曲线线性相关系数

序号	化合物	线性相关系数 r	序号	化合物	线性相关系数 r	序号	化合物	线性相关系数 r
1	N-亚硝基二甲胺	0.99815	21	2-硝基苯胺	0.99493	41	邻苯二甲酸二正丁酯	0.99845
2	双(2-氯乙基)醚	0.99288	22	邻苯二甲酸二甲酯	0.99980	42	荧蒽	0.99780
3	1,3-二氯苯	0.99441	23	萘烯	0.99974	43	苈	0.99907
4	1, 4-二氯	0.99754	24	2, 6-二硝	0.99839	44	4, 4'-三联苯	0.99844

	苯			基甲苯			—d14 (替代物)	
5	1, 2-二氯苯	0.99412	25	3-硝基苯胺	0.99751	45	邻苯二甲酸丁基苄基酯	0.99839
6	二(2-氯异丙基)醚	0.99485	26	萘	0.99988	46	苯丙(a)蒽	0.99963
7	N-亚硝基二正丙胺	0.99825	27	2,4-二硝基苯酚	0.99422	47	蒎	0.99958
8	六氯乙烷	0.99756	28	二苯并呋喃	0.99956	48	邻苯二甲酸二(2-二乙基己基)酯	0.99721
9	硝基苯-d5 (替代物)	0.99428	29	2, 4-二硝基甲苯	0.99013	49	邻苯二甲酸二正辛酯	0.99978
10	硝基苯	0.99603	30	苈	0.99947	50	苯丙(a)蒽	0.99948
11	异佛尔酮	0.99586	31	4-氯苯基苯基醚	0.99978	51	苯并(b)荧蒽	0.99948
12	二(2-氯乙氧基)甲烷	0.99887	32	邻苯二甲酸二乙酯	0.99971	52	苯并(k)荧蒽	0.99887
13	1, 2, 4-三氯苯	0.99777	33	4-硝基苯胺	0.99415	53	茚并(1, 2, 3-cd)蒽	0.99798
14	萘	0.99969	34	4,6-二硝基-2-甲基苯酚	0.99578	54	二苯并(ah)蒽	0.99828
15	4-氯苯胺	0.99621	35	偶氮苯	0.99900	55	苯并(ghi)花	0.99637
16	六氯丁二烯	0.99923	36	4-溴二苯基醚	0.99869			

17	2-甲基萘	0.99943	37	六氯苯	0.99830
18	六氯环戊二烯	0.99660	38	菲	0.99716
19	2-氟联苯 (替代物)	0.99982	39	蒽	0.99774
20	2-氯萘	0.99971	40	咔唑	0.99676

2.4 实际土壤加标回收实验

(1) 精密度

分别对实际土壤进行加标浓度为 1 $\mu\text{g/mL}$ 、10 $\mu\text{g/mL}$ 和 50 $\mu\text{g/mL}$ 各六次平行实验，对精密度进行评估，具体信息详见下表 4。浓度为 1 $\mu\text{g/mL}$ 的目标物（包括替代物）的相对标准偏差（RSD）在 2.35%-24.21% 范围内，浓度为 10 $\mu\text{g/mL}$ 和 50 $\mu\text{g/mL}$ 时，RSD 分别在 3.05%-13.42% 和 2.00%-11.01% 范围内，实验结果均优于标准实验室间平均精密度 RSD 水平 4.70%-44.00%。

表4. 55种目标物实际土壤加标精密度

序号	化合物	加标浓度 ($\mu\text{g/mL}$)			序号	化合物	加标浓度 ($\mu\text{g/mL}$)		
		1	10	50			1	10	50
1	N-亚硝基二甲胺	18.71%	5.25%	6.62%	29	2, 4-二硝基甲苯	3.74%	8.03%	8.20%
2	双(2-氯乙基)醚	2.35%	5.60%	4.98%	30	芬	5.82%	6.08%	6.50%
3	1,3-二氯苯	8.49%	5.24%	4.19%	31	4-氯苯基苯基醚	7.48%	8.72%	7.24%
4	1, 4-二氯苯	5.42%	3.85%	7.00%	32	邻苯二甲酸二乙酯	2.73%	5.31%	7.72%
5	1, 2-二氯苯	10.16%	5.21%	6.50%	33	4-硝基苯胺	9.17%	13.42%	11.01%
6	二(2-氯异丙基)醚	7.02%	5.18%	5.96%	34	4,6-二硝基-2-甲基苯	11.28%	4.86%	10.04%

酚									
7	N-亚硝基 二正丙胺	4.95%	4.27%	5.04%	35	偶氮苯	8.23%	5.97%	8.2%
8	六氯乙烷	5.14%	3.76%	6.87%	36	4-溴二苯 基醚	5.1%	7.00%	5.61%
9	硝基苯-d5 (替代物)	9.88%	7.04%	4.58%	37	六氯苯	6.18%	4.62%	4.31%
10	硝基苯	3.96%	5.12%	4.53%	38	菲	6.23%	6.07%	4.63%
11	异佛尔酮	14.95%	7.46%	5.03%	39	蒽	3.41%	4.85%	4.88%
12	二(2-氯乙 氧基)甲烷	10.01%	6.84%	3.74%	40	咪唑	8.53%	6.04%	5.38%
13	1, 2, 4-三 氯苯	3.35%	6.24%	4.92%	41	邻苯二甲 酸二正丁 酯	7.87%	4.61%	2.00%
14	萘	10.56%	6.87%	5.29%	42	荧蒽	9.02%	5.18%	5.02%
15	4-氯苯胺	4.74%	11.45%	5.89%	43	芘	8.76%	6.29%	6.16%
16	六氯丁二 烯	1.87%	7.44%	4.18%	44	4, 4'-三联 苯-d14 (替代物)	9.43%	6.79%	6.19%
17	2-甲基萘	6.06%	6.75%	5.82%	45	邻苯二甲 酸丁基苄 基酯	10.13 %	8.07%	6.15%
18	六氯环戊 二烯	4.99%	3.05%	4.15%	46	苯丙(a) 蒽	8.84%	8.50%	6.20%
19	2-氟联苯 (替代物)	8.61%	6.66%	5.93%	47	蒎 烯	5.13%	12.34 %	5.82%
20	2-氯萘	3.48%	3.64%	7.07%	48	邻苯二甲 酸二(2- 二乙基己	10.72 %	7.26%	8.19%

						基)酯			
						邻苯二甲			
21	2-硝基苯胺	24.21%	7.28%	9.28%	49	酸二正辛酯	10.2%	4.3%	6.65%
22	邻苯二甲酸二甲酯	10.45%	6.91%	7.18%	50	苯丙(a)芘	7.13%	7.60%	5.90%
23	萘烯	6.90%	5.85%	7.15%	51	苯并(b)芘	6.28%	7.42%	7.63%
24	2,6-二硝基甲苯	8.36%	11.19%	7.85%	52	苯并(k)芘	3.83%	5.58%	5.40%
25	3-硝基苯胺	15.44%	7.21%	5.70%	53	茚并(1,2,3-cd)芘	10.95%	6.80%	4.05%
26	萘	8.78%	8.24%	6.57%	54	二苯并(ah)蒽	3.72%	5.44%	6.34%
27	2,4-二硝基苯酚	16.35%	6.26%	4.51%	55	苯并(ghi)芘	6.27%	5.12%	5.82%
28	二苯并呋喃	5.10%	5.67%	6.90%					

(2) 准确度

分析 20g 土壤样品加标 (浓度分别为 0.05mg/kg、0.5mg/kg、2.5mg/kg)，对方法回收率进行评估，具体信息详见下表 5。加标浓度为 1 μ g/mL、10 μ g/mL 和 50 μ g/mL 土壤基质的回收率分别为 48.2%-119.0%、51.1%-118.0%、51.6%-117.0%，均符合标准实验室间平均加标水平 47.00%-119.00%。

表5. 55种目标物实际土壤加标回收率

序号	化合物	加标浓度 (μ g/mL)			序号	化合物	加标浓度 (μ g/mL)		
		1	10	50			1	10	50
1	N-亚硝基二甲胺	114.0%	87.2%	95.8%	29	2,4-二硝基甲苯	52.7%	52.0%	84.2%
2	双(2-氯乙	104.0%	117.0%	90.0%	30	芴	85.0%	83.7%	88.2%

	基) 醚								
3	1,3-二氯苯	106.0%	102.0%	99.8%	31	4-氯苯基 苯基醚	91.9%	85.5%	88.8%
4	1, 4-二氯 苯	100.0%	105.0%	85.0%	32	邻苯二甲 酸二乙酯	90.3%	90.3%	93.4%
5	1, 2-二氯 苯	118.0%	109.0%	84.4%	33	4-硝基苯 胺	53.1%	69.4%	92.2%
6	二(2-氯异 丙基) 醚	79.1%	117.0%	109.8 %	34	4,6-二硝基 -2-甲基苯 酚	51.1%	53.1%	71.4%
7	N-亚硝基 二正丙胺	64.7%	99.1%	90.0%	35	偶氮苯	83.8%	85.1%	93.6%
8	六氯乙烷	110.0%	102.0%	83.4%	36	4-溴二苯 基醚	92.7%	97.0%	100.2 %
9	硝基苯-d5 (替代物)	102.0%	106.0%	85.1%	37	六氯苯	93.7%	100.0 %	99.4%
10	硝基苯	90.2%	102.0%	85.2%	38	菲	92.1%	92.0%	92.0%
11	异佛尔酮	128.0%	94.0%	69.0%	39	蒽	94.8%	94.4%	98.4%
12	二(2-氯乙 氧基)甲烷	98.2%	88.1%	89.6%	40	咪唑	80.5%	94.0%	96.0%
13	1, 2, 4- 三氯苯	82.4%	82.0%	81.4%	41	邻苯二甲 酸二正丁 酯	108.0 %	98.3%	99.8%
14	萘	90.9%	85.7%	84.2%	42	荧蒽	93.3%	94.9%	96.6%
15	4-氯苯胺	51.4%	51.1%	53.8%	43	芘	88.3%	81.2%	82.2%
16	六氯丁二 烯	89.6%	83.7%	83.0%	44	4, 4'-三联 苯—d14 (替代物)	119.0 %	118.0 %	117.0 %
17	2-甲基萘	85.7%	82.6%	84.8%	45	邻苯二甲	90.5%	89.6%	89.6%

						酸丁基苄 基酯			
18	六氯环戊 二烯	52.7%	51.4%	51.6%	46	苯丙 (a) 蒽	84.3%	85.8%	90.6%
19	2-氟联苯 (替代物)	82%	79.9%	81.1%	47	蒾	94.9%	86.4%	93.0%
						邻苯二甲 酸二 (2- 二乙基己 基) 酯	100.1 %	96.5%	100.0 %
20	2-氯萘	93.2%	83.2%	84.8%	48	邻苯二甲 酸二正辛 酯	85.7%	86.2%	85.6%
21	2-硝基苯 胺	48.2%	65.7%	85.0%	49	苯丙 (a) 蒾	78.8%	83.2%	92.0%
22	邻苯二甲 酸二甲酯	94.4%	89.7%	89.8%	50	苯并 (b) 荧蒽	87.5%	86.7%	88.0%
23	蒾烯	93.5%	89.6%	91.0%	51	苯并 (k) 荧蒽	85.2%	79.3%	86.4%
24	2, 6-二硝 基甲苯	54.7%	64.9%	85.2%	52	茚并 (1, 2, 3-cd) 蒾	79.6%	82.6%	94.0%
25	3-硝基苯 胺	50.1%	64.6%	84.2%	53	二苯并 (ah) 蒽	83.9%	82.2%	90.8%
26	蒾	95.2%	91.1%	92.0%	54	苯并 (ghi) 蒾	77.8%	71.8%	86.2%
27	2,4-二硝基 苯酚	50.3%	54.5%	53.2%	55				
28	二苯并呋 喃	89.7%	82.1%	88.0%					

(3) 检出限

方法 HJ 834 建议对 20.00 g 土壤进行提取，并浓缩到 1mL 丙酮-二氯甲烷混合溶液中。

计算的仪器检出限（1 μ g/mL）可转换为方法检出限（0.05mg/kg，20 g 样品）。从下表 6 可知，方法检出限范围 0.003mg/kg-0.037mg/kg，全部物质检出限均优于 HJ 834-2017 标准要求的 0.006mg/kg-0.200mg/kg。

表 6.55 种目标物方法检出限信息表

序号	化合物	方法检出限 (mg/kg)	序号	化合物	方法检出限 (mg/kg)	序号	化合物	方法检出限 (mg/kg)
1	N-亚硝基二甲胺	0.035	21	2-硝基苯胺	0.019	41	邻苯二甲酸二正丁酯	0.013
2	双(2-氯乙基)醚	0.004	22	邻苯二甲酸二甲酯	0.016	42	茚萘	0.014
3	1,3-二氯苯	0.015	23	茚烯	0.011	43	茚	0.013
4	1,4-二氯苯	0.009	24	2,6-二硝基甲苯	0.008	44	4,4'-三联苯-d14 (替代物)	0.195
5	1,2-二氯苯	0.020	25	3-硝基苯胺	0.010	45	邻苯二甲酸丁基苄基酯	0.015
6	二(2-氯异丙基)醚	0.009	26	茚	0.014	46	苯丙(a)萘	0.012
7	N-亚硝基二正丙胺	0.005	27	2,4-二硝基苯酚	0.011	47	茚	0.008
8	六氯乙烷	0.010	28	二苯并呋喃	0.008	48	邻苯二甲酸二(2-二乙基己基)酯	0.018
9	硝基苯-d5 (替代)	0.167	29	2,4-二硝基甲	0.003	49	邻苯二甲酸二正辛酯	0.014

	物)			苯			
10	硝基苯	0.006	30	芴	0.008	50	苯丙(a)芘 0.009
				4-氯苯			
11	异佛尔酮	0.037	31	基苯基	0.011	51	苯并(b)芘 0.009
				醚			
	二(2-氯			邻苯二			
12	乙氧基)	0.016	32	甲酸二	0.004	52	苯并(k)芘 0.005
	甲烷			乙酯			
13	1, 2, 4-三氯苯	0.005	33	4-硝基苯胺	0.007	53	茚并(1, 2, 3-cd)芘 0.014
				4,6-二硝基-2-甲基苯酚			
14	萘	0.016	34	偶氮苯	0.010	54	二苯并(ah)芘 0.005
				4-溴二苯基醚			
15	4-氯苯胺	0.003	35	偶氮苯	0.011	55	苯并(ghi)芘 0.008
				4-溴二苯基醚			
16	六氯丁二烯	0.003	36	六氯苯	0.010		
17	2-甲基萘	0.009	37	菲	0.010		
18	六氯环戊二烯	0.003	38	菲	0.010		
	2-氟联苯						
19	(替代物)	0.117	39	蒽	0.005		
20	2-氯萘	0.005	40	咪唑	0.011		

3 结论

本文依据标准 HJ 834-2017, 采用禾信 GC-MS 1000 分析了实际土壤中半挥发性有机物。实验结果: 55 种半挥发性有机物的线性相关系数 r 均大于 0.99, 符合标准要求; 低浓度加

标精密度 RSD 在 2.35%-24.21%范围，优于标准实验室间平均精密度 RSD（4.7%-44.0%）；土壤基质低浓度加标回收率在 48.2%-119%范围，符合标准实验室间平均土壤加标回收率水平（47.0%-119.0%）。目标物方法检出限在 0.003mg/kg-0.037mg/kg 范围内，显著优于 HJ 834-2017 标准要求的 0.006mg/kg-0.200mg/kg。上述结果表明禾信 GC-MS 1000 具有优异的重现性和检测灵敏度，完全满足 HJ834-2017 标准要求。

中国仪器仪表学会