

色谱法在我国环境监测领域中的应用

张莘民

(江苏省泰州市环境保护监测站, 225300)

一、概述

1903年自Tswett⁽¹⁾开创色谱法以来, Tames和Martin⁽²⁾、Kirkland⁽³⁾和Small⁽⁴⁾相继报道了气相色谱法(GC)、高效液相色谱法(HPLC)和离子色谱法(IC)。在已知大约存在300万种以上的化合物中, 适于气相色谱有效地进行分析的挥发性、热稳定的化合物占20%左右, 而高效液相色谱可分析挥发性低、易受热分解、离子型或大分子(分子量大于300以上)的化合物约占80%左右。当前气相色谱和高效液相色谱在分离速度、柱效、检出灵敏度和自动化等方面都达到相互媲美的程度。离子色谱法可同时测定多种阴离子、阳离子和有机阴离子优于电化学法和原子吸收法。六十年代以来, 由于色谱法广泛用于大气、水质、土壤、生物、食品等方面的监测, 因而色谱法在环境监测分析中已占有主导地位。本文主要介绍色谱法在我国环境监测中取得许多重要成果, 对国外一些有关重要文献, 也适当引用。

二、在环境监测中的应用

(一)在大气、降水、废气等监测中的应用

1. 气相色谱法 美国公共卫生协会(APHA)⁽⁵⁾规定以GC法作为下列大气或废气中污染物的分析方法(或试行方法): 烃类、总烃、甲烷、酚类、一氧化碳、氧气、氮气、二氧化碳、硫化氢、二氧化硫、甲硫醇、甲硫醚、芳族胺、双氯甲醚、对硫磷、低分子脂族醛、过氧乙酰硝酸酯(PAN)、多环芳烃(PAH)和苯甲酸等。

八十年代初, 我国采用GC法分析大气中一氧化碳、总烃、非甲烷烃和三氯乙醛⁽⁶⁾以及可同时测定废气中的苯等10种有机化合物⁽⁷⁾。1990年版《空气和废气监测分析方法》⁽⁸⁾将GC法列为下列化合物的分析方法, 即: 空气中一氧化碳、二硫化碳、总烃及非甲烷烃, 芳香烃(苯系物等)、苯乙烯、甲醇、低分子量醛、丙酮、酚类化合物、硝基苯、吡啶、丙烯腈、氯乙烯、氯丁二烯、环氧氯丙烷、甲基对硫磷、胂、偏二甲基胂和废气中苯系物, 有机硫化物(硫醇、硫醚)等(包括试行或推荐方法), 共列入20个分析方法, GC法在空气中有机污染物分析方法中占72.7%。从而标志着从

1990年开始GC法在我国空气监测污染物的方法中占有重要地位。

2. 高效液相色谱法 美国APHA⁽⁵⁾确定HPLC法用于测定大气颗粒物中75种芳香族碳氢化合物, 其中有29种多环芳烃, 13种茈及同系物、衍生物, 11种环状碳氢化合物多氯衍生物, 12种吡啶、吡啶及芳香醛。我国将HPLC法作为空气中苯并(a)芘的测定方法(推荐法)⁽⁹⁾。

3. 离子色谱法 美国环保局(EPA)规定IC法为干湿沉降物中 Cl^- 、 PO_4^{3-} 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等离子的标准分析方法⁽⁹⁾。我国用IC法作为空气中硫酸盐化速率、氯化氢和降水中 SO_4^{2-} 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 F^- 的监测分析方法以及废气中氯化氢、甲醛、硫酸雾的分析方法⁽⁹⁾。

色谱法在大气、降水、废气、民用生活中乃至至于外层空间的监测取得了重要的成果(见表1)。表1表明, 在飘尘中主要检出多环芳烃(PAH)、硝基多环芳烃、正构烷烃等有机物; 大气中主要检出碳氢化合物、苯系物和有机硫化物等; 在废气和民用生活中主要检出碳氢化合物, 芳香族的烃、醇、醛、酮、酸和PAH、氯代二苯并二噁英、氯代二苯并呋喃(PCDD、PCDF)等; 降水中检出一些阴离子、阳离子及 SO_2 、 NO_2 、有机酸等化合物。

表1指出, 使用双机联用(如GC/MS、GC/FTIR)、多维色谱技术(多柱)和多机组合(如GC、GC/MS、HPLC)等技术可从环境样品中获得丰富的信息, 正如Shuetzle从柴油机烟尘中分离测定150多种的PAH及其衍生物, 徐晓白则检测了50多种硝基多环芳烃。使用GC/FTIR联用检出汽油中添加剂甲基叔丁醚(MTBE)等12种氧化产物。

(二)在水质监测中的应用

1979年美国EPA公布了水中129种优先检测的污染物⁽¹⁰⁾, 其中的114种有机污染物推荐使用GC或GC/MS法进行定性和定量分析。1989年我国确定了“中国环境优先监测污染物黑名单”, 共68种有毒污染物⁽¹¹⁾, 其中有58种有机污染物, 显然色谱法占有主导地位。

1. 气相色谱法 我国将GC法定为水中六六六、

DDT 的分析方法和标准分析方法^[6,12]。1989 年规定 GC 法为水中硒、苯系物、挥发性卤代烃、氯苯类、六六六、DDT、有机磷农药、有机磷农药总量(试行)、三氯乙醛(试行)和硝基苯类等污染物的分析方法^[13]。最近又将测定水中的苯系物列为标准法^[14]。

2. 高效液相色谱法 美国 EPA 采用 HPLC 法检测饮用水中 15 种 PAH^[15]和涕灭威、虫螨威等 18 种农药及其代谢产物^[16],又用于排水中联苯胺、3,3-二氯联苯胺和 16 种 PAH 的分析^[17]。近来我国首次将 HPLC 法列为水中 16 种 PAH 的监测分析方法^[13]。

3. 离子色谱法 美国 APHA^[18]以 IC 法定为水中 Br⁻、Cl⁻、F⁻、SO₃²⁻、SO₄²⁻、NO₂⁻、NO₃⁻ 的标准检验法。我国则将 IC 法作为水中 NO₂⁻、NO₃⁻、Cl⁻、F⁻、SO₄²⁻、磷等试行分析方法^[13]。

色谱法在水质监测中取得的重要成果见表 2。在地下水和地表水中主要检出苯系物、酚类、烷、醇、酯、有机酸、有机氯、杂环和 PAH 等,在水质调查中有机污染物均在 100 多个以上。废水中检出了酚类、多氯联苯(PCB)、苯系物、有机酸、PAH、杂环等数百种有机污染物。

表 2 又指出,双机联用、多机组合和多维技术的组合,可卓有成效地分离测定水和废水中数百种有机污染物。其中系统分析法已普遍引起人们的兴趣,如 Coleman 利用反渗透富集法富集水中有机物,富集物经乙醚萃取后,用萃取和柱色谱的方法,将有机物分为五组和七个子组,用毛细管色谱完成了 700 多种化合物的分离,并对其中 460 种进行了鉴定。我国在长江水(江阴段)、太湖水、京津地下水、煤气化废水等调查中,也采用了系统分析方法,一般通过调节不同的 pH 和不同的溶剂萃取进行分组,地表水和地下水中检出 100 多种有机污染物,煤气化废水中检出了 300 多种有机污染物。

Resolt 等使用一根 SE-54 熔融石英毛细管柱(FSOT),可同时对美国 EPA 公布的 114 种优先检测的有机污染物进行分离测定,试图建立一种标准化的检测方法(表 2 中第 10)。

(三)在土壤、底质、食品、生物等监测中的应用

我国已将 GC 法分析土壤、植物、底质中的六六六、DDT 有机氯农药列入监测分析方法^[6,13]。

表 3 表达了色谱法在土壤、底质、食品和生物等监测成果。土壤和底泥中主要检出有机氯化物、农药、杂环和 PAH 等化合物。从古老沉积岩和油页岩中主要检出氨基酸和脂肪酸、芳香族脂肪酸。Repley 使用一根 SE-30 毛细管色谱对 194 种农药的保留值进行测定。楼小华用毛细管色谱和三个检测器(FPD、

ECD、NPD)测定了 59 种(66 个组分)农药及其代谢物。

表 3 又指出,黄骏雄使用 HPLC 法成功地分离测定粮油中的黄曲霉毒素(AFT)的四种异构体(B₁、B₂、G₁、G₂),赵振华测定了人尿中的 BaP、BkF、芘,从而为生物监测指标提供了依据。

在农药残留量的分析中,GC 法较之 HPLC 法仍占优势,而 HPLC 在分析甲氧滴滴涕、三氯杀螨醇、多氯联苯(PCB)时,由于干扰少,不易吸附和热分解而明显地优于 GC 法。

三、展望

综上所述,由于色谱技术取得惊人的进展,色谱法不仅在环境监测中获得了许多重要成果,而且在环境监测分析中占有主导地位。具有如下几个特点:

(一)人们采用色谱系统分析法可实行对同一物质中多组分未知的有机污染物进行定性、定量分析。

(二)试图建立一种标准化的物种色谱分析法。

(三)在应用系统分析法的基础上,采用双机、多机联用技术,多种色谱技术组合和多维色谱技术,可进一步提高检测的灵敏度、选择性、分辨力和获得丰富的信息,还扩大了检测范围。

(四)超临界流体色谱是近年来发展较为迅速的色谱技术,其特点兼有 GC 和 HPLC 的长处,可以填补 GC 和 HPLC 之间的空隙。

(五)研制和开发自动化、微型、连续监测的色谱已成为发展方向之一。其特点为便于携带,可现场测定(自动采样和分析),对于外层空间的监测尤有必要

(六)色谱的智能化开发是色谱技术发展的又一个重要方向,利用先进的计算机用以解决两个技术关键:选择最佳色谱条件和色谱定性。尽可能获得更丰富的信息,还极大地提高了工作效率。

参考文献

- [1] M. Tswett, Ber. deut. botan. Cas., 24, 316, 318 (1906).
- [2] A. T. James, A. J. P. Martin, Analyst, 77, 915 (1952).
- [3] J. J. Kirkland, J. Chromatog. Sci., 9, 206 (1971).
- [4] H. Small et al., Anal. Chem., 47, 1801 (1975).
- [5] 钱引林主译,《空气采样与分析方法》,人民卫生出版社,北京,758—764 页,1982. APHA, Methods of Air Sampling and Analysis, 2nd Edition, 1977.
- [6] 城乡建设环保部环保局编,《环境监测分析方法》,城乡建设环保部环保局,北京,210,246,335,371 页,1983.
- [7] 《污染源统一监测分析方法(废气部分)》,中国标准出版社,北京,66—68 页,1982.
- [8] 国家环保局,《空气和废气监测分析方法》,环境科学出版社,118,137,174,300,307,311,398,411 等页,1990.

表1 色谱法在大气、降水、废气等监测中的应用

序号	研究对象	仪器	污染物种类	文献*
1	飘尘(北京)	GC/MS,SE-30 FSOT	鉴定 126 种 PAH	康致泉Ⅷ,第四次,1983
2	飘尘(太原)	GC/MS,Dexsil-300 FSOT	鉴定 100 种 PAH,测定 21 种正构烷烃	章安安,Ⅳ,4(5),21,1985
3	飘尘(兰州)	GC,玻璃毛细柱	鉴定 84 种 PAH,其它有机物 81 种	田裘学,Ⅰ,5(2),201,1985
4	飘尘(北九州)	GC,GC/MS,OV-101 玻璃毛细柱	测定 31 种 PAH 等	田畑哲一,Ⅺ,13(2),1978
5	大气(燕山)	GC/MS,OV-101 FSOT	100 多种碳氢化合物,鉴定其中 45 种	杨红,Ⅳ,6(5),39,1987
6	大气	GC,填充柱	7 种有机硫化物	杨焕楣,Ⅰ,7(1),63,1987 杨光壁,Ⅴ,4(3),109,1988
7	大气、废气	GC,填充柱	苯系物、丙酮等 11 种化合物	姚认宇等,Ⅴ,4(3),47,50,1988
8	炼胶烟气	GC/MS,GC,填充柱	46 种烷、烯烃、芳香烃等	胡振元,Ⅲ,4(5),41,1983
9	石蜡尾气	GC/MS,GC,填充柱	27 种醇、醛、酸、酮、酯等	焦玉英,Ⅳ,4(1),13,1985
10	煤焦油	GC/MS,GC,OV-101、DB-5FSOT	65 种酚类,85 种 PAH	王西奎,Ⅳ,8(4),(1989);9(2),1990
11	石脑油	GC,GC/MS,非极性石英毛细柱	123 种烷烃,环烷烃和芳香烃	修正佳,Ⅵ,9(3),191,1991
12	垃圾焚烧灰	GC/MS,DB-5 FSOT	PCDD,PCDF	康君行,Ⅲ,9(3),2,1988
13	香烟烟油	GC,OV-101 WCOT,SE-50 FSOT	PAH,苯并芘(a)	王德春Ⅸ,1983
14	香烟烟雾	GC,GC/MS,HPLC,Dexsil-300 毛细柱	500 多种 PAH	R. F. Severson,Ⅺ,1,253,1976
	香烟烟雾	GC,GC/MS,MPPS 玻璃毛细柱	鉴定 42 种 PAH,其中可定量 21 种	吴仁铭,Ⅵ,7(1),51,1989
15	蚊香烟雾	GC/MS,GC,SE-52 FSOT	139 种化合物,鉴定了其中的 46 种	刘秀芬,Ⅳ,8(1),74,1989
16	香烟烟气	GC/FTIR,PEG 玻璃毛细柱	鉴定了烯、醛、酮等 18 种化合物	周文敏,Ⅰ,5(4),16,1985
17	汽油氧化产物	GC/FTIR	添加剂 MTBE 等 12 种组分	美国惠普公司,1990
18	外层空间	GC,GC/MS	月球岩样,木星、金星大气化学组成	高峰,Ⅵ,4(1-2),37,1986
19	飘尘	HPLC,紫外、荧光检测器	16 种 PAH	郭家珍,Ⅴ,4(3),55,1988
20	柴油机排出物	HPLC,HRGC/MS	50 多种硝基多环芳烃	徐晓白,Ⅹ,第九次,1982
21	柴油机烟尘	HPLC,GC/MS,HRMS	150 多种 PAH 及其衍生物	D. Schuetzle,9(2),93,1981
22	煤、煤油、柴油	HPLC,荧光检测器	17 种 PAH	姚清溪,Ⅳ,2(2),22,1983
23	大气	HPLC,紫外、荧光检测器	甲醛,甲酸	王玉平,Ⅴ,4(3),66,1988
24	沥青烟道颗粒	HPLC	BaP	赵炳成,Ⅴ,4(3),52,1988
25	大气	HPLC	苯胺	吴礼康,Ⅵ,7(3),163,1989
26	降水	HPLC,紫外检测器	五氯苯酚	尚素芬,Ⅵ,6(6),365,1988
27	原油	HPLC,荧光检测器	芳烃	姜嘉敏,Ⅵ,8(5),297,1990
28	降水	IC	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , F ⁻ , Cl ⁻ , NH ₄ ⁺ , Na ⁺	赵殿五,Ⅲ,2(2),50,1980
29	降水	IC	Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Sr ²⁺ , Ba ²⁺	牟世芬,Ⅳ,2(2),55,1983
30	降水	IC,电导检测器	甲酸等 6 种有机酸	叶汝求,Ⅳ,6(6),36,1987
31	降水	IC,电导检测器	SO ₂ ,NO ₂ ,甲醛	牟世芬,Ⅳ,3(3),46,1984;4(3),30,1985
32	大气	IC,电导检测器	SO ₂ (碱片法),甲醛	单娜娜,Ⅴ,4(3),17,1988
33	气溶胶	IC,电导检测器	硫酸酸雾	魏海萍,Ⅴ,4(3),15,1988
34	气溶胶	IC	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , NH ₄ ⁺ , F ⁻ , Cl ⁻	张涛,Ⅳ,7(1),40,1988

* 文献栏中罗马数字代表如下刊物:Ⅰ. 中国环境科学, Ⅱ. 环境科学学报, Ⅲ. 环境科学, Ⅳ. 环境化学, Ⅴ. 中国环境监测, Ⅵ. 色谱, Ⅶ. 环境科学文摘, Ⅷ. 全国色谱学术报告会文集, Ⅸ. 中日分析化学双边讨论会, Ⅹ. 国际质谱会议, Ⅺ. 大气污染化学志(日), Ⅻ. Carcinogenesis-A Comprehensive Survey, Ⅼ. International J. Environ. Anal. Chem.

表 2 色谱法在水质监测中的应用

序号	研究对象	仪 器	污染物种类	文 献*
1	长江水(江阴段)	GC, HPLC, GC/MS, DB-5 FSOT	154 种酚类、胺类、有机酸等	包志成, IV, 9(4), 1, 1990
2	沱江水	GC, GC/MS, SE-54, Dexsil-300 FSOT	173 种有机物	杨友明, I, 5(5), 19, 1985
3	第二松花江水	GC, GC/MS, OV-17 金属毛细柱	317 种有机物	贺尊诗, IV, 5(1), 12, 1986
4	太湖水	GC, DB-5, DB-1701 FSOT	100 多种烷、醇、酯、酚等	焦玉英, III, 9(1), 86, 1988
5	京津地下水	GC, SE-30, SE-54 FSOT	130 多种有机氯、PAH、杂环等	魏爱雪, I, 6(3), 293, 1986
6	煤气化废水	GC, GC/MS, HPLC, SE-30 FSOT OV-101 玻璃毛细柱	300 多种有机污染物和无机污染物	王菊思, IV, 5(5), 43, 1986
7	炼油废水	GC/MS, GC/FTIR, PEG-FSOT	30 多种苯系物、酚类等	冯惠华, V, 2(1), 17, 1986
8	水、底泥	GC/MS, SE-30, SE-50 FSOT	106 种 PAH、石油类、硝基苯等	戴树桂, I, 7(1), 49, 1987
9	饮用水	GC, GC/MS, SE-30, SP-1000 玻璃毛细柱	检出 700 多种化合物, 鉴定了其中的 460 种	W. E. Coleman, K 14, 576, 1980
10	水	GC/MS, SE-54 FSOT	EPA 公布的 114 种优先检测有机物	X, 4, 156, 1981
11	水、废水	HPLC, 紫外、荧光检测器	13, 14 种 PAH	涂洁莹等, V, 3(1), 131, 158, 1987
12	废水	HPLC, 荧光检测器	直链烷基磺酸钠(LAS)	周镜心, IV, 5(4), 58, 1986
13	废水	HPLC, 紫外检测器	多氯联苯(PCBs)	孙维相, IV, 3(1), 22, 1984
14	煤焦油	LC, GC, GC/MS, DB-5, OV-101, SE-30 FSOT	鉴定 12 大类 400 余种化合物, 对其中脂肪烃、PAH、NPAH、酚类定量	王西奎, I, 9(4), 461, 1989
15	废水	HPLC, 紫外检测器	测定 7 种酚类	赵泽民, V, 6(4), 18, 1990
16	废水	HPLC, 可见-紫外检测器	17 种有机酸	日本岛津制作所, 1990
17	废水	HPLC	苯胺, 苯并噻唑	周慕君, III, 5(6), 43, 1984
18	水、废水	HPLC, 荧光检测器	15 种 PAH	K. Ogan, XI, 51(8), 1979
19	水、废水	HPLC 紫外检测器	10 多种氮杂环化合物	H. Colin, XI, 53(4), 625, 1981
20	水	HPLC/GC	除莠剂, Atrazine	李章万, VI, 8(3), 175, 1990
21	碳黑	HPLC, DAD 光电二极管检测器	9 种硝基多环芳烃	金相亮, IV, 7(1), 30, 1988
22	高碑店污水系统	GC, GC/MS, LSC	鉴定了 180 种有机物	许征帆, IV, 7(1), 70, 1988
23	水	HPLC, 紫外检测器	Cu ²⁺ , Co ²⁺ , Ni ²⁺ , Hg ²⁺ , 硒	汪桂斌, IV, 8(1), 52, 1989
24	海水	HPLC/AAS	20 多种金属元素	孙汉文译, VII, 3(5-6), 6, 1986
25	煤焦油	HPLC, 紫外检测器	16 种酚类	张铭金, VI, 7(5), 306, 1989
26	煤液化油	HPLC, 示差折光检测器	饱和烃, 1-4 环 PAH, 茚	于绍芬, VI, 6(1), 31, 1988
27	煤液化油	HPLC, 光声光谱检测器	氯-4-(二甲氨基)偶氮苯异构体	S. Oda, XI, 53, 471, 1981
28	生油提馏物	HPLC, 化学发光检测器	8 种 PAH	刘庆京, VI, 7(2), 92, 1989
29	水、废水	IC, 电导检测器	F ⁻ , Cl ⁻ , Br ⁻ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻	金关莲, V, 3(1), 101, 1987
30	水	IC	WO ₄ ²⁻ , MoO ₄ ²⁻	W. H. Picklin, XI, 15, 865, 1982
31	地表水	IC	F ⁻ , Cl ⁻ , Br ⁻ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻	吴国平, V, 3(1), 113, 1987
32	水、废水	IC, 电流检测器	CN ⁻ , S ²⁻	陈乐恬, IV, 4(2), 47, 1985
33	水	IC, 电导检测器	总磷、总氮	李联盟, V, 3(1), 116, 1987
34	水	IC, 电导检测器	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cu ²⁺ , Co ²⁺ , Ni ²⁺ , Fe ³⁺ , Zn ²⁺ , Co ²⁺ , Mn ²⁺ , Cd ²⁺ , Ca ²⁺ , Sr ²⁺	G. J. Sevenich, XI, 55, 12, (1983)
35	水	IC	Cr ⁶⁺ , Cr ³⁺ ; Zn ²⁺ , Cu ²⁺ , Pd ²⁺	五十嵐淑郎, VII, 32, 67, 1983
	水	GC/ECD, 填充柱	Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺	王顺荣, III, 2(5), 20-24, 1980
	天然水	GC/ECD, OV-101 WCOT	铍、铝、铬	王顺荣, I, 8(4), 446, 1988
	废水	IC, 电导检测器	As(V), As(III)	朱岩, IV, 9(3), 72, 1990

* 文献栏中罗马数字代表如下刊物: I. 中国环境科学, II. 环境科学学报, III. 环境科学, IV. 环境化学, V. 中国环境监测, VI. 色谱, VII. 分析化学译刊, VIII. 分析化学, IX. Environ. Sci. Tech., X. HRC&CC, XI. Anal. Chem., XII. Anal. Lett.

表3 色谱法在土壤、生物、食品等监测中的应用

序号	研究对象	仪器	污染物种类	文献*
1	土壤	GC/MS,OV-101 FSOT	30多种氯苯类、萘类、芘等	蒋可, I, 2(2), 85, 1982
2	土壤	GC,OV-101 WCOT	16种多氯联苯,六六六、DDT等	孙安强, III, 8(1), 84, 1987
3	底泥	GC/MS,DV-1 FSOT	25种氮杂环、多环芳烃等	孙恩惠, I, 5(2), 219, 1985
4	底泥	GC,OV-1,PEG-2000 FSOT	14种有机氯化物	周永武, VI, 8(4), 243, 1990
5	古老沉积岩	GC,OV-101 FSOT	16种氨基酸	王金权, VI, 7(4), 251, 1989
6	油页岩	GC, GC/FTIR, Dexsil-300 FSOT	鉴定46种脂肪酸、芳香族羧酸	柳庸行, VI, 5(6), 384, 1987
7	污泥	GC,GC/MS,HPLC,填充柱	分离42个色谱峰,鉴定24种PAH	G. Grimmer, K, 289, 91, 1978
8	土壤	GC,SE-30 FSOT	194种农药	B. D. Repley, VII, 66(5), 1084, 1983
9	土壤、植物等	GC/FPD, ECD, NPD, OV-101 FSOT	59种(66个组分)农药、杀虫剂	楼小华, IV, 8(3), 39, 1989
10	土壤、植物等	GC,填充柱	19种有机氮、有机磷农药	黄士忠, I, 9(3), 234, 1989
11	土壤等	GC,填充柱	12种有机磷农药	王琴孙, VI, 5(3), 171, 1987
12	水、土壤等	GC,填充柱	12或13种有机磷农药	冯瑞娟, V, 3(1), 140, 江声铿, 3(1), 154, 1987
13	土壤	HPLC,紫外检测器	多氯联苯	张洪勋, III, 8(4), 66, 1987
14	土壤	HPLC,紫外检测器	7种PAH	谢重阁, VI, 4(3), 133, 1986
15	土壤等	HPLC,紫外检测器	166种农药	F. L. James, X, 159, 207, 1978
16	土壤	HPLC	20多种氨基甲酸酯类农药	C. M. Sparacino, XI, 14, 549, 1976
17	土壤	IC,电位电量法	Cu ²⁺ , Zn ²⁺ , Ni ²⁺ , Co ²⁺ , Cd ²⁺ ,	J. E. Girard, K, 51, 836, 1979
18	土壤	IC/AAS	5种砷化合物	G. R. Ricci, K, 53, 610, 1981
19	花生、玉米等	HPLC,紫外检测器	AFT(B ₁ , B ₂ , G ₁ , G ₂)	黄骏雄, III, (3), 18, 1979
20	鱼	HPLC	有机氯化物	孙维相, III, 5(1), 1, 1984
21	肉	IC	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻	Z. Iskandaran, K, 56, 2601, 1982
22	食品	IC	色素添加剂; Cl ⁻ , S ²⁻ , Br ⁻ , I ⁻ 等	D. D. Fratz, K, 63, 882, 1980
23	鱼	GC,DB-5 FSOT	PCDD, PCDF	康君行, I, 7(2), 212, 1987
24	大米	GC,填充柱	8种有机磷农药	张乔, III, 9(1), 47, 1987
25	粮食、饲料	GC,SE-54 FSOT	8种镰刀真菌毒素	罗毅, IV, 8(6), 27, 1989
26	粮食、饲料	GC,SE-54 FSOT	7种单端孢霉烯族真菌毒素	罗毅, IV, 9(3), 43, 1990
27	奶油	GC/MS	棕榈酸等7种有机酸	吴惠勤, 中国惠普, 1990
28	牛奶	GC,填充柱	3种脂肪酸	刘贤明, VI, 7(3), 177, 1989
29	饮料	IC,电导检测器	测定1-2元有机酸及无机离子	朱岩, VI, 8(1), 43, 1990
30	饮料、酱油	HPLC,紫外检测器	8种添加剂(防腐剂、甜味剂、色素)	周胜银, VI, 8(1), 54, 1990
31	人体脂肪	GC,填充柱	六六六、DDT	王阶标, VI, 3(1), 19, 1982
32	奶样	GC,填充柱	多氯联苯,有机氯农药	王庭栋, III, 4(3), 25, 1983
33	尿	HPLC,同步荧光检测器	BaP, BkF, 芘	赵振华, I, 8(2), 242; 8(4), 438, 1988
34	尿	GC,GC/MS,SE-54 FSOT	139个化合物中确定50多种,测定了18种有机酸	常理文, VI, 8(1), 12, 1990
35	血、尿	IC	丙酮酸盐,乳酸盐,香草吉仁酸	W. Rich, XI, 26, 1492, 1980

* 文献栏中罗马数字代表如下刊物: I. 中国环境科学, II. 环境科学学报, III. 环境科学, IV. 环境化学, V. 中国环境监测, VI. 色谱, VII. 环境科学丛刊, VIII. J. Assoc. Offic. Chem., K. Anal. Chem., X. J. Chromatogr. Sci., XI. J. Chromatogr., XII. Clin. Chem.

[9] Operation and Maintenance Manual for Precipitation Chemistry Measurement Systems et al., EPA/16001 4-82-042-atb, Contract No. 86-02-3262, Environmental Monitoring and Laboratory, EPA, Research Triangle Park, N. C., 1982.

[10] Federal Register, 44(233), 69464-69575(1979).

[11] 周文敏等, 中国环境监测, 6(4), 1(1990).

[12] 国家环保局, 《水质分析方法标准》, GB7466-7494-87, 中国标准出版社, 北京, 136-143页, 1987.

[13] 国家环保局, 《水和废水监测分析方法》, 第三版, 中国环境科学出版社, 北京, 1989.

二次分离组分的流出顺序是: G_{D1a} 、 $G_{D1a} + G_{D1b} + G_{T1b}$ 及 G_{T1b} 。

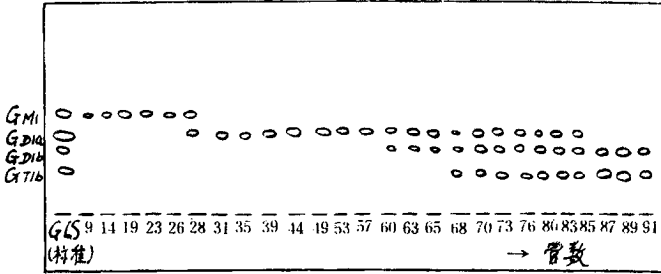


图1 混合 GLS 经过第一次硅胶柱分离后所得流分的 TLC 谱图(展开剂为 I)

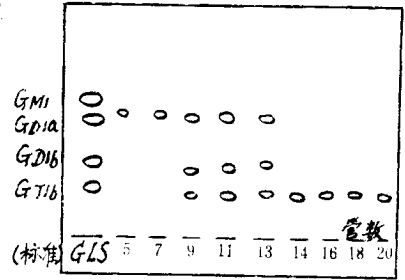


图2 66—92 管合并浓缩后经二次硅胶柱分离的 TLC 谱图(展开剂为 I)

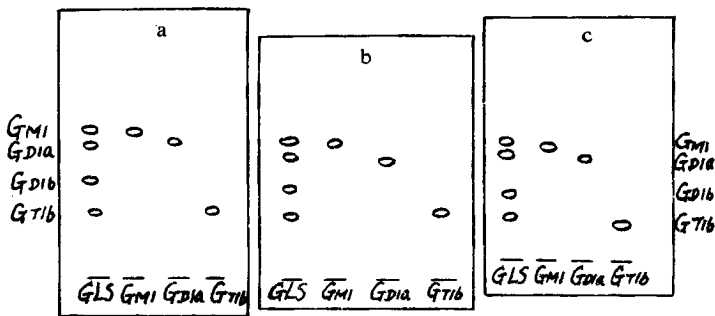


图3 单一组分在不同展开剂体系中的 TLC 分析谱图
a. 展开剂 I, b. 展开剂 II, c. 展开剂 III

为了检测所得到的 G_{M1} 、 G_{D1a} 、 G_{T1b} 组分的纯度, 我们采用 I、II、III 三种展开剂体系, 分别对单一的 GLS 与标准混合 GLS 对照进行 TLC 检测, 结果见图 3。图中证实了柱色谱分离得到的 G_{M1} 、 G_{D1a} 与 G_{T1b} 为纯品。

采用低压柱色谱分离制备单一的 GLS, 避免了冗长的脱盐透析步骤, 方法简单快速。同时由于色谱柱装填较紧密, 用低压输液泵可以加快淋洗速度, 因此优于常压柱色谱的分离。

参 考 文 献

[1] T. Momoi, S. Ando, Y. Nagai, *Biochem. Biophys. Acta*, 441, 448 (1976).
 [2] S. Ando, H. Waki, K. Kon et al., in *NATO ASI Series*, Vol. H7, Springer, Heidelberg, P. 167, 1987.

[3] 夏霞娟、崔肇春、顾天爵, *生物化学与生物物理进展*, 17 (5), 27 (1985).
 [4] Yoshio Hirabayashi et al., *J. Chromatogr.*, 445, 377 (1988).
 [5] L. Svennerholm, *Methods Carbohydr. Chem.*, 6, 466 (1972).
 [6] L. Svennerholm, *J. Lipid Res.*, 5, 145 (1964).

(收稿日期: 1990年8月30日)

Separation of Gangliosides by Low-Pressure Liquid Chromatography Guo Qing, Xu Guizun and Chang Liwen, *Institute of Chemistry, Academia Sinica, Beijing, 100080*

A low-pressure liquid chromatographic method for the preparative separation of gangliosides is described. It is convenient, inexpensive and simple. G_{M1} , G_{D1a} and G_{T1b} were separated on column of Iatrobeads silica gel, and identified by thin-layer chromatography.

(上接第 145 页)

[14] 国家环保局, 《水质词汇(第 3~7 部分)与分析方法》, GB11889-11915-89, 国家技术监督局, 北京, 5-11 页, 1990.
 [15] "Sampling and Analysis Procedures for Screening of Industrial Effluents for Priority Pollutants" U. S. EPA, Environment Monitoring and Support Laboratory, Cincinnati, Ohio April, 1977.

[16] R. Reding, *J. Chromatogr. Sci.*, 8, 334, 338 (1987).
 [17] 魏复盛等译, *环境监测资料* (3-4), 49, 106 页, 中国环境监测总站, 北京, 1986.
 [18] APHA et al., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 15th Edition, Washington D. C., 483, Method 249, 1985.

(收稿日期: 1990年5月10日)