

使用 Agilent 8890 GC/FID/5977B MSD 系统分析 USP <467> 1 类、2 类和 3 类 残留溶剂

作者

Youjuan Zhang, Shun Na
安捷伦科技（上海）有限公司
中国上海，邮编 200131

摘要

使用配置火焰离子化检测器 (FID) 和质谱检测器 (MSD) 的 Agilent 8890 气相色谱仪 (GC) 分析 USP <467> 1 类、2 类和 3 类残留溶剂。用 Agilent 7697A 顶空进样器将 52 个低沸点化合物进样至 DB-624 色谱柱，并用自动液体进样器将 10 个沸点相对较高的化合物进样至 DB-WAX 色谱柱。使用可吹扫的两通微板流路控制技术 (CFT) 装置将样品 1:1 分流至 FID 和 MSD。

本应用简报展示了出色的峰形、分离度和优异的重现性，证明这一 FID 和 MSD 双通道系统是残留溶剂定性和定量分析的强大工具。

前言

残留溶剂分析是制药行业中的重要应用。根据美国药典 (USP) 方法 <467> 进行的风险评估, 将残留溶剂分为 3 大类^[1]。

- 1 类溶剂包括 5 种化合物, 应避免在生产过程中使用
- 2 类溶剂包括 30 种化合物, 应限用
- 3 类溶剂包括 27 种化合物, 视为低风险物质

3 种类型中共有超过 60 种化合物。中国药典 (2015 版)^[2] 的化合物列表与 USP <467> 方法中的列表几乎完全相同。

制药行业的实验室通常使用气相色谱进行残留溶剂分析。研究人员在常规工作中发现未知组分时, MSD 是鉴定挥发性有机溶剂的理想选择。在实验室中, GC 和 GC/MSD 通常是两套单独的系统, 两套系统可能采用不同的载气类型和色谱柱, 通常用户需要花较长的时间做方法转移以及数据的比对。本应用简报使用了一台配置 FID 和 MSD 的 8890 GC, 进行三类残留溶剂的分析。由顶空进样器或自动液体进样器进样的样品以 1:1 分流至 FID 和 MSD。FID 或 MSD 均可用作定量分析工具, MSD 也可用于未知组分的定性分析。

实验部分

本应用简报将 USP <467> 方法中列出的化合物分为两类。一类是低沸点的挥发性化合物, 通过后进样口连接的顶空进样器进样至 GC, 另一类是沸点相对较高的化合物, 通过前进样口安装的自动液体进样器进样至 GC。该系列实验使用配备 FID、Agilent 7697A 顶空进样器和 Agilent 7693A 自动液体进样器的 Agilent 8890 GC 与 Agilent 5977B MSD 联用系统。使用可吹扫的两通 CFT 装置将柱流出物 1:1 分流到 FID 和 MSD。用户通过更换色谱柱即可切换顶空进样和液体进样, 无需更换其他硬件。图 1 展示了仪器配置示意图。表 1 和表 2 列出了用于这些分析的色谱条件。

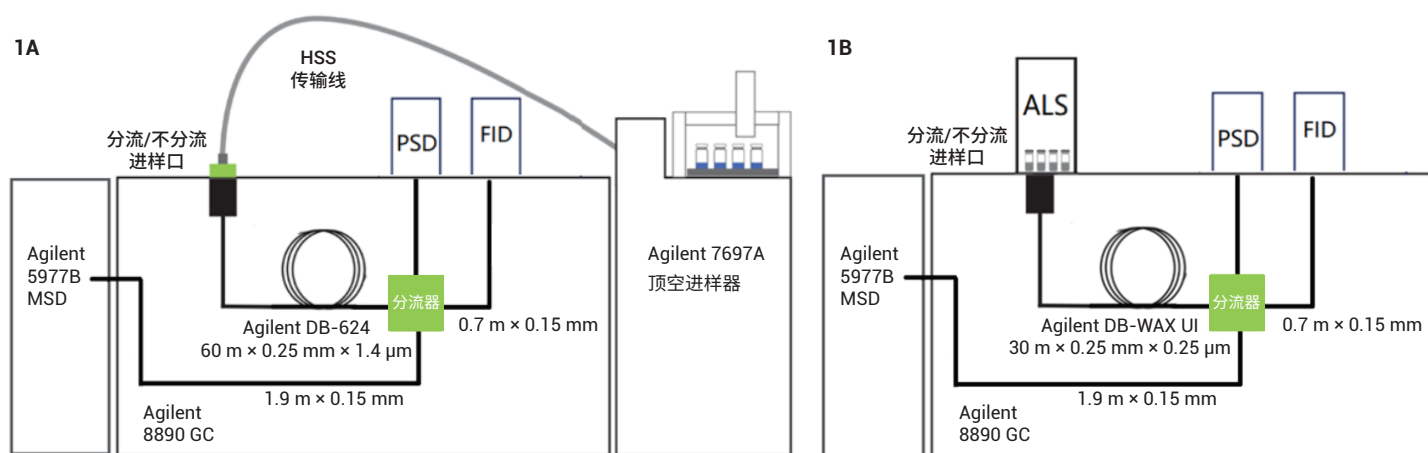


图 1. 1A 是后进样口连接的顶空进样器的系统配置。1B 是前进样口连接的自动液体进样器的系统配置

色谱条件

表 1. 顶空进样方法

Agilent 7697A 顶空进样器	
参数	值
样品瓶加压气体	N ₂
定量环规格	1 mL
样品瓶规格	20 mL
样品瓶振荡	7
样品瓶待机流速	20 mL/min
样品瓶平衡时间	30 min
进样时间	0.5 min
柱温箱温度	85 °C
定量环温度	95 °C
传输线	0.53 mm 内径去活熔融石英管（部件号 160-2535-5）
传输线温度	105 °C
样品瓶填充压力	15 psi
定量环填充模式	自定义
定量环升压速率	20 psi/min
定量环最终压力	4 psi
定量环平衡时间	0.1 min
Agilent 8890 GC	
参数	值
进样口	SSL, 250 °C, 分流比 10:1
衬管	直型, 去活, 2 mm 内径（部件号 5181-8818）
CFT 装置	可吹扫的两路分流器（部件号 G3180-60501），分流比 1:1 MSD:FID
PSD	3.8 psi 恒压
色谱柱	Agilent DB-624 60 m × 0.25 mm, 1.4 µm（部件号 122-1364）
载气	氮气, 1 mL/min, 恒流
FID 限流器	0.7 m × 0.15 mm 内径去活熔融石英管线（部件号 160-2625-10）
MSD 限流器	1.9 m × 0.15 mm 内径去活熔融石英管线（部件号 160-2625-10）
柱温箱	40 °C（10 分钟），然后以 5 °C/min 升至 80 °C，然后以 12 °C/min 升至 220 °C（10 分钟）
FID	温度：250 °C，氢气：30 mL/min，空气：300 mL/min，尾吹气 (N ₂)：25 mL/min
传输线温度	250 °C
Agilent 5977B MSD	
参数	值
离子化类型	EI
离子源温度	230 °C
四极杆温度	150 °C
拉出极	3 mm
调谐文件	Atune.u
采集类型	全扫描
溶剂延迟	6 min
相对电压	0

表 2. 液体进样方法

Agilent 8890 GC	
参数	值
进样口	SSL, 250 °C, 分流比 30:1
衬管	带玻璃毛的超高惰性低压降分流衬管 (部件号 5190-2295)
进样量	0.5 µL, 进样针 (部件号 5181-8810)
CFT 装置	可吹扫的两路分流器 (部件号 G3180-60501), 分流比 1:1 MSD:FID
PSD	3.8 psi 恒压
色谱柱	Agilent DB-WAX UI 30 m × 0.25 mm, 0.25 µm (部件号 122-7032UI)
载气	氦气, 1 mL/min, 恒流
FID 限流器	0.7 m × 0.15 mm 内径去活熔融石英管
MSD 限流器	1.9 m × 0.15 mm 内径去活熔融石英管
柱温箱	40 °C, 然后以 5 °C/min 升至 160 °C, 然后以 10 °C/min 升至 220 °C (10 分钟)
FID	温度: 250 °C, 氢气: 30 mL/min, 空气: 300 mL/min 尾吹气 (N ₂): 25 mL/min
传输线温度	250 °C
Agilent 5977B MSD	
参数	值
离子源类型	EI
离子源温度	230 °C
四极杆温度	150 °C
拉出极	3 mm
调谐文件	Atune.u
采集类型	扫描
溶剂延迟	6 min
EM 相对电压	0

试剂与标准品

三个残留溶剂的标样购买自安捷伦科技公司, 均以二甲亚砜 (DMSO) 为溶剂。

- 1 类: 部件号 5190-0490
- 2A 类: 部件号 5190-0492
- 2C 类: 部件号 5190-0493

2B 类和 3 类化合物的单一标准品购自上海安谱科学仪器有限公司和 J&K Scientific Ltd。

表 3 中的化合物用 DMSO 和水 (v/v=50:50) 溶液稀释。在顶空瓶中加入 5 mL DMSO 和水 (v/v=50:50) 的溶液, 加入不同量的储备液以获得所需的浓度的校正溶液。表 4 中的化合物用水稀释。附录 A 中的表 A1 展示了每种化合物的不同浓度水平。

表 3. 顶空进样的 52 种化合物在 Agilent DB-624 色谱柱上的分析结果（下页续）

序号	名称	保留时间	m/z	线性范围 (µg/mL)	R ²		峰面积 RSD% L4 (n = 8)	MDL (MSD) µg/mL
					MSD	FID		
1	甲醇	8.818	31	0.75–150	0.9998	0.9994	2.2	0.194
2	戊烷	11.251	43	0.5–100	0.9944	0.9997	2	0.143
3	乙醇	11.73	31	2–100	0.9999	0.9998	1.2	0.514
4	乙醚	12.142	74.1	0.5–100	0.9911	0.9998	4.3	0.147
5	1,1-二氯乙烯	13.083	61	0.004–0.8	0.9997	0.9986	1.7	0.003
6	丙酮	13.283	43	0.5–100	0.9999	0.9996	2.1	0.227
7	异丙醇	13.854	45	1–200	0.9997	0.9979	4.3	0.245
8	甲酸乙酯	13.873	45	1–200	0.9997	0.9979	4.3	0.245
9	乙腈	14.39	41	0.1–20	0.9996	0.9984	4.2	0.032
10	乙酸甲酯	14.564	43	0.5–100	0.9998	0.9998	2.7	0.424
11	二氯甲烷	14.947	84	0.15–30	0.9997	0.9997	2.1	0.033
12	甲基叔丁基醚	15.938	73	0.1–20	0.9988	0.9998	2.1	0.035
13	反式-1,2-二氯乙烯	15.979	95.9	0.236–47	0.9969	0.9998	1.7	0.065
14	己烷	16.899	57	0.1–20	0.9995	0.9998	2.2	0.074
15	1-丙醇	17.712	31	0.5–100	0.9995	0.9996	2	0.180
16	硝基甲烷	19	46	0.5–100	0.9999	0.9991	1.9	0.252
17	顺式-1,2-二氯乙烯	19.21	96	0.236–47	0.9988	0.9999	2.5	0.045
18	2-丁酮	19.225	43	0.5–100	0.998	0.9999	2.3	0.147
19	乙酸乙酯	19.375	43	0.5–100	0.9986	0.9997	1.4	0.305
20	2-丁醇	19.688	45	0.5–100	0.9998	0.9999	2.4	0.237
21	四氢呋喃	19.985	42	0.18–36	0.9998	0.9998	2.1	0.053
22	三氯甲烷	20.054	83	0.015–3	0.9997	0.9998	1.6	0.006
23	1,1,1-三氯乙烷	20.546	97	0.005–1	0.9999	0.9998	1.3	0.003
24	环己烷	20.707	84	1.0–49 (195)*	0.9908	0.9997	1.8	0.188
25	四氯化碳	20.962	117	0.002–0.4	0.9998	0.9992	2.8	0.002
26	2-甲基-1-丙醇	21.119	43	0.5–100	0.9999	0.9999	2.1	0.494
27	1,2-二甲氧基乙烷	21.265	45	0.5–100	0.9999	0.9995	1	0.256
28	苯	21.442	78	0.001–0.2	0.9995	0.9998	5.8	0.001
29	1,2-二氯乙烷	21.442	62	0.01–0.5	0.9989	0.9998	1.5	0.002
30	乙酸异丙酯	21.496	61	0.5–100	0.9985	0.9998	0.8	0.164
31	庚烷	21.956	71	0.1–20	0.9974	0.9996	2.4	0.034
32	1-丁醇	22.547	56	0.5–100	0.9994	0.9998	2.4	0.172
33	三氯乙烯	22.791	130	0.015–3	0.9999	0.9999	1.8	0.007
34	甲基环己烷	23.208	83	0.3–15 (59)*	0.9989	0.9997	2.3	0.072
35	1,4-二氧六环	23.489	88	0.095–19	0.9999	0.9999	3.3	0.055
36	乙酸丙酯	23.491	43	0.5–100	0.9966	0.9999	3	0.268
37	4-甲基-2-戊酮	24.815	43	0.5–100	0.9985	0.9996	2.2	0.143
38	异戊醇	24.879	55.1	0.5–100	0.9991	0.9996	2.4	0.256
39	吡啶	25.024	79	2–100	0.9992	0.9997	2.1	0.502

表 3. 顶空进样的 52 种化合物在 Agilent DB-624 色谱柱上的分析结果（续）

序号	名称	保留时间	m/z	线性范围 (µg/mL)	R ²		峰面积 RSD% L4 (n = 8)	MDL (MSD) µg/mL
					MSD	FID		
40	甲苯	25.196	91	0.22–22 (44)*	0.9964	0.9998	2.1	0.065
41	乙酸异丁酯	25.322	56	0.5–100	0.9958	0.9999	2.1	0.178
42	1-戊醇	25.735	42	0.5–100	0.9996	0.9998	2.1	0.332
43	2-己酮	26.201	58	0.06–3	0.9995	0.9998	2.1	0.011
44	乙酸丁酯	26.351	43	0.5–100	0.9957	0.9999	2.3	0.250
45	四氢噻吩	26.571	88	0.5–100	0.9996	0.9999	1.4	0.180
46	氯苯	27.503	112	0.09–18	0.9999	0.9997	2.5	0.022
47	乙苯	27.618	91	0.09–18	0.9986	0.9997	4.1	0.029
48	间二甲苯、对二甲苯	27.782	106	0.4–40 (80)*	0.9963	0.9997	3.3	0.107
49	邻二甲苯	28.393	91	0.05–10	0.9999	0.9996	2.6	0.017
50	异丙基苯	28.904	105	0.1–20	0.9983	0.9996	2.4	0.039
51	苯甲醚	29.011	108	0.5–100	0.9999	0.9997	2.8	0.189
52	1,2,3,4-四氢化萘	33.814	104	0.015–3	0.9998	0.9993	2	0.005

* 括号中的值代表 FID 的线性最大浓度，FID 的最小浓度与 MSD 相同
无星号表示 MSD 和 FID 的线性范围相同

表 4. 液体进样的 10 种化合物在 Agilent DB-WAX 色谱柱上的分析结果

序号	名称	保留时间	m/z	线性范围 (µg/mL)	R ²		峰面积 RSD% L4 (n = 8)	MDL (MSD) µg/mL
					MSD	FID		
53	2-甲氧基乙醇	9.783	45	5–50	0.9984	0.9995	1.8	0.68
54	2-乙氧基乙醇	10.816	59	16–161	0.9973	0.9987	1.4	1.93
55	N,N-二甲基甲酰胺 (DMF)	13.607	73	88.3–883	0.9997	0.9999	1	2.19
56	N,N 二甲基乙酰胺 (DMAC)	15.667	87	109.4–1094	0.9997	0.9996	1.3	2.58
57	乙酸	16.493	60	400–3000	0.9984	0.9997	1.7	90.12
58	甲酸	17.774	46	400–3000	0.9995	0.9939	0.8	120
59	乙二醇	20.652	31	62.2–622	0.9983	0.9982	1.8	4.44
60	N-甲基吡咯烷酮	22.074	98	53–530	0.9995	0.9997	0.9	3.02
61	甲酰胺	24.157	45	22–221	0.9992	0.9986	2.3	2.11
62	环丁酮	30.706	120	16–160	0.9994	0.9997	2.1	1.33

结果与讨论

1. 顶空进样分析

将 USP <467> 列表中的 52 种化合物用顶空进样器进样，并在 Agilent DB-624 分析柱上分离，总运行时间约 40 分钟。柱流出物分别到 MSD 和 FID 响应，一次进样即可以实现 52 种化合物的定性定量分析，极大地提高了实验室分析效率。在全扫描模式下使用 GC/MS 有助于药物中

未知残留溶剂的鉴定。制药行业通常使用 FID 进行定量分析，当 FID 信号中出现未知物时，在 MSD 信号相同的保留时间处即可找到该未知物，利用质谱的谱库检索轻松完成定性分析。图 2 展示了 GC/MS/SCAN 和 FID 色谱图中的良好峰形。

图 2 表明甲基叔丁基醚和反式-1,2-二氯乙烯；顺式-1,2-二氯乙烯和 2-丁酮；四氢呋喃和氯仿；苯、1,2-二氯乙烷和乙酸异丙酯；1,4-二氧六环和乙酸丙酯；4-甲基-2-

戊酮和异戊醇在 DB-624 色谱柱上未得到充分分离。因此这些共流出的化合物通过 FID 信号很难得到准确的定量结果，但是这些化合物可以在质谱信号中选择不同的定量离子来定量，提高定量的准确度。异丙醇和甲酸乙酯在 DB-624 色谱柱上也发生了共洗脱，而且无法找到这两个化合物不同的定量离子，因此在本文中将这两个化合物作为一个峰来计算。如果需要准确定量，可选择具有不同固定相的其他色谱柱进行分离。

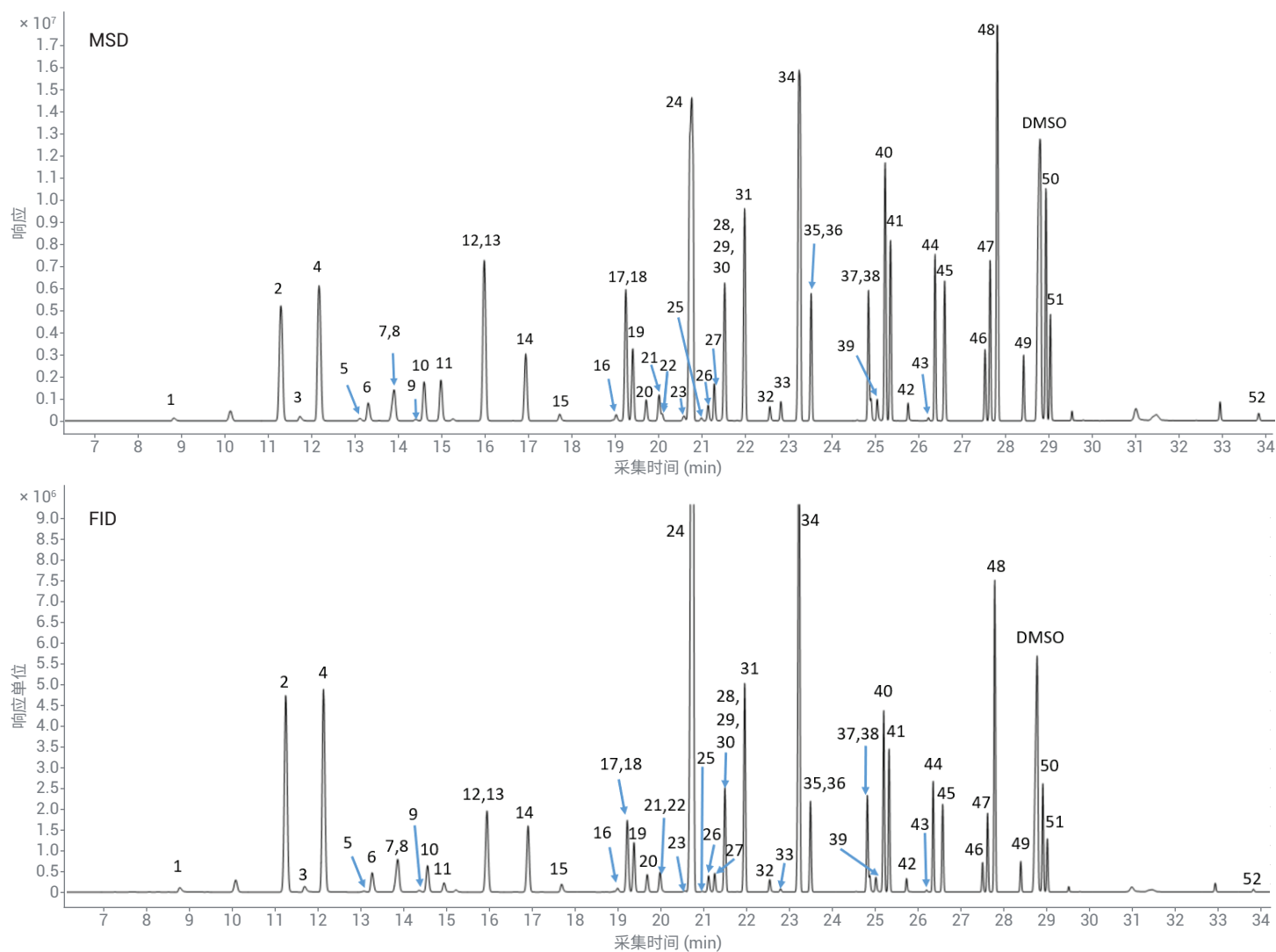


图 2. 52 种化合物的标准溶液（水平 7）在 Agilent DB-624 色谱柱上的 GC/MS-SCAN 和 FID 色谱图。流出物分流比为 MSD:FID = 1:1

顶空进样的稀释溶剂选择

甲醇、丙酮、N,N-二甲基甲酰胺 (DMF) 和 DMSO 是挥发性有机溶剂的常用稀释溶剂。而本研究中未使用甲醇、丙酮和 DMF, 因为它们为目标化合物。1 类和 2 类储备液的溶剂为 DMSO, DMSO 与多数残留溶剂互溶, 因此选择 DMSO 作为基础溶剂。使用顶空进样时, 溶于水等强极性溶剂中的弱极性有机化合物可获得较高灵敏度。但应注意溶解度等因素。将体积比 50:50 的 DMSO 与水的溶液用作最终稀释溶剂。

表 3 列出了 52 种化合物的结果。因为受限于所购买的标准混合物的浓度, 所以最终各化合物的线性范围各不相同, 如表 3 所示。附录 A 的表 A1 列出了不同浓度级别下各化合物的浓度。MSD 和 FID 上的 52 种化合物在研究范围内线性的 R^2 值均大于 0.99, 多数 R^2 值大于 0.999。在中等水平校准标样 (水平 4) 浓度下进行 8 次连续进样, 评估重现性。由表 3 可知, 大多数化合物的 MSD 峰面积 %RSD 远低于 5.8%。由低水平校准标样 (水平 2) 的 8 次重复运行计算出 MDL 值。详细信息同样如表 3 所示。

2. 液体进样分析

多数 2 类和 3 类残留溶剂可用上述顶空进样条件检测。但是, 顶空进样方法并非适用于所有残留试剂, 特别是 2 类中沸点相对高的化合物和 3 类中的水溶性酸。这些化合物通过液体进样检测, 以获得更高灵敏度。

图 3 所示为同时采集的 GC/MS-SCAN 和 FID 色谱图示例。DB-WAX 色谱柱对所有化合物均实现了出色分离。某些碳原子数较低的化合物 (如甲酸), 在 MSD 上的响应高于 FID 上的响应。对这些化合物而言, MSD 是提高灵敏度的不错选择。

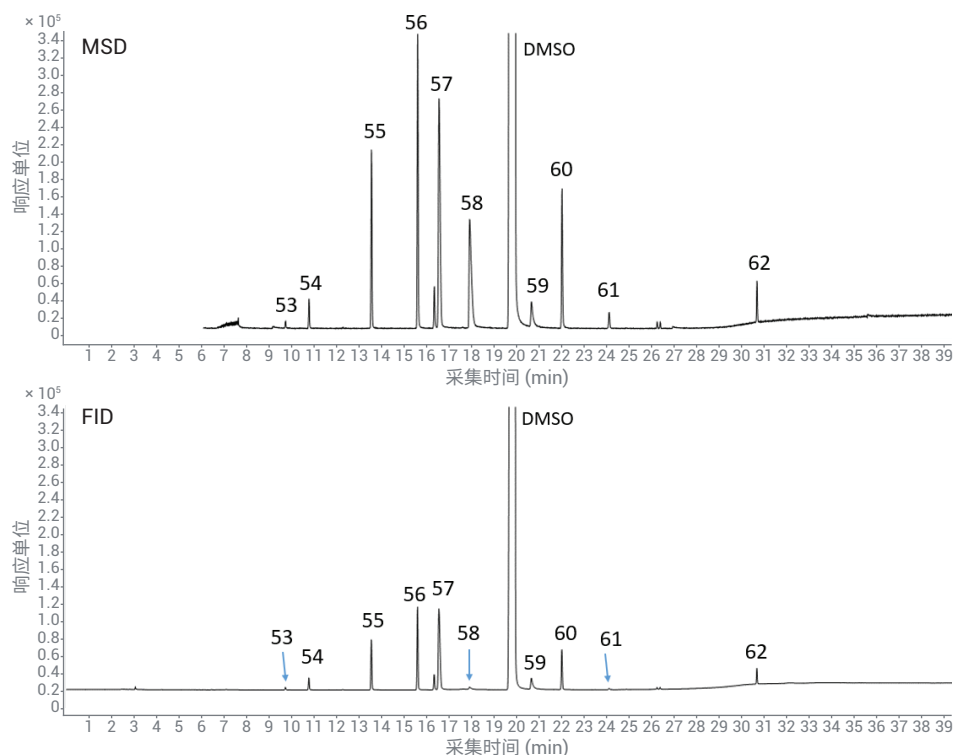


图 3. 10 种化合物的标准溶液 (水平 5) 在 Agilent DB-WAX 色谱柱上的 GC/MS-SCAN 和 FID 色谱图。流出物分流比为 MSD:FID = 1:1

DMSO 对液体进样中酸保留时间的影响

在本研究中，用 2C 类标准品、甲酸和乙酸单标准品配制了 10 个化合物混合物。2C 类标准品的溶剂为 DMSO，两种酸为纯溶剂。每个校准浓度准备 6 个样品瓶，添加不同量的 2C 类溶剂和酸的水溶液获得所需浓度。这意味着样品浓度越高，DMSO 含量越高。如图 4 所示，甲酸和乙酸的保留时间 (RT) 随着样品浓度的增加向后偏移，而 2C 类化合物（如 N,N 二甲基乙酰胺 (DMAC) 和乙二醇）的 RT 在不同浓度下保持不变。如果需要酸在不同浓度下有相同的 RT，则需要将不同浓度下的 DMSO 量控制在相同水平，如图 5 所示。

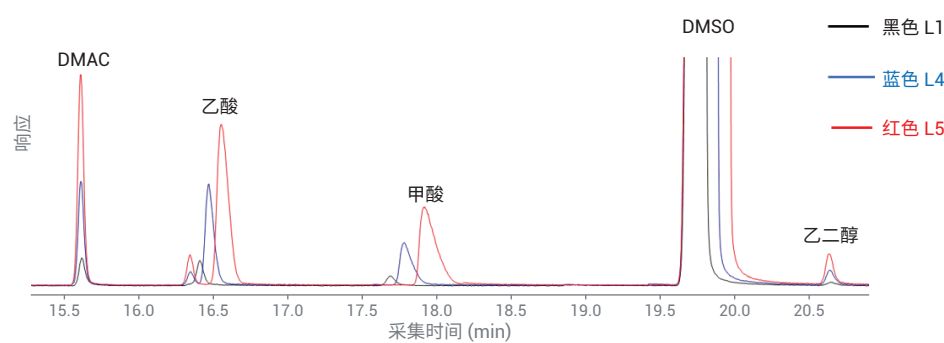


图 4. 溶液中 DMSO 含量不同的水平 1、水平 4 和水平 5 校准浓度的叠加色谱图

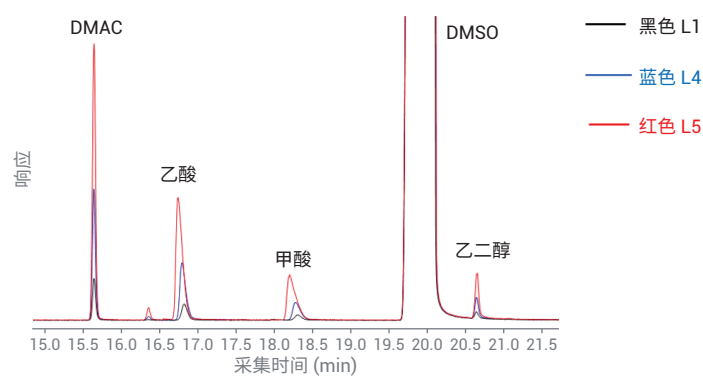


图 5. 溶液中 DMSO 含量相同的水平 1、水平 4 和水平 5 校准浓度的叠加色谱图

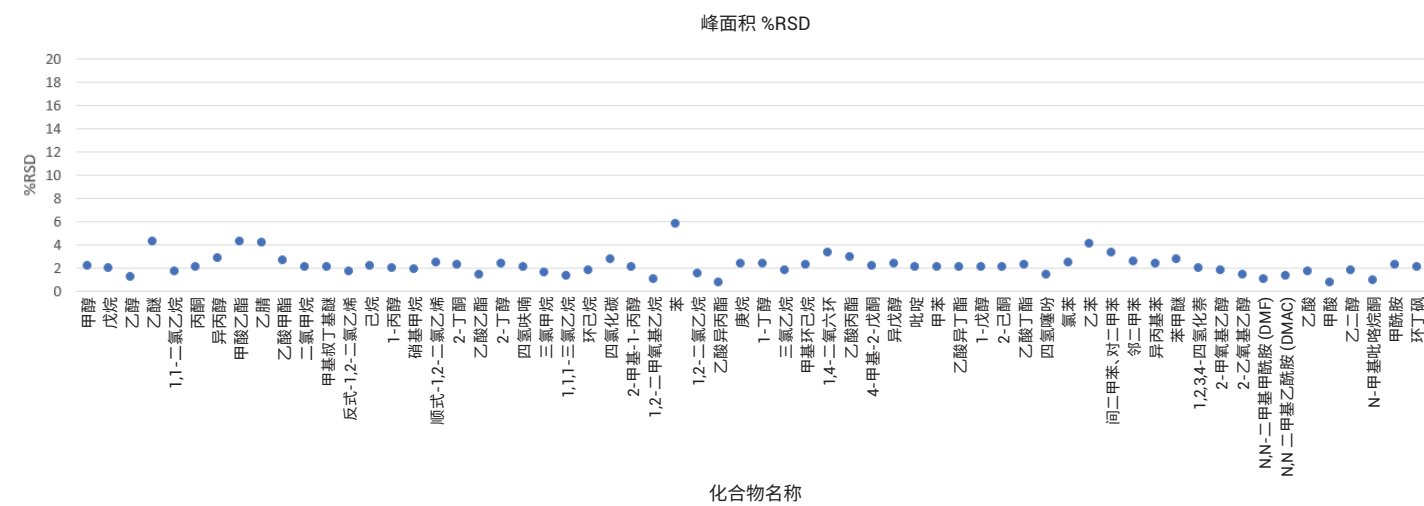


图 6. 所有化合物的峰面积 %RSD 结果

表 4 列出了 10 种化合物的相关系数。MSD 和 FID 上的 R^2 值均大于 0.9939。对水平 4 浓度下的标准品混合物进行 8 次进样，测试重现性。对于所有化合物，峰面积 %RSD 远低于 2.3%。由水平 1 校准标样的 8 次重复运行计算出 MDL 值。详细信息同样如表 4 所示。

结论

使用 Agilent 8890 GC/FID/MSD 系统检测 1 类、2 类和 3 类残留溶剂。对于新药开发和质量控制，FID 和 MSD 双通道配置可成为溶剂残留分析的强大工具。MSD 分析可避免药物生产中涉及的 60 多种溶剂的不确定性。如果发现未知峰或未知溶剂，此系统是溶剂鉴定和定量分析的最佳解决方案。

参考文献

1. USP 32-NF 27, General Chapter USP <467> Organic volatile impurities, United States Pharmacopeia. Pharmacopoeia Convention Inc., Rockville, MD, 8/2009
2. Chinese Pharmacopeia (2015). Appendix VI V Solvent residue determination, China

附录 A

表 A1. 不同浓度级别下各化合物的浓度（下页续）

序号	名称	浓度 (µg/mL)						
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
1	甲醇	0.75	3	7.5	14	37.5	75	150
2	戊烷	0.5	2	5	10	25	50	100
3	乙醇	NA	2	5	10	25	50	100
4	乙醚	0.5	2	5	10	25	50	100
5	1,1-二氯乙烯	0.004	0.016	0.04	0.08	0.2	0.4	0.8
6	丙酮	0.5	2	5	10	25	50	100
7	异丙醇	0.5	2	5	10	25	50	100
8	甲酸乙酯	0.5	2	5	10	25	50	100
9	乙腈	0.10	0.4	1	2	5	10	20
10	乙酸甲酯	0.5	2	5	10	25	50	100
11	二氯甲烷	0.15	0.6	1.5	3	7.5	15	30
12	甲基叔丁基醚	0.1	0.4	1	2	5	10	20
13	反式-1,2-二氯乙烯	0.236	0.944	2.36	4.72	11.8	23.5	47
14	己烷	0.1	0.4	1	2	5	10	20
15	1-丙醇	0.5	2	5	10	25	50	100
16	硝基甲烷	0.5	2	5	10	25	50	100
17	顺式-1,2-二氯乙烯	0.236	0.944	2.36	4.72	11.8	23.5	47
18	2-丁酮	0.5	2	5	10	25	50	100
19	乙酸乙酯	0.5	2	5	10	25	50	100
20	2-丁醇	0.5	2	5	10	25	50	100
21	四氢呋喃	0.18	0.72	1.8	3.6	9	18	36
22	三氯甲烷	0.015	0.06	0.15	0.3	0.75	1.5	3
23	1,1,1-三氯乙烷	0.005	0.02	0.05	0.1	0.25	0.5	1
24	环己烷	1	4	10	20	49	97.5	195
25	四氯化碳	0.002	0.008	0.02	0.04	0.1	0.2	0.4
26	2-甲基-1-丙醇	0.5	2	5	10	25	50	100
27	1,2-二甲氧基乙烷	0.5	2	5	10	25	50	100
28	苯	0.001	0.004	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2
29	1,2-二氯乙烷	NA	0.01	0.025	0.05	0.125	0.25	0.5
30	乙酸异丙酯	0.5	2	5	10	25	50	100
31	庚烷	0.1	0.4	1	2	5	10	20
32	1-丁醇	0.5	2	5	10	25	50	100
33	三氯乙烯	0.015	0.06	0.15	0.3	0.75	1.5	3
34	甲基环己烷	0.3	1.2	3	6	15	29.5	59
35	1,4-二氧六环	0.095	0.38	0.95	1.9	4.75	9.5	19
36	乙酸丙酯	0.5	2	5	10	25	50	100

表 A1. 不同分析浓度下各化合物的浓度（续）

序号	名称	浓度 (µg/mL)						
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
37	4-甲基-2-戊酮	0.5	2	5	10	25	50	100
38	异戊醇	0.5	2	5	10	25	50	100
39	吡啶	NA	2	5	10	25	50	100
40	甲苯	0.22	0.88	2.2	4.4	11	22	44
41	乙酸异丁酯	0.5	2	5	10	25	50	100
42	1-戊醇	0.5	2	5	10	25	50	100
43	2-己酮	NA	0.06	0.15	0.3	0.75	1.5	3
44	乙酸丁酯	0.5	2	5	10	25	50	100
45	四氢噻吩	0.5	2	5	10	25	50	100
46	氯苯	0.09	0.36	0.9	1.8	4.5	9	18
47	乙苯	0.09	0.36	0.9	1.8	4.6	9	18
48	间二甲苯、对二甲苯	0.4	1.6	4	8	20	40	80
49	邻二甲苯	0.05	0.2	0.5	1	2.5	5	10
50	异丙基苯	0.1	0.4	1	2	5	10	20
51	苯甲醚	0.5	2	5	10	25	50	100
52	1,2,3,4-四氢化萘	0.015	0.06	0.15	0.3	0.75	1.5	3
53	2-甲氧基乙醇	5	6.3	8.3	12.5	25	50	NA
54	2-乙氧基乙醇	16	20.1	26.8	40.3	80	161	NA
55	N,N-二甲基甲酰胺	88.3	110.4	147.2	220.8	441	883	NA
56	N,N-二甲基乙酰胺	109.4	136.8	182.3	273.5	547	1094	NA
57	乙酸	400	600	800	1000	2000	3000	NA
58	甲酸	400	600	800	1000	2000	3000	NA
59	乙二醇	62.2	77.8	103.7	155.5	311	622	NA
60	N-甲基吡咯烷酮	53	66.3	88.3	132.5	265	530	NA
61	甲酰胺	22	27.6	36.8	55.3	110	221	NA
62	环丁酮	16	20	26.7	40	80	160	NA

NA：表示此浓度水平未参与线性计算。

www.agilent.com

仅限研究使用。不可用于诊断目的。

本文中的信息、说明和指标如有变更，恕不另行通知。

© 安捷伦科技（中国）有限公司，2019
2019 年 11 月 15 日，中国出版
5994-1488ZHCN
DE.4496875

查找当地的安捷伦客户中心：

www.agilent.com/chem/contactus-cn

免费专线：

800-820-3278，400-820-3278（手机用户）

联系我们：

LSCA-China_800@agilent.com

在线询价：

www.agilent.com/chem/erfq-cn

