

GCMS 结合 Tekmar 吹扫捕集测定土壤中 60 种挥发性有机物

GCMS-329

摘要：挥发性有机物 (VOCs) 具有渗透、脂溶及挥发性等特性，对人体健康有很大的影响。土壤作为 VOCs 的源和汇，检测土壤中 VOCs 具有重要的意义。本研究采用岛津 GCMS-QP2020 NX 结合 Tekmar 固液一体吹扫捕集 Atomx XYZ 分析土壤中 60 种挥发性有机物的含量，在 5.0~200 $\mu\text{g/L}$ 浓度范围内标准曲线线性良好，相关系数均在 0.995 以上，除氯乙烷和丙酮外，其余组分 RRF RSD<20%。取浓度 5.0 $\mu\text{g/L}$ 加入土壤空白样品中，连续 7 针定量结果 RSD% 在 2.23~10.7%。表明方法的精密度良好。加标浓度为 6.0 $\mu\text{g/L}$ 时，各组分的回收率在 70.4-132% 之间。该方法操作简单，定量数据准确可靠，可用于土壤中多组分挥发性有机物的检测。

关键词：气相色谱质谱联用仪 Tekmar 吹扫捕集 VOCs

挥发性有机物 (Volatile Organic Compounds, 简称 VOCs) 指熔点低于室温而沸点在 50-260°C 之间、相对分子质量范围在 16~250 的一类有机化合物，其主要成分为烃类、卤代烃、醚类、醛酮类、低沸点的多环芳烃类等有机物。VOCs 是具有渗透、脂溶及挥发性等特性，故极易通过皮肤接触、呼吸等暴露途径而对人体造成危害。

土壤是污染物的源和汇，对 VOCs 有较强的吸附能力，近年来，土壤污染防治是环境整治的重点课题，2016 年国务院出台了“土十条”，就涉及到了土壤中挥发性有机物的检测。而吹扫捕集作为 VOC 常用的前处理方式，具有富集效率高，受基体干扰小，容易在线检测等优点。本研究使用 GCMS 结合吹扫捕集，建立了土壤中 60 种挥发性有机物的测定方法。

实验部分

1.1 仪器

岛津气质谱联用仪 GCMS-QP2020 NX
Tekmar 固液一体吹扫捕集 Atomx XYZ

1.2 分析条件

吹扫捕集条件：

吹扫气：高纯氦气

吹扫温度：40°C

吹扫流速：40 mL/min

吹扫时间：11 min

脱附温度：270°C

脱附时间：2 min

烘烤温度：280°C

烘烤时间：3 min

GCMS 条件：

色谱柱：SH-Rtx-624 (30 m×0.25 mm×1.4 μm)

柱温程序：38°C (1.8 min) _10°C /min_120°C _15°C /min_240°C (2 min)

进样口温度：200°C

载气控制方式：恒线速度

线速度：44.1 cm/s

进样方式：分流进样

分流比：30:1

离子化方式：EI

离子源温度：200°C

接口温度：280°C

检测器电压：调谐电压 +0.1 kV

采集模式：Scan (35-270 amu)

■ 样品前处理

取 5.0 g 样品至 40 mL 棕色样品瓶中, 加入 10 mL 水和一定体积的内标、替代标溶液, 放置于自动进样器中。

■ 结果与讨论

3.1 标准溶液色谱图

60 种挥发性有机物、3 种替代物和 3 种内标的混标溶液总离子流图如图 1 所示, 各物质组分信息详见表 1。

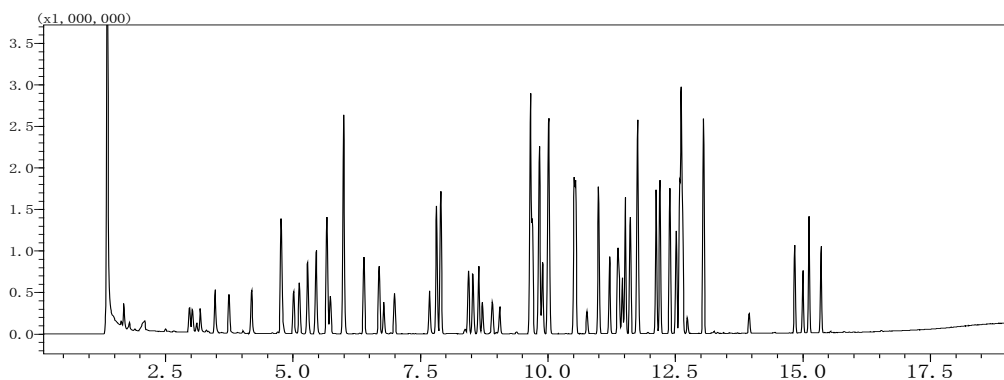


图 1. 挥发性有机物 TIC 图 (20 $\mu\text{g/L}$)

表 1. 各 VOCs 组分和内标组分信息

No.	中文名称	保留时间 (min)	定量离子 (m/z)	定性离子 (m/z)
1	氯甲烷	1.676	50	52
2	氯乙烯	1.785	62	64, 61
3	1,1- 二氯乙烯	2.961	61	96, 98
4	丙酮	3.021	43	58, 42
5	碘甲烷	3.108	142	127, 141
6	二硫化碳	3.172	76	78, 44
7	二氯甲烷	3.463	49	84, 86
8	反式 -1,2- 二氯乙烯	3.735	61	96, 98
9	1,1- 二氯乙烷	4.180	63	65, 83
10	2- 丁酮	4.760	43	72
11	顺式 -1,2- 二氯乙烯	4.761	96	61, 98
12	2,2- 二氯丙烷	4.764	77	97
13	溴氯甲烷	5.005	49	128, 130
14	氯仿	5.119	83	47, 85
15	二溴氟甲烷 (替代物)	5.285	113	111
16	1,1,1- 三氯乙烷	5.283	97	61, 99
17	四氯化碳	5.446	117	117, 199
18	1,1- 二氯丙烯	5.450	75	77, 100
19	苯	5.659	78	52, 77
20	1,2- 二氯乙烷	5.726	62	49, 64

21	氟苯 (内标)	5.988	96	50, 70
22	三氯乙烯	6.389	130	95, 132
23	1,2- 二氯丙烷	6.682	63	41, 62
24	二溴甲烷	6.781	174	93, 95
25	一溴二氯甲烷	6.986	83	47, 85
26	4- 甲基 -2- 戊酮	7.671	43	57, 58
27	甲苯 -D8 (替代物)	7.808	98	70, 100
28	甲苯	7.891	91	65, 92
29	1,1,2- 三氯乙烷	8.435	97	83, 99
30	四氯乙烯	8.525	166	129, 164
31	1,3- 二氯丙烷	8.635	76	41, 78
32	2- 己酮	8.706	43	57, 58
33	二溴氯甲烷	8.906	129	127, 131
34	1,2- 二溴乙烷	9.050	107	109, 188
35	氯苯 -d5 (内标)	9.650	117	82, 119
36	氯苯	9.688	112	77, 104
37	1,1,1,2- 四氯乙烷	9.819	131	119, 133
38	乙苯	9.828	91	106
39	1,1,2- 三氯丙烷	9.885	63	62, 65
40	间, 对 - 二甲苯	10.007	91	105, 106
41	邻二甲苯	10.506	91	105, 106
42	苯乙烯	10.537	104	78, 103
43	溴仿	10.762	173	171, 175
44	异丙苯	10.986	105	79, 120
45	4- 溴氟苯 (替代物)	11.204	95	174, 176
46	溴苯	11.362	77	156, 158
47	1,1,2,2- 四氯乙烷	11.390	83	85
48	1,2,3- 三氯丙烷	11.450	75	77, 110
49	正丙苯	11.511	91	92, 120
50	2- 氯甲苯	11.606	91	89, 126
51	1,3,5- 三甲基苯	11.745	105	120
52	4- 氯甲苯	11.760	91	126
53	叔丁基苯	12.116	119	91, 134
54	1,2,4- 三甲基苯	12.190	105	119, 120
55	仲丁基苯	12.384	105	91, 134
56	1,3- 二氯苯	12.511	146	111, 148
57	4- 异丙基甲苯	12.576	119	91, 134
58	1,4- 二氯苯 -D4 (内标)	12.609	150	115, 152

59	1,4- 二氯苯	12.637	146	111, 148
60	1,2- 二氯苯	13.041	146	111, 148
61	正丁基苯	13.048	91	92, 134
62	1,2- 二溴 -3- 氯丙烷	13.942	157	75, 155
63	1,2,4- 三氯苯	14.838	180	182, 184
64	六氯丁二烯	15.001	225	223, 227
65	萘	15.115	128	127, 129
66	1,2,3- 三氯苯	15.354	180	182, 184

注：溴苯，氯苯 -d5 和 1,4- 二氯苯 -D4 是内标。二溴氟甲烷、甲苯 -D8、4- 溴氟苯是替代标。

3.3 标准曲线

分别配制浓度为 5、10、50、100、200 $\mu\text{g/L}$ 的 VOCs 标准溶液，内标浓度为 50 $\mu\text{g/L}$ ，以浓度比为横坐标，峰面积比为纵坐标建立标准曲线（图 2），表 2 给出了各 VOCs 的平均响应因子（RRF）的相对标准偏差（RSD）或标准曲线的相关系数。对于定量，若 RRF RSD% 小于 20%，则用平均 RRF 计算含量；若 RRF RSD% 大于 20%，则用过原点的最小二乘法校准曲线进行定量。

表 2. 各 VOC 组分标准曲线信息

No.	中文名称	RRF	RRF RSD%	r
1	氯甲烷		>20	0.9990
2	氯乙烯	9.31	12.6	
3	1,1- 二氯乙烯	0.23	5.35	
4	丙酮		>20	0.9990
5	碘甲烷	0.13	8.37	
6	二硫化碳	0.36	3.58	
7	二氯甲烷	0.29	7.83	
8	反式 -1,2- 二氯乙烯	0.24	5.35	
9	1,1- 二氯乙烷	0.51	3.39	
10	2- 丁酮	0.28	15.1	
11	顺式 -1,2- 二氯乙烯	0.35	1.91	
12	2,2- 二氯丙烷	0.31	3.75	
13	溴氯甲烷	0.25	3.35	
14	氯仿	0.47	5.75	
15	二溴氟甲烷	0.24	1.66	
16	1,1,1- 三氯乙烷	0.34	4.85	
17	四氯化碳	0.25	5.83	
18	1,1- 二氯丙烯	0.35	2.15	
19	苯	1.28	3.73	
20	1,2- 二氯乙烷	0.31	5.26	
21	氟苯	/	/	/
22	三氯乙烯	0.33	7.79	

23	1,2- 二氯丙烷	0.33	2.49
24	二溴甲烷	0.15	5.95
25	一溴二氯甲烷	0.33	4.55
26	4- 甲基 -2- 戊酮	0.43	4.75
27	甲苯 -D8	1.12	3.88
28	甲苯	1.32	4.55
29	1,1,2- 三氯乙烷	0.27	3.81
30	四氯乙烯	0.26	3.82
31	1,3- 二氯丙烷	0.51	3.71
32	2- 己酮	0.31	8.64
33	二溴氯甲烷	0.23	8.30
34	1,2- 二溴乙烷	0.26	5.45
35	氯苯 -d5	/	/
36	氯苯	1.12	0.67
37	1,1,1,2- 四氯乙烷	0.33	4.89
38	乙苯	1.72	3.73
39	1,1,2- 三氯丙烷	0.73	5.46
40	间, 对 - 二甲苯	1.40	5.85
41	邻二甲苯	1.48	2.74
42	苯乙烯	1.35	2.89
43	溴仿	0.18	13.5
44	异丙苯	1.77	5.49
45	4- 溴氟苯	0.57	2.50
46	溴苯	1.52	15.7
47	1,1,2,2- 四氯乙烷	0.47	9.92
48	1,2,3- 三氯丙烷	0.43	8.18
49	正丙苯	2.40	11.2
50	2- 氯甲苯	1.61	9.63
51	1,3,5- 三甲基苯	2.00	9.32
52	4- 氯甲苯	1.74	9.37
53	叔丁基苯	1.78	9.20
54	1,2,4- 三甲基苯	2.00	9.73
55	仲丁基苯	2.43	14.4
56	1,3- 二氯苯	0.95	8.35
57	4- 异丙基甲苯	1.97	11.7
58	1,4- 二氯苯 -D4	/	/
59	1,4- 二氯苯	0.96	7.87
60	1,2- 二氯苯	0.93	8.17

61	正丁基苯	1.60	10.4
62	1,2-二溴-3-氯丙烷	0.13	13.7
63	1,2,4-三氯苯	0.65	6.41
64	六氯丁二烯	0.34	10.2
65	萘	2.11	10.5
66	1,2,3-三氯苯	0.64	6.50

注：间,对-二甲苯共流出，两组分结果合并计算。

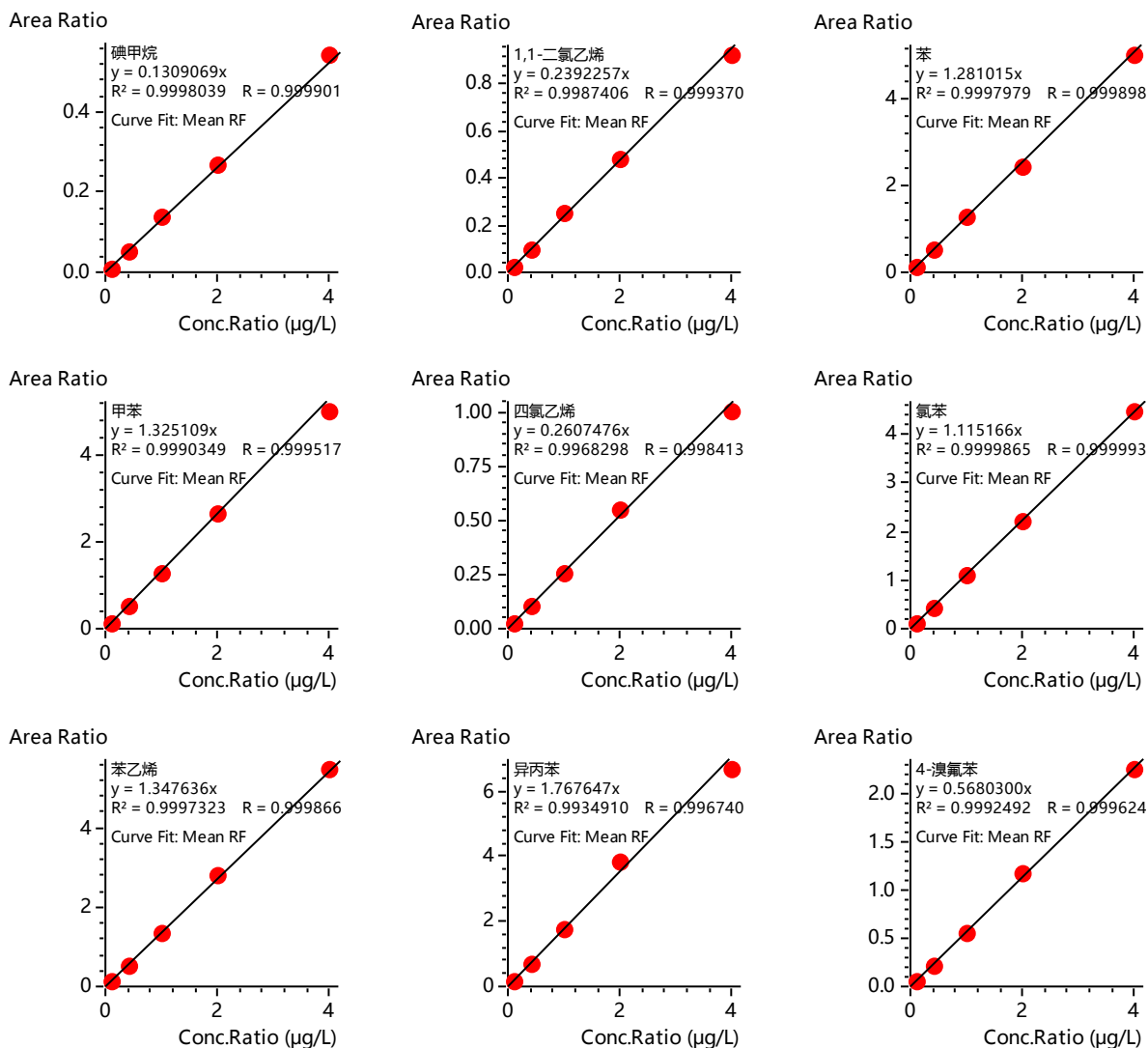


图 2. 部分组分线性结果

3.4 重复性和检出限

按照《HJ168-2010 环境监测 分析方法标准制修订技术导则》检出限的计算方法，对添加浓度为 5 µg/L 的土壤样品重复进行 7 次分析，其方法检出限结果见表 3 所示。

表 3. 各 VOC 组分重现性 (n=7) 和检出限

No.	组分名称	RSD (%)	检出限 (µg/kg)	No.	组分名称	RSD (%)	检出限 (µg/kg)
1	氯甲烷	6.96	0.74	34	1,2- 二溴乙烷	7.61	0.98
2	氯乙烯	5.85	0.65	35	氯苯 -d5	/	/
3	1,1- 二氯乙烯	5.36	0.47	36	氯苯	6.01	1.14
4	丙酮	8.92	1.45	37	1,1,1,2- 四氯乙烷	7.44	1.03
5	碘甲烷	10.7	0.92	38	乙苯	4.65	0.91
6	二硫化碳	2.23	0.42	39	1,1,2- 三氯丙烷	6.80	1.05
7	二氯甲烷	4.64	0.39	40	间, 对 - 二甲苯	4.49	0.91
8	反式 -1,2- 二氯乙烯	6.61	0.75	41	邻二甲苯	4.21	0.74
9	1,1- 二氯乙烷	4.83	0.76	42	苯乙烯	4.20	0.61
10	2- 丁酮	7.48	1.21	43	溴仿	5.16	0.68
11	顺式 -1,2- 二氯乙烯	4.62	0.63	44	异丙苯	5.20	0.93
12	2,2- 二氯丙烷	6.27	1.27	45	4- 溴氟苯	3.08	0.47
13	溴氯甲烷	6.39	0.80	46	溴苯	4.35	0.67
14	氯仿	4.58	0.74	47	1,1,2,2- 四氯乙烷	4.25	0.59
15	二溴氟甲烷	2.64	0.42	48	1,2,3- 三氯丙烷	6.01	0.89
16	1,1,1- 三氯乙烷	5.21	0.95	49	正丙苯	3.33	0.73
17	四氯化碳	4.61	0.99	50	2- 氯甲苯	3.47	0.66
18	1,1- 二氯丙烯	5.35	0.92	51	1,3,5- 三甲基苯	5.79	1.08
19	苯	4.49	0.69	52	4- 氯甲苯	3.37	0.66
20	1,2- 二氯乙烷	5.61	0.91	53	叔丁基苯	5.58	1.15
21	氟苯	/	/	54	1,2,4- 三甲基苯	6.60	1.20
22	三氯乙烯	5.02	0.86	55	仲丁基苯	6.36	1.14
23	1,2- 二氯丙烷	5.61	0.83	56	1,3- 二氯苯	3.44	0.64
24	二溴甲烷	4.95	0.61	57	4- 异丙基甲苯	5.55	1.16
25	一溴二氯甲烷	6.13	0.92	58	1,4- 二氯苯 -D4	/	/
26	4- 甲基 -2- 戊酮	7.32	0.97	59	1,4- 二氯苯	3.02	0.59
27	甲苯 -D8	3.20	0.45	60	1,2- 二氯苯	3.16	0.55
28	甲苯	3.59	0.58	61	正丁基苯	4.84	1.06
29	1,1,2- 三氯乙烷	7.30	0.95	62	1,2- 二溴 -3- 氯丙烷	4.93	0.91
30	四氯乙烯	3.70	0.71	63	1,2,4- 三氯苯	6.11	1.01
31	1,3- 二氯丙烷	7.53	1.03	64	六氯丁二烯	5.82	1.44
32	2- 己酮	5.55	0.78	65	萘	6.28	0.93
33	二溴氯甲烷	6.80	0.95	66	1,2,3- 三氯苯	5.51	0.91

注：间, 对 - 二甲苯共流出, 两组分结果合并计算。

3.5 回收率实验

土壤样品中添加 VOCs 混标，添加浓度为 6.0 $\mu\text{g/L}$ ，平行处理 3 份，各 VOCs 加标平均回收率及 RSD% 结果见表 4。

表 4. 各 VOC 组分样品加标回收率 (n=3)

No.	中文名称	加标 1	加标 2	加标 3	RSD (%)	平均回收率 (%)
1	氯甲烷	106.8	109.0	114.8	3.75	110.2
2	氯乙烯	91.4	93.7	95.7	2.30	93.6
3	1,1- 二氯乙烯	73.2	76.5	85.3	8.04	78.3
4	丙酮	118.3	112.6	104.6	6.17	111.8
5	碘甲烷	96.8	99.4	99.0	1.39	98.4
6	二硫化碳	108.8	106.8	113.4	3.09	109.7
7	二氯甲烷	97.3	100.7	103.9	3.25	100.6
8	反式 -1,2- 二氯乙烯	97.3	100.7	103.9	3.25	100.6
9	1,1- 二氯乙烷	94.1	94.4	96.3	1.24	94.9
10	2- 丁酮	131.0	127.4	138.6	4.33	132.3
11	顺式 -1,2- 二氯乙烯	88.5	88.6	88.2	0.21	88.4
12	2,2- 二氯丙烷	88.4	91.9	91.7	2.22	90.7
13	溴氯甲烷	83.4	83.4	83.7	0.26	83.5
14	氯仿	90.0	91.0	93.6	2.02	91.6
15	二溴氟甲烷	83.0	83.8	84.8	1.05	83.9
16	1,1,1- 三氯乙烷	94.5	97.7	98.6	2.25	96.9
17	四氯化碳	92.9	95.0	94.0	1.10	94.0
18	1,1- 二氯丙烯	83.9	85.1	82.4	1.60	83.8
19	苯	85.1	84.6	84.1	0.60	84.6
20	1,2- 二氯乙烷	103.6	104.2	109.6	3.16	105.8
21	氟苯	/	/	/	/	/
22	三氯乙烯	90.4	86.1	87.4	2.48	88.0
23	1,2- 二氯丙烷	87.4	87.8	90.1	1.66	88.4
24	二溴甲烷	84.5	84.1	85.0	0.52	84.5
25	一溴二氯甲烷	85.2	86.3	88.7	2.12	86.7
26	4- 甲基 -2- 戊酮	89.6	85.9	93.4	4.21	89.6
27	甲苯 -D8	74.9	74.7	73.7	0.90	74.4
28	甲苯	85.6	84.9	85.3	0.42	85.3
29	1,1,2- 三氯乙烷	86.1	84.7	88.7	2.30	86.5
30	四氯乙烯	73.3	72.0	68.2	3.70	71.2
31	1,3- 二氯丙烷	85.1	83.9	88.1	2.51	85.7
32	2- 己酮	86.4	82.5	91.6	5.23	86.8
33	二溴氟甲烷	77.2	76.1	79.8	2.48	77.7

34	1,2- 二溴乙烷	81.4	81.6	83.5	1.39	82.1
35	氯苯 -d5	/	/	/	/	/
36	氯苯	85.7	85.5	83.9	1.19	85.0
37	1,1,1,2- 四氯乙烷	89.7	89.9	92.9	1.98	90.9
38	乙苯	83.5	82.7	82.9	0.53	83.0
39	1,1,2- 三氯丙烷	95.7	94.7	98.8	2.23	96.4
40	间, 对 - 二甲苯	86.2	84.8	84.4	1.14	85.1
41	邻二甲苯	86.2	84.7	84.3	1.15	85.1
42	苯乙烯	76.4	74.5	74.1	1.65	75.0
43	溴仿	82.8	81.6	82.8	0.86	82.4
44	异丙苯	72.4	70.6	68.3	2.89	70.4
45	4- 溴氟苯	79.1	77.0	77.8	1.41	78.0
46	溴苯	84.3	81.2	81.6	2.02	82.4
47	1,1,2,2- 四氯乙烷	94.4	94.0	98.0	2.30	95.5
48	1,2,3- 三氯丙烷	100.2	96.7	102.1	2.73	99.7
49	正丙苯	97.6	98.4	93.9	2.48	96.6
50	2- 氯甲苯	107.1	107.6	104.0	1.82	106.2
51	1,3,5- 三甲基苯	96.8	95.6	93.2	1.93	95.2
52	4- 氯甲苯	106.5	104.1	103.4	1.54	104.6
53	叔丁基苯	99.3	98.5	95.7	1.91	97.8
54	1,2,4- 三甲基苯	96.5	95.3	93.1	1.79	94.9
55	仲丁基苯	91.5	88.7	84.7	3.86	88.3
56	1,3- 二氯苯	103.8	101.9	98.3	2.73	101.3
57	4- 异丙基甲苯	88.9	85.1	83.9	3.06	86.0
58	1,4- 二氯苯 -D4	/	/	/	/	/
59	1,4- 二氯苯	104.6	101.2	99.6	2.50	101.8
60	1,2- 二氯苯	109.2	110.2	106.8	1.61	108.7
61	正丁基苯	84.4	79.4	77.6	4.38	80.5
62	1,2- 二溴 -3- 氯丙烷	127.8	118.9	125.8	3.75	124.2
63	1,2,4- 三氯苯	108.4	99.8	99.5	4.93	102.6
64	六氯丁二烯	82.4	72.6	73.3	7.19	76.1
65	萘	75.8	71.8	71.9	3.13	73.2
66	1,2,3- 三氯苯	117.5	111.5	107.7	4.40	112.2

3.6 样品测试

按照步骤 2 处理 2 个土壤样品，测试结果如表 5 所示，样品的色谱图见图 3。

表 5. 土壤样品中的 VOCs 含量

No.	组分名称	样品 1	样品 2	No.	组分名称	样品 1	样品 2
1	氯甲烷	N.D	N.D	34	1,2- 二溴乙烷	N.D	N.D
2	氯乙烯	N.D	N.D	35	氯苯 -d5	/	/
3	1,1- 二氯乙烯	N.D	N.D	36	氯苯	N.D	N.D
4	丙酮	7.35	8.77	37	1,1,1,2- 四氯乙烷	N.D	N.D
5	碘甲烷	0.18	0.12	38	乙苯	N.D	N.D
6	二硫化碳	0.32	0.20	39	1,1,2- 三氯丙烷	N.D	N.D
7	二氯甲烷	15.4	14.9	40	间, 对 - 二甲苯	N.D	N.D
8	反式 -1,2- 二氯乙烯	N.D	N.D	41	邻二甲苯	N.D	N.D
9	1,1- 二氯乙烷	N.D	N.D	42	苯乙烯	N.D	N.D
10	2- 丁酮	0.22	0.20	43	溴仿	N.D	N.D
11	顺式 -1,2- 二氯乙烯	N.D	N.D	44	异丙苯	N.D	N.D
12	2,2- 二氯丙烷	N.D	N.D	45	4- 溴氟苯	/	/
13	溴氯甲烷	N.D	N.D	46	溴苯	N.D	N.D
14	氯仿	N.D	N.D	47	1,1,2,2- 四氯乙烷	N.D	N.D
15	二溴氟甲烷	/	/	48	1,2,3- 三氯丙烷	N.D	N.D
16	1,1,1- 三氯乙烷	N.D	N.D	49	正丙苯	N.D	N.D
17	四氯化碳	N.D	N.D	50	2- 氯甲苯	N.D	N.D
18	1,1- 二氯丙烯	N.D	N.D	51	1,3,5- 三甲基苯	N.D	N.D
19	苯	N.D	N.D	52	4- 氯甲苯	N.D	N.D
20	1,2- 二氯乙烷	N.D	N.D	53	叔丁基苯	N.D	N.D
21	氟苯	/	/	54	1,2,4- 三甲基苯	N.D	N.D
22	三氯乙烯	N.D	N.D	55	仲丁基苯	N.D	N.D
23	1,2- 二氯丙烷	N.D	N.D	56	1,3- 二氯苯	N.D	N.D
24	二溴甲烷	N.D	N.D	57	4- 异丙基甲苯	N.D	N.D
25	一溴二氯甲烷	N.D	N.D	58	1,4- 二氯苯 -D4	/	/
26	4- 甲基 -2- 戊酮	N.D	0.31	59	1,4- 二氯苯	N.D	N.D
27	甲苯 -D8	/	/	60	1,2- 二氯苯	N.D	N.D
28	甲苯	N.D	N.D	61	正丁基苯	N.D	N.D
29	1,1,2- 三氯乙烷	N.D	N.D	62	1,2- 二溴 -3- 氯丙烷	N.D	N.D
30	四氯乙烯	N.D	N.D	63	1,2,4- 三氯苯	N.D	N.D
31	1,3- 二氯丙烷	N.D	N.D	64	六氯丁二烯	N.D	N.D
32	2- 己酮	N.D	N.D	65	萘	N.D	N.D
33	二溴氯甲烷	N.D	N.D	66	1,2,3- 三氯苯	N.D	N.D

注：N.D 表示未检出。

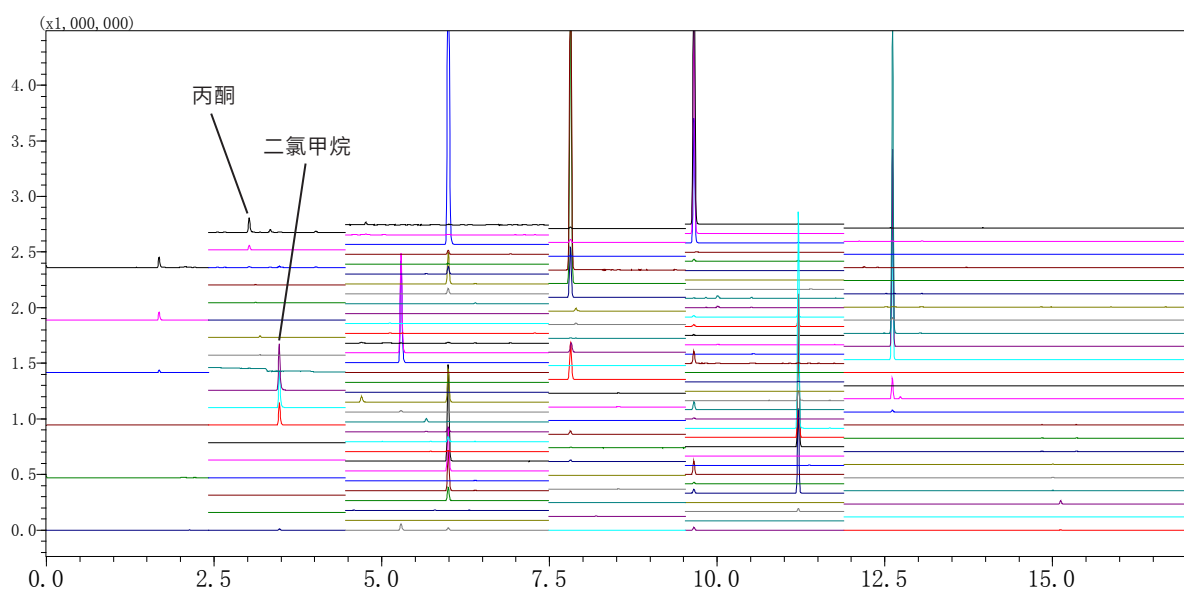


图 3. 土壤样品的 VOCs 谱图。

■ 结论

本方法采用岛津 GCMS-QP2020 NX 气质联用仪结合 Tekmar 固液一体吹扫捕集 Atomx XYZ 分析土壤中 60 种挥发性有机物的含量，在 5.0~200 $\mu\text{g/L}$ 浓度范围内标准曲线线性良好，相关系数均在 0.995 以上，除氯乙烷和丙酮外，其余组分 RRF RSD<20%。取浓度 5.0 $\mu\text{g/L}$ 加入土壤空白样品中，连续 7 针定量结果 RSD% 在 2.23~10.7%。，表明方法的精密良好。加标浓度为 6.0 $\mu\text{g/L}$ 时，各组分的回收率在 70.4-132% 之间。该方法操作简单，定量数据准确可靠，可测定土壤中多组分挥发性有机物。

岛津应用云

