

## 6 种有机溶剂萃取三氯甲烷效果的比较研究

李梦红<sup>1,2</sup>, 诸葛玉平<sup>2</sup>, 刘爱菊<sup>1</sup>, 刘家弟<sup>1</sup>, 尚贞晓<sup>1</sup>

(1. 山东理工大学资源与环境工程学院, 山东淄博 255049; 2. 山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018)

**摘要** [目的] 为工业废水中三氯甲烷的萃取与测定提供方法支持。[方法] 分别用石油醚、四氯化碳、二氯甲烷、二硫化碳、环己烷、苯萃取三氯甲烷, 并配制其三氯甲烷标准系列溶液, 进而确定三氯甲烷的最佳萃取方法。[结果] 6 种萃取剂和三氯甲烷之间的分离效果均较好, 采样时间 8 min 左右, 三氯甲烷的出峰时间为 5~6 min。6 种标准溶液的浓度与其三氯甲烷峰面积的相关系数分别为 0.999 6、0.999 2、0.987 6、0.977 8、0.999 0 和 0.995 3。6 种萃取液中三氯甲烷的平均含量分别为 0.89、0.86、0.75、0.75、0.85 和 0.82 mg/ml, 其变异系数分别为 1.29%、2.07%、4.29%、4.67%、2.46% 和 3.36%。6 种萃取液的回收率分别为 98.21%、90.26%、78.92%、75.63%、88.45% 和 83.52%。6 种萃取液的最低检出限分别为  $5.56 \times 10^{-3}$ 、 $1.84 \times 10^{-2}$ 、 $9.12 \times 10^{-2}$ 、 $9.58 \times 10^{-2}$ 、 $3.14 \times 10^{-2}$  和  $4.98 \times 10^{-2}$  mg/L。[结论] 石油醚的萃取效果最好, 二硫化碳的萃取效果最差。

**关键词** 液液萃取; 气相色谱法; 三氯甲烷; 萃取剂

**中图分类号** X592 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)24-11693-03

### Comparative Research on the Extraction Effect of 6 Organic Solvents on Trichloromethane

LI Meng-hong et al (College of Resources and Environment Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049)

**Abstract** [Objective] The aim was to provide methodological support for extracting and determining the trichloromethane in industrial waste water. [Method] The trichloromethane was extracted with petroleum ether, carbon tetrachloride, dichloromethane, carbon disulfide, cyclohexane and benzene resp. and its standard serial solutions were prepared so as to ascertain its optimum extraction method. [Result] The separation effects on trichloromethane from 6 extractants were better, the sampling time was about 8 min and the peak flowing out of trichloromethane was 5-6 min. The correlation coefficients between the concn. of 6 standard solutions and the peak area of trichloromethane were 0.999 6, 0.999 2, 0.987 6, 0.977 8, 0.999 0 and 0.995 3 resp. The average contents of trichloromethane in 6 extracts were 0.89, 0.86, 0.75, 0.75, 0.85 and 0.82 mg/ml and their variation coefficients were 1.29%, 2.07%, 4.29%, 4.67%, 2.46% and 3.36% resp. The recoveries of 6 extracts were 98.21%, 90.26%, 78.92%, 75.63%, 88.45% and 83.52% resp. and their lowest detection limits were  $5.56 \times 10^{-3}$ ,  $1.84 \times 10^{-2}$ ,  $9.12 \times 10^{-2}$ ,  $9.58 \times 10^{-2}$ ,  $3.14 \times 10^{-2}$  and  $4.98 \times 10^{-2}$  mg/L resp. [Conclusion] The extraction effect of petroleum ether was best and that of carbon disulfide was poorest.

**Key words** Liquid-liquid extraction; Gas chromatography; Trichloromethane; Extractant

三氯甲烷, 又名氯仿, 为无色透明液体, 常温下易挥发, 微溶于水, 易溶于乙醇、乙醚、石油醚等有机溶剂。一般三氯甲烷常作为萃取剂广泛用于重金属、盐类、医药和有机物的分析测试中, 如废水中酚类物质的测定常用 4-氨基安替比林-氯仿萃取光度法<sup>[1]</sup>, 水中微量铅的测定常用三氯甲烷萃取双硫脲目视比色法<sup>[2]</sup>。但国内对三氯甲烷萃取剂的研究较少, 笔者选取石油醚、四氯化碳、二氯甲烷、二硫化碳、环己烷、苯 6 种有机溶剂作为三氯甲烷的萃取剂, 采用液液萃取/气相色谱法进行测定。结果表明, 石油醚的萃取效果最好, 二硫化碳的萃取效果最差。该研究对于废水中三氯甲烷的测定具有相当大的参考价值。水中三氯甲烷的测定一般有 4 种方法, 即顶空气相色谱法<sup>[3-5]</sup>、吹扫捕集法<sup>[5]</sup>、直接进样法<sup>[6-7]</sup>以及液液萃取气相色谱法<sup>[8-9]</sup>。其中液液萃取气相色谱法的应用并不广泛, 原因之一就是三氯甲烷的萃取问题。笔者通过研究三氯甲烷的萃取剂, 为废水中三氯甲烷的测定提供技术方法, 同时还增加了三氯甲烷回收利用和萃取研究的选择方法, 具有一定的研究价值和应用前景。用该方法对淄博市周村某化工厂三氯甲烷车间的工业废水进行了萃取和测定, 方法的精密度和准确度均满足分析要求<sup>[2]</sup>。

### 1 材料与方法

#### 1.1 仪器与试剂

##### 1.1.1 主要仪器。气相色谱仪: 岛津 GC-14C 气相色谱仪

**基金项目** 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(03BS126); 山东省博士后科研择优资助项目(35910)。

**作者简介** 李梦红(1976-), 女, 山东淄博人, 硕士, 讲师, 从事环境监测及水处理方面的教学与科研工作。

**收稿日期** 2009-04-24

(带氢火焰离子化检测器, 配自动进样器和 N-3000 工作站); PTE-5 毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm); 1 000 ml 梨形分液漏斗, 100 ml 容量瓶。

**1.1.2 主要试剂。**三氯甲烷为色谱纯, 石油醚、四氯化碳、二硫化碳、二氯甲烷、环己烷、苯均为分析纯, 用全玻璃蒸馏器重蒸馏, 除去杂质后使用。

**1.2 标准溶液的配制** 分别取 1 ml 三氯甲烷于 6 个 100 ml 容量瓶中, 然后分别用石油醚、四氯化碳、二硫化碳、二氯甲烷、环己烷、苯 6 种萃取剂定容, 制成标准储备液, 则每毫升标准储备液含三氯甲烷 15 mg。然后准确移取 2、4、6、8、10 ml 的标准储备液于 30 个 100 ml 容量瓶中, 再分别用选取的 6 种萃取剂稀释至刻度, 则此三氯甲烷标准系列溶液的浓度分别为 0.3、0.6、0.9、1.2 和 1.5 mg/ml。

#### 1.3 色谱条件

**1.3.1 分析条件。**根据三氯甲烷和 6 种萃取剂的理化性质设定温度(表 1)。载气流量 45 ml/min, 载气(N<sub>2</sub>)流速 30 ml/s, 尾吹流量 40 ml/min, 恒温, 分流, 分流比 4:1, 进样量 1 μl, 采用面积外标法<sup>[10]</sup>。

**1.3.2 检测器的选择。**测定三氯甲烷通常用电子捕获检测器, 因为它对含卤元素具有高响应值, 且检出限较低, 但该试验是三氯甲烷的萃取研究, 三氯甲烷的含量不是很低。另外, 电子捕获检测器对该试验选用的有些萃取剂几乎不响应, 而氢火焰检测器对几乎所有的有机物都产生响应, 且灵敏度高。因此选用氢火焰检测器完全符合该试验的分析要求<sup>[11]</sup>。

表 1 使用 6 种萃取剂测定三氯甲烷的温度设定

Table 1 Temperatures setting of GC with six extraction solvents

溶剂	柱箱	进样口	检测器
Solvent	Column box	Inj. Injection port	Detector
石油醚 Petroleum ether	110	130	180
四氯化碳 Carbon tetrachloride	110	140	200
二氯甲烷 Dichloromethane	65	150	230
二硫化碳 Carbon disulphid	90	150	150
环己烷 Cyclohexane	110	140	180
苯 Benzene	70	150	200

1.4 试验方法

1.4.1 萃取方法。水样取自周村某化工厂排放的含三氯甲烷的废液，用全玻璃蒸馏器在 65 ~ 75 °C 下蒸馏，除去二氯化碳等杂质后，待用。取 6 个 1 000 ml 梨形分液漏斗，分别在漏斗内加入 100 ml 水样，然后再分别用石油醚、四氯化碳、二硫化碳、二氯甲烷、环己烷、苯 6 种有机溶剂进行萃取，萃取时每种萃取剂分别萃取 4 次，每次 20 ml，每次的萃取液倒入 6 个 100 ml 容量瓶中，漂洗，最后用各自的萃取剂定容至刻度<sup>[12]</sup>。所得 6 种萃取溶液摇匀备用。

1.4.2 萃取液的测定。按照表 1 所示分别设定温度，取 6 种萃取液 1 μl，每种萃取液重复进样 6 次，进行色谱分析，在标准曲线模式下，可直接从工作站中显示出三氯甲烷的含量。

2 结果与分析

2.1 色谱分离效果 经测定石油醚、四氯化碳、二硫化碳、二氯甲烷、环己烷、苯 6 种标准溶液的色谱图见图 1 ~ 6，由图可见，6 种萃取剂和三氯甲烷之间的分离效果较好，出峰完全，采样时间为 8 min 左右，三氯甲烷的出峰时间为 5 ~ 6 min。出峰顺序先是溶剂峰或一些杂质峰，然后是三氯甲烷峰。图 4、5 有一点脱尾，估计是环己烷和二硫化碳的柱箱温度较低的原因，但提高柱箱温度，又导致了与溶剂峰的分离不完全。图 6 苯溶液色谱图中最后面的小峰估计是杂质峰。

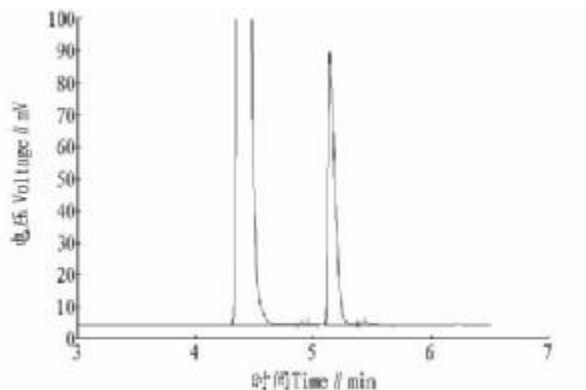


图 1 石油醚溶液色谱图

Fig. 1 Chromatograms of Petroleum ether

2.2 线性测定 以标准溶液浓度为横坐标，三氯甲烷峰面积为纵坐标进行线性拟合，所得标准曲线回归方程和相关系数见表 2。

2.3 方法的精密度和准确度 方法的精密度以测定结果的变异系数来衡量，方法的准确度以全过程标准添加回收率来

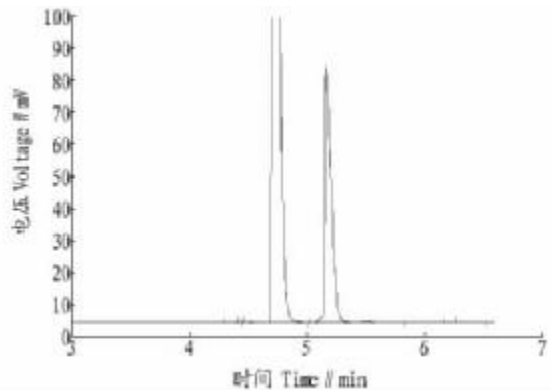


图 2 四氯化碳溶液色谱图

Fig. 2 Chromatograms of carbon tetrachloride

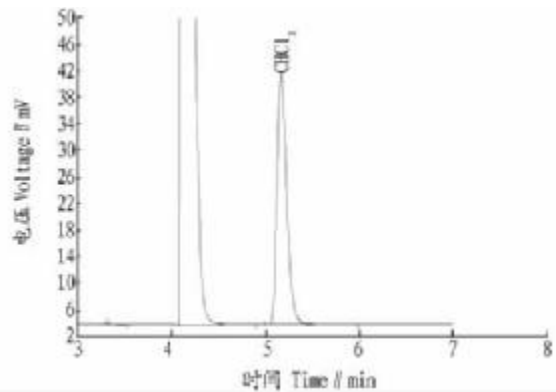


图 3 二氯化碳溶液色谱图

Fig. 3 Chromatograms of dichloro - CFC solution

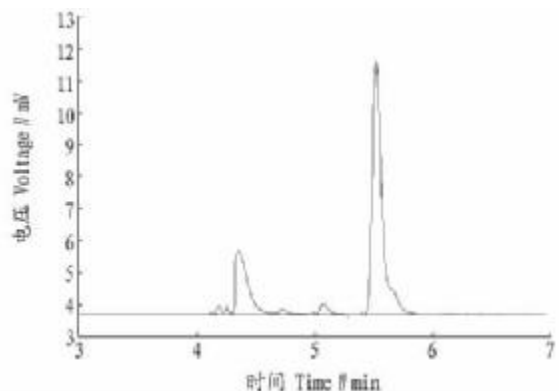


图 4 二硫化碳溶液色谱图

Fig. 4 Chromatograms of CS2 solution

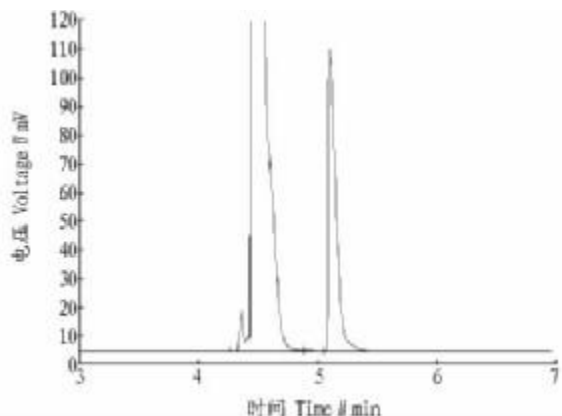


图 5 环己烷溶液色谱图

Fig. 5 Chromatograms of cyclohexane solution

衡量。该试验用石油醚、四氯化碳、二硫化碳、二氯甲烷、环己烷、苯萃取三氯甲烷所得 6 种萃取液分别作 6 次平行进

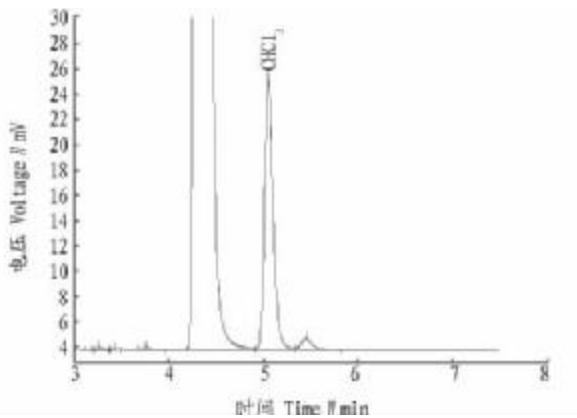


图 6 苯溶液色谱图

Fig. 6 Chromatograms of benzene solution

样,进样量 1  $\mu\text{l}$ , 得出 6 种萃取液中含三氯甲烷的平均数及变异系数(CV)(表 3)。

表 2 6 种标准溶液的回归方程及相关系数

Table 2 Regression equation and its correlation coefficient of six standard solution

溶剂	回归方程	相关系数
Solvent	Regression equation	Correlation coefficient
石油醚 Petroleum ether	$Y = 1.58x + 0.81$	0.999 6
四氯化碳 Carbon tetrachloride	$Y = 1.64x + 0.16$	0.999 2
二氯甲烷 Dichloromethane	$Y = 4.59x - 1.43$	0.987 6
二硫化碳 Carbon disulphide	$Y = 4.05x - 0.98$	0.977 8
环己烷 Cyclohexane	$Y = 1.88x + 0.76$	0.999 0
苯 Benzene	$Y = 2.71x - 0.79$	0.995 3

表 3 6 种萃取液中三氯甲烷的平均数、变异系数及加标回收率

Table 3 Average value, coefficients of variation and recovery of standard addition of chloroform in six extraction solution

溶剂	平均数	变异系数	加标测定	回收率
Solvent	mg/ml	CV//%	值//mg/ml	Recovery
	Average	Coefficients	Added concent-	rate
		of variation	ration numeral	
石油醚 Petroleum ether	0.89	1.29	1.04	98.21
四氯化碳 Carbon tetrachloride	0.86	2.07	1.00	90.26
二氯化碳 Carbon dichloride	0.75	4.29	0.87	78.92
二硫化碳 Carbon disulphide	0.75	4.67	0.86	75.63
环己烷 Cyclohexane	0.85	2.46	0.99	88.45
苯 Benzene	0.82	3.36	0.95	83.52

注:添加浓度均为 0.15 mg/ml;平均数为 6 次平行进样测定萃取液中三氯甲烷的平均值。

Note: All adding concentration are 0.15 mg/ml. Average are the average values of chloroform of 6 times determined extraction solution.

根据“1.4.1”萃取方法,在加入 100 ml 水样后,再分别在 6 个梨形漏斗中加入 0.1 ml 三氯甲烷(色谱纯),则加入标准物质的量为 1.5 mg/ml。然后再分别用 6 种有机溶剂作为萃取剂进行萃取,每次加萃取剂 20 ml,萃取 4 次,每次的萃取液倒入 6 个 100 ml 容量瓶中,最后用这 6 种有机溶液定容。取这 6 种溶液再做 6 次平行进样,进样量 1  $\mu\text{l}$ ,得出加标回收

率(表 3)。

**2.4 方法的灵敏度** 当仪器灵敏度最大时,以该色谱条件下 2 倍基线噪声为最低检出限浓度。则 6 种溶液的最低检出线为:石油醚  $5.56 \times 10^{-3}$  mg/L,四氯化碳  $1.84 \times 10^{-2}$  mg/L,二氯甲烷  $9.12 \times 10^{-2}$  mg/L,二硫化碳  $9.58 \times 10^{-2}$  mg/L,环己烷  $3.14 \times 10^{-2}$  mg/L,苯  $4.98 \times 10^{-2}$  mg/L。

综上所述,从方法的精密度、准确度和灵敏度来看,石油醚的萃取效果最好,检出线最低,二硫化碳的萃取效果最差,检出线最高,其余 4 种介于两者之间。其中四氯化碳和环己烷相差不大,二氯甲烷的萃取效果略好于二硫化碳。

### 3 讨论

(1)三氯甲烷在分析试验中常用作溶剂来萃取别的物质,而研究三氯甲烷的萃取剂在国内的资料中还不多见<sup>[13-16]</sup>。该试验选取 6 种常用有机溶剂萃取三氯甲烷对以后研究三氯甲烷的萃取、回收及三氯甲烷的测定具有一定的参考价值。

(2)该试验采用液液萃取/气相色谱法/FID 能够有效地比较出 6 种有机溶剂对三氯甲烷的萃取效果,且方法简便,结果准确可靠。

(3)三氯甲烷是弱极性物质,而四氯化碳、环己烷和二硫化碳和苯都是非极性物质,在萃取混和时萃取剂和三氯甲烷之间可能达不到 100% 完全混溶,因而影响到试验结果。

(4)由于二氯甲烷的沸点为 39.8  $^{\circ}\text{C}$ ,与实验室的室内温度非常接近,因此二氯甲烷的试验结果不稳定,线性相关性较差。

(5)溶液的粘度影响萃取结果。在用二硫化碳、苯 2 种溶液定容时,出现了不同程度的微小液珠,表明三氯甲烷在这 2 种溶液中混溶不均匀。其中,二硫化碳现象最明显,说明二硫化碳的粘度最大,其次是苯。相比之下,其余几种萃取剂没有出现这种情况。

### 参考文献

- [1] 奚且立,孙裕生,刘秀英. 环境监测[M]. 北京:高等教育出版社,2002:397-399.
- [2] 王瑞斌. 三氯甲烷萃取双硫腙目视比色法快速测定水中铅[J]. 科学技术与工程,2006(12):1669-1671.
- [3] 雪芬,周桦. 顶空气相色谱法测定饮用水中二氯甲烷、二氯乙烷[J]. 中国公共卫生,1995,11(6):278.
- [4] 魏复盛,寇洪茹,洪水皆,等. 水和废水监测分析方法[M]. 3 版. 北京:中国环境科学出版社,1997:389-396.
- [5] 黄君礼. 水中三卤甲烷的测定方法[J]. 环境科学丛刊,1987,8(1):44-54.
- [6] HOU D Y, TANG J F. Determination of halocarbons in drinking water by direct aqueous injection gas chromatography[J]. Anal Chem, 1991, 63(18):2078-2080.
- [7] 张莘民,徐朝. 气相色谱法直接进样测定饮用水中挥发性氯代烃[J]. 色谱,2000,18(3):274-276.
- [8] LARS R. Determination of trihalomet hanes (THM) in water using high efficiency solvent ext raction [J]. Water Research, 1980, 14(10):1397-1402.
- [9] 章安安. 水和废水监测分析方法指南[M]. 北京:中国环境科学出版社,1997:389-392.
- [10] 戚文玮,朱培瑜,吴薇,等. 液液萃取/气相色谱法测定环境水样中邻苯二甲酸酯类化合物[J]. 干旱环境监测,2006,20(4):196-199.
- [11] 付大友. 顶空气相色谱法测定氯甲烷工业废水中挥发性卤代烃[J]. 化学世界,2006(1):12-15.
- [12] 高自立,孙思修,沈静兰. 溶剂萃取手册[M]. 北京:科学出版社,1995:103-112.

(下转第 11708 页)

的土壤安全的分级方法。

(2) 加强土壤中重金属含量同蔬菜重金属积累的相关性研究, 找出蔬菜从土壤中吸收重金属元素的规律和累积部位, 为开展土地适宜性研究奠定基础。

(3) 结合地理信息系统等信息技术手段, 系统开展土壤重金属污染的安全评价工作, 通过克力格插值、空间分析等 GIS 的分析方法, 研究区域土壤重金属污染的空间变异和分布规律, 研究蔬菜重金属含量与土壤重金属污染空间分布的联系。

(4) 开展土壤安全的预警研究工作, 分析土壤重金属污染的变化趋势。

参考文献

[1] 赵其国, 孙波, 张桃林. 土壤质量与持续环境 I. 土壤质量的定义及评价方法[J]. 土壤, 1997(3): 113-120.

[2] WORLD Bank, FAO, UNDP, UNEP. Land quality indicators [M]//No. 315 of the World Bank discussion papers. Washington, D. C: The International bank for Reconstruction and Development, The World Bank, 1995: 1-15.

[3] BULLOCK P, GREGORY P J. Soil in the urban environment [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1991.

[4] 杨国栋, 孙立宏. 中国农业环境保护研究的现状和展望[J]. 农业环境保护, 2001, 2(1): 62-64.

[5] 孙华, 孙波, 张桃林. 江西省贵溪冶炼厂周围蔬菜地重金属污染状况评价研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 70-72.

[6] 孟昭福, 薛登泽, 张增强, 等. 土壤中重金属复合污染的表征[J]. 农业环境保护, 1999, 18(2): 87-91.

[7] 中国农业持续发展和综合生产力研究组. 中国农业持续发展和综合生产力研究[M]. 济南: 山东科技出版社, 1995: 36.

[8] 吴燕玉, 周启星, 田均良. 制定我国土壤环境标准(汞、镉铅和砷)的探讨[J]. 应用生态学报, 1991, 2(4): 334-349.

[9] 毛建华, 陆文龙. 天津市农田土壤污染现状与防治对策[J]. 云南环境科学, 2000(S1): 96-98.

[10] 陈玉成, 赵中金, 孙彭寿, 等. 重庆市土壤-蔬菜系统中重金属的分布特征及其化学调控研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 44-47.

[11] 黄碧燕, 韦宇宁. 广西南宁市郊区土壤及其农副产品重金属污染状况监测与评价[J]. 农业环境与发展, 2000(4): 20-22.

[12] 高伟生, 应龙根. 区域环境综合研究——上海地区农业环境质量研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1987.

[13] 夏立江, 王宏康. 土壤污染及其防治[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2001.

[14] 阮俊华, 张志剑, 陈英旭, 等. 受污染土壤的农业损失评估法初探[J]. 农业环境保护, 2002, 21(20): 163-165.

[15] 郑昭佩, 刘作新. 土壤质量及其评价[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 131-134.

[16] 农业环境背景值研究编写组. 农业环境背景研究[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1997.

[17] 王宏康. 土壤中重金属污染的研究进展[J]. 环境化学, 1991, 10(5): 35-42.

[18] VEGTER J J. Soil protection in the Netherlands: the continuing story [M]//PROST R. Contaminated soils: Full proceedings on CD-ROM. Paris: Third International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, 1997: 43-44.

[19] JULIE MARKUS, ALEX B MCBRATNEY. A review of the contamination of soil with lead II. Spatial distribution and risk assessment of soil lead [J]. Environment International, 2007, 27: 399-411.

[20] USEPA. Risk assessment guidance for Superfund [M]. Washington DC: US Environment Protection Agency. Office of Emergency and Remedial Response, 1989.

[21] Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC)/National Health and Medical Research Council (NH&MRC). Australian and New Zealand guidelines for the assessment and management of contaminated sites, ANZECC and NH&MRC [EB/OL]. 1992. <http://www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/eh17syn.htm>.

[22] THEELEN R M C, NIGHOF A G, BOMER H. Dutch methodology for risk assessment of contaminated soils [M]//PROST R. Contaminated soils: Full proceedings on CD-ROM. Paris, France: Third International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, 1997: 425-321.

[23] 赵其国. 土壤与环境问题国际研究概况及其发展趋势——参加第 16 届国际土壤学会专题综述[J]. 土壤, 1998(6): 281-310.

[24] LANGLEY A. Health risk assessment and management of contaminated sites in Australia [M]. Soil Technology: Applied Soil Science, 1996: 281-307.

[25] ARROUAYS D, MENCH V, AMANS V A, et al. Short-range variability of fallout pb in a contaminated soil [J]. Canadian Journal of Soil Science, 1996, 76: 734-781.

[26] WHITE J, WELCH R, NORVELL W. Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographical information systems [J]. Soil Science Society America Journal, 1997, 61: 185-194.

[27] 夏增禄. 中国土壤环境容量 [M]. 北京: 地震出版社, 1992: 1-2.

[28] 陈慧选, 吴家华, 白增森, 等. 太原市南郊区土壤 8 种重金属元素背景值的研究[J]. 山西农业科学, 1994, 22(2): 32-35.

[29] 李森照, 罗金发, 孟维奇, 等. 中国污水灌溉与环境质量控制 [M]. 北京: 气象出版社, 1995: 5.

[30] 夏家淇. 土壤环境质量标准详解 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.

[31] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.

[32] 叶嗣宗, 罗海林. 土壤环境质量分级评价 [J]. 上海环境科学, 1992, 11(6): 39-40.

[33] 吴志峰, 文雅, 张坚. 广州市长虹苗圃的土壤质量评价 [J]. 中国园林, 2001(5): 70-71.

[34] 王伟杰, 柯涌潮. 土壤综合评价方法的探讨 [J]. 农业环境保护, 1986, 5(2): 16-18.

[35] 舒冬妮. 用模糊数学综合评判土壤中重金属污染程度的探讨 [J]. 农业环境保护, 1989, 8(5): 30-32.

[36] 王金生. 灰色聚类法在土壤污染综合评价中的应用 [J]. 农业环境保护, 1991, 10(4): 169-172.

[37] 张松滨. 共斜率灰色聚类法与土壤环境质量评价 [J]. 农业环境保护, 1991, 10(2): 80-83.

[38] 刘年丰, 郭继孝, 刘宝珠. 土壤环境质量评价的一种新方法——污损率法 [J]. 环境科学与技术, 1997(4): 47-49.

[39] 王学军, 席爽. 北京东郊污灌土壤重金属含量的克力格插值及重金属污染评价 [J]. 中国环境科学, 1997(3): 225-228.

[40] 赵永存, 汪景宽, 王铁宇, 等. 吉林公主岭土壤中砷、铬、和锌含量的空间变异性及分布规律研究 [J]. 土壤通报, 2002, 33(5): 372-376.

[41] 尹君. 基于 GIS 绿色食品基地土壤环境质量评价方法研究 [J]. 农业环境保护, 2001, 20(6): 446-448.

[42] 王丽凤, 白俊贵. 沈阳市蔬菜污染调查及防治途径研究 [J]. 农业环境保护, 1994, 13(2): 84-88.

[43] 郑路, 常江. 合肥市菜园蔬菜和土壤的铅污染调查 [J]. 环境污染与防治, 1989, 11(5): 33-37.

[44] 汪雅谷, 章家骥, 张国强. 上海菜区土壤青菜镉含量的监测和控制 [J]. 上海农业学报, 1985, 1(1): 19-26.

(上接第 11695 页)

[13] ROTHSCHILD W G. Enhanced near-neighbour aggregation of dichloro- and trichloromethane in liquid methane solution from molecular dynamics simulation of radial site-site distribution functions: A simple predictor of solute-solvent compatibility [J]. Molecular Physics, 2006, 104(19): 3129-3126.

[14] BUSCH KENNETH W, SOYEMI OLUSOLA O, RABBE DENNIS, et al. Determination of the stray light levels in a dispersive near-infrared spectrometer with trichloromethane [J]. Applied Spectroscopy, 2000, 54(12):

1759-1766.

[15] CHARONGPU MUSIKAVONG, SURAPHONG WATTANACHIRA, MARHABA TAHA F. Reduction of organic matter and trihalomethane formation potential in reclaimed water from treated industrial estate wastewater by coagulation [J]. Journal of Hazardous Materials, 2005, 127(1/3): 58-67.

[16] DUROV V A, TERESHIN O G, SHILOV I Y. Supramolecular structure and physicochemical properties of the trichloromethane-ethanol mixtures [J]. Fluid Phase Equilibria, 2006, 239(1): 35-45.