

• 调查与评价 •

# 兰州市大气降尘中 PAHs 分布与生态风险评价

张云, 张成君

(兰州大学资源环境学院, 环境科学研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 对兰州市春季不同功能区大气降尘有机质中多环芳烃 (PAHs) 种类进行分析, 采用 GC/MS 法检出了大气降尘中有机质 US EPA 优控 PAHs 有 11 种以上, 含量较高的集中于萘 (NAP)、荧蒽 (FLUA)、菲 (PHE)、芘 (PYR)、蒽 (CHR), 占各采样点 PAHs 总量的 70% 以上。源解析表明兰州市各功能区大气降尘 PAHs 来源不仅有较高的燃煤源、交通源 (汽车尾气), 同时 PAHs 的组成与分布也在很大程度上受到采样点周围居民居住环境的影响。对照有关的沉积物质量标志水平, 兰州市城关区各站点都有 PAHs 浓度超出相应质量警戒水平, 属高生态风险区

**关键词:** 降尘; 多环芳烃; 生态风险评价; 兰州市

中图分类号: X823 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2008)05-0020-05

## Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Bustfall at Lanzhou

ZHANG Yun, ZHANG Cheng-jun

(School of Resources and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000 China)

**Abstract** The polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the air dustfall of spring in Lanzhou were detected by GC/MS. The 11 kinds of priority controlled pollutants of US EPA were found in all compounds and the amount of Naphthalene, fluoranthene, phenanthrene, pyrene, and chryene made up over 70% of PAHs in all sampling sites. The results of source analysis showed that the PAHs of dustfall were from the coal combustion and vehicle emissions as well as burning of resident cooking in function districts of Lanzhou. By Sediment control quality level, the concentrations of PAHs in Chengguan District of Lanzhou exceeded the corresponding warning quality level and the area had high ecological risk.

**Key words** Dustfall; PAHs; Ecological risk assessment; Lanzhou

多环芳烃 (PAHs) 是一类具有致癌、致畸及内分泌干扰作用的持久性有毒物质<sup>[1]</sup>, 目前已被很多国家列为优先控制污染物。大气中的 PAHs 可通过呼吸、饮食和皮肤接触等途径进入人体<sup>[2]</sup>, 在重力沉降、雨蚀、冲刷等干湿沉降作用下进入水体和土壤<sup>[3-4]</sup>, 进而进入食物链, 对人类健康带来危害。

近几十年来, 兰州市大气污染一直十分严重, 空气中颗粒物的含量在世界监测城市中名列前茅。为了解目前兰州市大气污染状况并对其污染物的潜在生态风险作出评价, 对兰州市城区大气沉降尘进行采样, 分析了 PAHs 的含量及其分布。为深入研究 PAHs 的环境行为和生态效应积累必要的

资料<sup>[5-6]</sup>。

### 1 研究方法

#### 1.1 采样点

在兰州市功能区内共设置 16 个采样点, 各采样点的地理分布见图 1。

城关区为重交通及商业居民区, 共设置 8 个采样点, 分别位于东岗主干道边 (1<sup>#</sup>)、二热热电厂旁的居民区 (2<sup>#</sup>)、雁滩教育学院 (3<sup>#</sup>)、兰州大学综合

收稿日期: 2007-12-10 修订日期: 2008-05-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40773064)

作者简介: 张云 (1983-), 女, 硕士研究生, 江苏淮安人, 研究方向为环境地球化学。

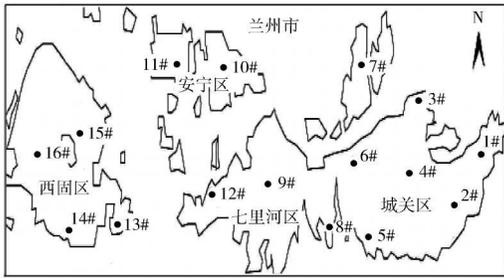


图 1 兰州市大气降尘采样点

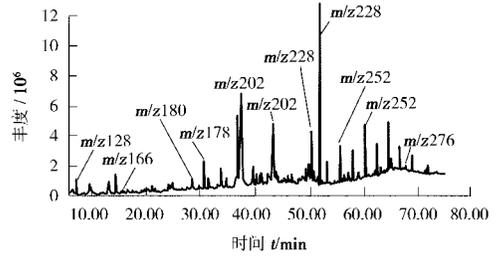


图 2 大气降尘中检出的优控 PAHs 色谱图

楼顶层 (4<sup>#</sup>)、五泉山家属院 (5<sup>#</sup>)、西关什字商业街边的居民楼 (6<sup>#</sup>)、骆驼客家属院 (7<sup>#</sup>) 和体育学院校园内 (8<sup>#</sup>)；七里河区为商业交通区，设置 2 个样点 (9<sup>#</sup>、12<sup>#</sup>)，分别位于西站居民楼和肉联厂边居民楼；安宁区为文教区，设置 2 个样点 (10<sup>#</sup>、11<sup>#</sup>)，分别位于西北师大操场边和长风公园；西固区为化学工业区，共设置 4 个样点 (13<sup>#</sup>—16<sup>#</sup>)，分别位于西固福利区居民楼、西固公园、兰炼化工总厂办公楼、兰化化肥厂前消防队院内。采样时间为 2005 年 3 月 23—26 日。

### 1.2 样品采集

采集建筑物顶层或窗台上的自然沉降尘。

### 1.3 样品前处理及分析

将所采集的样品用二氯甲烷超声抽提，抽提物过滤后经硅胶—三氧化二铝色谱柱分离得到饱和烃、芳香烃、非烃、沥青等 4 个组分。样品中 PAHs 定性半定量分析采用标准质谱库计算机检索，采用选择离子和色谱保留时间确定 PAHs 的种类和利用六甲基苯为内标进行半定量分析。具体分析步骤同参考文献 [7]。有机质正构烷烃组分分析采用有机色—质谱分析法。

### 1.4 分析仪器

美国 Finnigan SSQ 710 型色—质谱仪，配置 HP DB-5MS 弹性石英毛细柱 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)。

## 2 结果及讨论

### 2.1 兰州市降尘优控 PAHs 总体特征

根据质谱特征离子及相对保留时间分析各样品中的 PAHs 结果见图 2。

由图 2 可见，共检出萘、甲基萘、二甲基萘、乙基萘、三甲基萘、四甲基萘、联苯、苊、甲基苊、菲、甲基菲、二甲基菲、乙基菲、三甲基菲、四甲基菲、

荧蒹、芘、屈、苯并蒹、苯并 [bk] 荧蒹、苯并 [a] 芘、茚并 [1,2,3-cd] 芘等 23 种 PAHs。在检出的 PAHs 中，主要以 2 环、3 环芳烃为主，同时有极少的 6 环芳烃。这与天津一些地区降尘中的 PAHs 组成相似<sup>[8]</sup>，比邓祖琴等<sup>[7]</sup> 检出的兰州市降尘中 PAH 种类有所增加。城关区、安宁区、七里河区检出的芳烃主要集中于萘、苊、菲、荧蒹、芘等 5 类；城关区、七里河区同时也检出少量的苯并 [a] 芘、茚并 [1,2,3-cd] 芘和苯并 [ghi] 芘。而在西固区的所有采样点中上述芳烃均有检出。

所有降尘样品中检出的 PAHs 普遍有取代基，这一结果与以往的研究有所不同。如曾凡刚等<sup>[9]</sup> 指出兰州市大气总悬浮颗粒物中检出的多环芳烃普遍无取代基。而取代基的出现，可使原来无致癌活性的母核 PAHs 具有致癌活性<sup>[10]</sup>，如甲基萘、甲基菲、甲基芘等化合物。烷基多环芳烃的致畸致癌作用不容忽视，而取代基多环芳烃在样品中的普遍检出，说明目前兰州市城区降尘中的 PAHs 危害严重。

兰州市降尘样品中检出的优控 PAHs 组分见表 1。

由表 1 可见，萘、苊、菲、荧蒹、芘在所有样品中都有检出，而苯并 [a] 蒹只在 10<sup>#</sup> 没有检出。在七里河区 (12<sup>#</sup>)、西固区 (14<sup>#</sup>—16<sup>#</sup>) 和城关区 (7<sup>#</sup>) 5 个采样点中检出了更具有强致癌活性的苯并 [bk] 荧蒹、苯并 [a] 芘、茚并 [1,2,3-cd] 芘和苯并 [ghi] 芘。

不同功能区样品中各 PAHs 化合物的分布存在较大差别。在城关区所有的采样点中 (1<sup>#</sup>—8<sup>#</sup>)，样品中高含量的 PAHs 主要集中于 NAP、FLU、FLUA、PHE，占  $\sum$  PAH<sub>11</sub> 总量的 79%~88%，平均值为 84%。这与天津地区冬季采暖期降尘中的 5 种主要化合物 (NAP、FLUA、PHE、PYR、CHR) 占总 PAHs 浓度的百分数接近 (71%~87%)<sup>[8]</sup>；七里河区 (9<sup>#</sup>、12<sup>#</sup>) 的样品中高含量 PAHs 主要集中

表 1 兰州市降尘样品中检出的优控 PAHs 组分<sup>①</sup>

采样点编号	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>	6 <sup>#</sup>	7 <sup>#</sup>	8 <sup>#</sup>	9 <sup>#</sup>	10 <sup>#</sup>	11 <sup>#</sup>	12 <sup>#</sup>	13 <sup>#</sup>	14 <sup>#</sup>	15 <sup>#</sup>	16 <sup>#</sup>
NAP	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
FLU	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PHE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
FLUA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PYR	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
BaA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
CHR	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
BbkF	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+
BaP	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+
NcdP	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+
BghP	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+

①NAP: 萘; FLU: 芴; PHE: 菲; FLUA: 荧蒽; PYR: 芘; BaA: 苯并[a]蒽; CHR: 䈷; BbkF: 苯并[bk]荧蒽; BaP: 苯并[a]芘; NcdP: 茚并[1,2,3-cd]芘; BghP: 苯并[gh]芘。+++ : 相对含量最丰; ++ : 相对含量较丰; + : 已检出; - : 未检出。

于 NAP、FLU、FLUA、PHE 和 PYR, 占  $\sum PAH_{11}$  总量的 78% ~ 86%, 平均值为 82%; 安宁区 (10<sup>#</sup>、11<sup>#</sup>) 样品中高含量 PAHs 主要集中于 NAP、FLU、FLUA、PHE, 占  $\sum PAH_{11}$  总量的 82% ~ 88%, 平均值为 85%; 西固区样品中高含量 PAHs 集中于 NAP、FLUA、PYR、PHE 和 CHR, 占  $\sum PAH_{11}$  总量的 68% ~ 82%, 平均值为 76%, 这一数值略高于巴黎落尘中 4 种主要的化合物 (FLUA、PYR、PHE 和 CHR) 占总 PAHs 含量的百分数 (62% ~ 71%)<sup>[11]</sup>。

菲和荧蒽是各样品中检出量最高的 2 类化合物 (表 1)。国际癌症研究机构 (IARC) 认为 BaA、BbF、BkF、DBA、BghP 和 NcdP 等 6 种 PAHs 最具有潜在致癌活性<sup>[12]</sup>, 在所有样品中, 除 DBA 无检出外, 其余 5 种在城关区 (7<sup>#</sup>)、七里河区 (12<sup>#</sup>) 和西固区 (14<sup>#</sup> - 16<sup>#</sup>) 均有检出 (表 1), 这 5 种 PAHs 分别占  $\sum PAH_{11}$  的 5.2%、6.4%、19.7%、7.8% 和 7%。具有强致癌性的 BaP 在城关区 (3<sup>#</sup>、7<sup>#</sup>)、七里河区的 (12<sup>#</sup>) 和西固区 (14<sup>#</sup> - 16<sup>#</sup>) 的样品中也均有检出。从 4 个区降尘中强致癌性多环芳烃分析结果的比较来看, 西固区大气降尘中的 PAHs 具有更大的潜在危害性, 城关区和七里河区的危害性较弱, 而安宁区的则最小。苯并[b]荧蒽和苯并[k]荧蒽是同素异构体, 色谱峰很接近, 很难分离。因此, 这两种物质组合在一起描述即苯并[bk]荧蒽 (BbkF)。致癌性芳烃占  $\sum PAH_{11}$  总量的百分比见表 2。

由表 2 可见, 所有兰州市降尘样品中 BaP 占  $\sum PAH_{11}$  总量的百分比与天津地区和巴黎的降尘样品的百分比含量相比略低。这可能与样品的采集

表 2 致癌性芳烃占  $\sum PAH_{11}$  总量的百分比 %

PAHs	兰州	天津采暖期	天津非采暖期	巴黎
$w(BaP) / \sum w(PAH_{11})$	0.07 ~ 2.3	1.6 ~ 6.6	0.1 ~ 11.8	3
$w(PAH_5) / \sum w(PAH_{11})$	5.2 ~ 19.7	20.7 ~ 32.4	13.3 ~ 38.5	19

时间、方法及分析措施不同有关。总的来说, 兰州市除西固区外其他各区降尘样品中 4~6 环芳烃含量相对较少, 其总量占  $\sum PAH_{11}$  的百分比小于 10%, 而西固区降尘样品中 4~6 环芳烃含量占  $\sum PAH_{11}$  的百分比高达 43%。同时, 各功能区内的采样点 PAHs 的组分与分布也有较大差异 (方差分析,  $F = 2.5, P = 0.042$ ), 说明兰州市降尘中 PAHs 的含量主要受采样点位置及周围环境的影响。

### 2.2 兰州市降尘中多环芳烃的源解析

多环芳烃在环境中的组成分布取决于降尘的来源和传输过程。在有机化合物的高温反应、石油及其衍生物的低温蒸发等过程中, 化石燃料和其他有机质的不完全燃烧产物是多环芳烃的最主要来源。通过特征 PAHs 组分的分析比较可对降尘中 PAHs 的主要来源进行判断。

燃煤过程中产生的 PAHs 具有 4~6 环芳烃含量多, 2~3 环芳烃含量少以及未取代多环芳烃多于带取代基多环芳烃等特征; 而来源于石油污染的 PAHs 分布特征则相反<sup>[13]</sup>。将兰州市降尘样品中不同环数的 PAHs 百分含量分布特征用三角图表示, 见图 3。

由图 3 可见, 城关区、安宁区和七里河区降尘中不同环数 PAHs 的分布相对一致, 说明 3 个区的

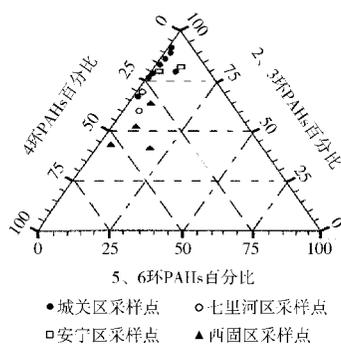


图 3 降尘中 PAHs 的成分关系

PAHs 的来源具有相似性。城关区、安宁区和七里河区降尘中含有较高 2~3 环 PAHs 同时带取代基的多环芳烃的普遍检出, 说明在采暖期刚结束后, 城关区、安宁区和七里河区降尘中 PAHs 主要来源于石油污染。在现实功能划分上, 这 3 个区主要以交通、商业居民混合为主, 因此这 3 个区降尘中 PAHs 的来源趋于一致。在西固区 4 个采样点中, 其中 3 个样点 (14<sup>#</sup>—16<sup>#</sup>) 不仅检出了 BaP, 而且还

有大量的 BaA、BbF、BkF、BghiP 和 NcdP, 这些 4~6 环芳烃含量的增加, 说明这个区 PAHs 主要来源于煤的不完全燃烧。

由于不同的燃烧源产生各特征化合物的比值均不相同, 通常以此来判断 PAHs 的来源。常用的特征化合物的比值有  $w(FLUA)/hw(PYR)$ 、 $w(ANT)/hw(PHE)$  和  $w(BbF)/hw(BkF)$ <sup>[13]</sup>。在兰州市的 16 个采样点中, ANT 的含量均低于检测限; 由于实验条件的限制, BbF、BkF 在实验中无法分开; 采用  $w(FLUA)/hw(PYR)$  并结合 PAHs 的环数分布及特征化合物对 PAHs 的源进行初步解析。Lee 等<sup>[14]</sup>提出用  $w(FLUA)/hw(PYR)$  判识 PAHs 污染物来源: 比值为 1.4 时, PAHs 主要来源于燃煤; 比值为 1 时, 主要来源于木材燃烧; 而比值 < 1 时, PAHs 的主要来源是石油。同时, 傅家谟等<sup>[15]</sup>认为, 燃煤为主的 PAHs 其  $w(FLUA)/hw(PYR)$  也可以大于 1.5。各降尘采样点  $w(FLUA)/hw(PYR)$  见表 3。

表 3 各降尘采样点 FLUA/PYR 比值

PAHs	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>	6 <sup>#</sup>	7 <sup>#</sup>	8 <sup>#</sup>	9 <sup>#</sup>	10 <sup>#</sup>	11 <sup>#</sup>	12 <sup>#</sup>	13 <sup>#</sup>	14 <sup>#</sup>	15 <sup>#</sup>	16 <sup>#</sup>
$w(蒽)/hw(芘)$	0.66	0.9	0.75	0.67	0.98	0.83	0.81	0.75	0.62	0.88	0.96	1.19	0.96	0.92	0.91	0.88

由表 3 可见, 兰州市各样点降尘样品中的  $w(FLUA)/hw(PYR)$  均小于 1.0 说明兰州市大气降尘中 PAHs 主要来源于燃油, 这与上面通过分析特征 PAHs 组分来判别 PAHs 来源的结果相一致。同时有研究表明: 燃油过程及燃煤过程中产生的特征化合物在分子质量上具有较大差别。燃油过程中产生的分子质量为 178 的占优势, 而燃煤过程产生的中分子质量为 202 和 252 的占优势<sup>[16-17]</sup>。在兰州市所有采样点, 降尘中分子质量为 178 的 PAHs 占优势, 同时还有少量的分子质量为 202 的 PAHs 这说明采暖期过后兰州市大气降尘中 PAHs 的主要来源是燃油, 同时还有少量的燃煤。

### 2.3 PAHs 污染的生态风险评价

目前对大气沉降尘中有机污染物潜在生态风险评价的研究还很少, 一般而言, 低分子质量 (2~3 环) PAHs 可呈现显著的急性毒性, 而某些高分子质量的 PAHs 则具有潜在的致癌性<sup>[18]</sup>。参照海洋

与河口沉积物中有机污染物的潜在生态风险效应分析评价方法, 选择兰州市城关区为研究对象, 对降尘中 PAHs 的潜在生态风险作一尝试性评价。

在对海洋与河口沉积物中有机污染物的潜在生态风险效应分析评价过程中, 有机污染物的潜在生态风险效应区间通常划分为效应区间低值 (effect range low, ERL, 生物有害效应几率 < 10%) 和效应区间中值 (effect range median, ERM, 生物有害效应几率 > 50%), 两者又被视为沉积物质量的生态风险标志水平 (guidelines)<sup>[19]</sup>。借助 ERL 和 ERM, 可对有机污染物的生态风险效应进行评估: 若污染物浓度 < ERL, 则极少会产生负面生态效应; 若污染物浓度在两者之间, 则偶尔发生负面生态效应; 若污染物浓度 > ERM, 则经常会出现负面生态效应。将兰州市城关区样点降尘中 9 种 PAHs 与相应的沉积物生态风险标志水平进行比较结果见表 4。

表 4 城关区各站点降尘中 PAHs 含量及其警戒水平<sup>①</sup>

ng/g

PAHs	ERL <sup>②</sup>	ERM <sup>③</sup>	PAHs							
			1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>	6 <sup>#</sup>	7 <sup>#</sup>	8 <sup>#</sup>
NAP	160	2 100	1 310 <sup>†</sup>	407 <sup>*</sup>	2 562 <sup>**</sup>	5 906 <sup>**</sup>	1 768 <sup>†</sup>	105	708 <sup>†</sup>	1 564 <sup>†</sup>
FLU	19	540	1 220 <sup>*</sup>	153 <sup>†</sup>	653 <sup>**</sup>	1 401 <sup>**</sup>	558 <sup>*</sup>	104 <sup>†</sup>	406 <sup>†</sup>	700 <sup>**</sup>
HHE	240	1 500	4 070 <sup>**</sup>	606 <sup>*</sup>	2 019 <sup>**</sup>	3 065 <sup>**</sup>	1 547 <sup>**</sup>	603 <sup>*</sup>	2 062 <sup>**</sup>	2 056 <sup>**</sup>
FLUA	600	5 100	1 876	165	449	266	345	145	910 <sup>†</sup>	555
PYR	665	2 600	602	70	208	108	142	60	409	207
CHR	384	2 800	38	18	17	11	10	9	30	24
BaA	261	1 600	115	23	39	26	26	10	125	44
BaP	430	1 600	—	—	24	—	—	—	61	—
Σ PAHs	4 022	44 792	9 230	1 442	5 971	10 703	4 396	1 036	4 711	5 150

① \* 代表超出相应的生态效应警戒水平, \*\* 代表超出相应的效应区间中值; ②潜在生态风险的效应区间低值; ③潜在生态风险的效应区间中值。

由表 4 可见, 城关区各样点均存在某种 PAHs 含量超出相应质量警戒水平, 说明城关区大气受 PAHs 的污染严重。在城关区所有样点中, 2<sup>#</sup> 和 6<sup>#</sup> 样点中 PAHs 含量处于 ERL 和 ERM 之间或低于 ERL, 对周围生态环境可能会产生轻微的负面影响, 属于生态低风险区; 而其余各点 (1<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>—5<sup>#</sup>、8<sup>#</sup>) 均有 PAHs 含量超出 ERM, 而且菲、荧蒹等含量均严重超出相应质量警戒水平, 可能经常会对周围的生态环境产生负面影响, 属于生态高风险区。

### 3 结论

(1) 兰州市降尘中 PAHs 的分布及含量主要受样点位置及周围环境的影响, 一定程度上反映了各功能区的差异性。城关区、安宁区、七里河区在城市发展中都以交通和商业居民混合区为主; 而西固区以石油冶炼为主。所有采样点降尘中 PAHs 种类的增加, 尤其是有毒 PAHs 增加, 使危害更加严重。

(2) 源解析结果表明, 在采暖期刚结束后, 兰州市降尘中的 PAHs 主要来源于燃油, 同时有少量的燃煤贡献。

(3) 兰州市城关区各站点都有 PAHs 浓度超出相应质量警戒水平, 属高生态风险区。

#### [参考文献]

- [ 1 ] DJSEH S. Review of the estrogenic and antiestrogenic activity of polycyclic aromatic hydrocarbons Relationship to carcinogenicity [ J ]. *Chemosphere*, 1997, 34(4): 835-848.
- [ 2 ] FANG G C, CHANG K F, TAPPER N J et al Estimation of PAHs dry deposition and BaP toxic equivalency factors (TEFs) study at urban, industry park and rural sampling sites in central Taiwan, Taichung [ J ]. *Chemosphere*, 2004(55): 787-796

- [ 3 ] 王静, 朱利中. 交通干线空气中多环芳烃的干、湿沉降 [ J ]. *中国环境科学*, 2005, 25(4): 471-474
- [ 4 ] 张祥志, 赵永刚, 章勇, 等. 江苏省不同典型生态示范区土壤中多环芳烃污染调查 [ J ]. *环境监测管理与技术*, 2008, 20(1): 18-21.
- [ 5 ] MAIB X, QISH, ZENG E Y, et al Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal region of Macao, China: assessment of input sources and transport pathways using compositional analysis [ J ]. *Environ Sci Technol*, 2003, 37(21): 4855-4863.
- [ 6 ] WU Y, ZHANG J, ZHU Z J. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Yalujiang Estuary, North China [ J ]. *Mar Pollut Bull*, 2003, 46(5): 619-625.
- [ 7 ] 邓祖琴, 张成君, 胡铁鑫. 兰州市大气降尘中的多环芳烃特征及其与地形和气候因素之间的关系 [ J ]. *干旱区资源与环境*, 2004, 18(8): 49-51.
- [ 8 ] 吴水平, 兰天, 左谦, 等. 天津地区一些降尘中多环芳烃的含量与分布 [ J ]. *环境科学学报*, 2004, 24(6): 1066-1073.
- [ 9 ] 曾凡刚, 彭林, 李剑, 等. 兰州市大气总悬浮颗粒物中有机污染物分布特征及来源 [ J ]. *岩矿测试*, 2002, 21(2): 125-128.
- [ 10 ] 孙韧, 朱坦. 天津局部大气颗粒物上多环芳烃分布状态 [ J ]. *环境科学研究*, 2001, 13(4): 14-17.
- [ 11 ] CARBON B, BLANCHOU D H, MOTEIAY M A, et al Atmospheric bulk deposition of PAHs on to France: trends from urban to remote sites [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2002, 36(34): 5395-5403.
- [ 12 ] International agency for research on cancer (IARC). Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans [ M ]. France: Lyon, 1991: 43-53.
- [ 13 ] 汤根土, 盛国英, 傅家谟, 等. 有机污染源标志物的探讨及其研究意义 [ J ]. *中国环境科学*, 1996, 16(3): 223-227.
- [ 14 ] LEE L M, VASSILAROS L M, DOUGLAS R W L. Capillary column gas chromatography of environmental polycyclic aromatic

(下转第 32 页)

续表

样品	加标值 $\rho / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		回收率 $\%$				平均回收率 $\%$	RSD $\%$
橘肉	0.100	80.8	81.4	84.3	86.0	82.1	82.9	1.8
	0.500	83.3	80.1	96.3	85.3	84.7	85.9	4.1
	4.00	87.2	91.4	103	91.7	85.8	91.8	4.5
橘皮	0.100	85.3	81.7	84.6	85.2	83.3	84.0	1.1
	0.500	81.3	85.6	89.4	98.3	86.1	88.1	4.5
	4.00	101	95.4	86.2	91.3	90.2	92.8	4.4

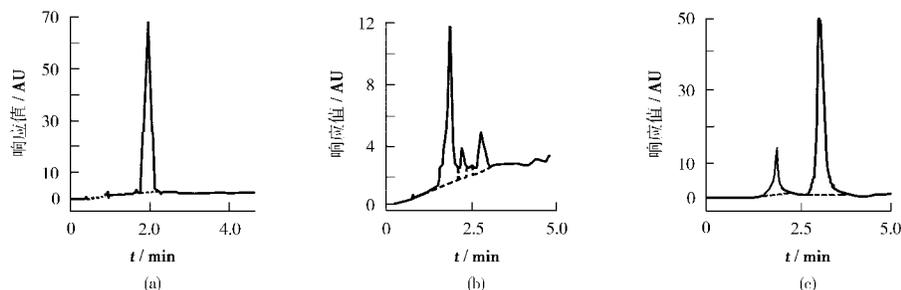


图 2 乙撑硫脲标样、空白样、加标样高效液相色谱谱峰

### 3 结论

采用高效液相色谱法测定柑橘果皮、果肉及橘园土壤中的乙撑硫脲残留,方法简便快速,精密性与准确度均符合要求,可用于其他水果、蔬菜的农药残留及环境检测。

#### [参考文献]

- [1] 杨仁斌, 郭正元, 刘毅华, 等. 速霸螨水乳剂在柑橘及土壤中的残留动态研究 [J]. 农药学报, 2004(6): 58-62
- [2] 丁夏萍, 王万友, 许梅. 农药代森锰锌中杂质 ETU 的高效液相色谱分析 [J]. 农药分析, 2007(2): 32-33.
- [3] APREA G, BETTA A, CATENACCIG, et al. Urinary excretion

of ethylene thiourea in five volunteers on a controlled diet (multicentric study) [J]. Sci Total Environ 1997(203): 167-179

- [4] NEBBIA C, FINK-GREMELS J. Acute effects of low doses of zinc and ethylene thiourea in the male rat [J]. Bull Environ Contam Toxicol 1996(56): 847-852
- [5] 任铁真, 岳永德. 乙撑硫脲的降解和残留分析研究 [J]. 安徽农业大学学报, 2001, 28(3): 242-245.
- [6] 樊德方. 农药残留量分析与检测 [M]. 上海: 上海科技出版社, 1982: 18-20
- [7] 曹爱华, 徐光军, 李义强, 等. 代森锰锌在烟草中的残留分析 [J]. 烟草科技, 2005(7): 24-26
- [8] 陆梅, 丁长春. 高效液相色谱法测定水中 4 种酰胺类除草剂 [J]. 环境监测管理与技术, 2007, 19(3): 35-36.

(上接第 24 页)

- compounds [J]. Inter J Environ Anal Chem, 1983 11(4): 251-262
- [15] 傅家谟, 盛国英, 成玉, 等. 粤港澳地区大气环境中有机污染物特征与污染源追踪的初步研究 [J]. 气候与环境研究, 1997 2(1): 16-22
- [16] 张枝焕, 陶澍, 叶必雄, 等. 土壤和沉积物中烃类污染物的主要来源与识别标志 [J]. 土壤通报, 2004 35(6): 793-798
- [17] PEROLA C V, DAVI Z, MARIA A F P, et al. Measurements of polycyclic aromatic hydrocarbons in airborne particles from

the metropolitan area of São Paulo City, Brazil [J]. Atmospheric Environment 2003(37): 3009-3018

- [18] WITT G. Polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediment of the Baltic Sea [J]. Mar Pollut Bull 1995 31(4-12): 237-248
- [19] LONG E R, MACDONALD D D, SMITH S L, et al. Incidence of adverse biological effects with ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments [J]. Environ Manage, 1995, 19(1): 81-97