

广州、深圳地区蔬菜生产基地土壤中 邻苯二甲酸酯(PAEs)研究

蔡全英¹, 莫测辉^{2*}, 李云辉¹, 曾巧云¹, 王伯光², 肖凯恩¹, 李海芹¹, 徐国生¹

(1. 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642; 2. 暨南大学环境工程系, 广州 510632)

摘要:对广州(含增城、花都)和深圳地区的 9 个代表性蔬菜生产基地进行调查采样,利用超声波提取-硅胶柱净化-气相色谱/质谱联机检测技术(GC/MS),分析了土壤中属于 U. S. EPA 优控污染物的 6 种邻苯二甲酸酯(PAEs)化合物。结果表明,6 种 PAEs 化合物总含量(Σ PAEs)在 3.00~45.67 mg/kg 之间,其中 37%样品的 Σ PAEs 在 10~20mg/kg,22%样品的 Σ PAEs 在 20~30 mg/kg。各蔬菜基地中以联兴基地的 Σ PAEs 平均值最高(35.62mg/kg);广清基地的 Σ PAEs 平均值最低(10.31mg/kg)。各 PAEs 化合物中以 DEHP 的含量最高,DnBP 次之,两者共占 Σ PAEs 的 90%以上。BBP、DEP、DMP 和 DnOP 的含量均在 2.0 mg/kg 以下。与美国土壤 PAEs 控制标准相比,除了 DnOP 外,其余 5 个化合物均不同程度超标,其中 DEP、DnOP、DEHP 超标较普遍且较严重。但所有 PAEs 化合物的含量均低于美国土壤 PAEs 治理标准。总体上看,上述蔬菜基地土壤中 PAEs 的含量较高,说明受到了不同程度的污染。

关键词:蔬菜基地;土壤;邻苯二甲酸酯(PAEs);广州;深圳

The study of PAEs in soils from typical vegetable fields in areas of Guangzhou and Shenzhen, South China

CAI Quan-Ying¹, MO Ce-Hui^{2*}, LI Yun-Hui¹, ZENG Qiao-Yun¹, WANG Bo-Guang², XIAO Kai-En¹, LI Hai-Qin¹, XU Guo-Sheng¹ (1. College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Department of Environmental Engineering, Ji'nan University, Guangzhou 510632, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(2): 283~288.

Abstract: Six U. S. EPA priority pollutants of phthalic acid esters (PAEs) including di-methyl phthalate (DMP), di-ethyl phthalate (DEP), di-n-butyl phthalate (DnBP), butylbenyl phthalate (BBP), di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), and di-n-octyl phthalate (DnOP) in twenty seven soil samples from nine typical vegetable fields in areas of Guangzhou and Shenzhen, South China were determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Total contents of the six PAE compounds (Σ PAEs) in all soils ranged from 3.00 to 45.67mg/kg, with 37% of total samples ranging from 10 to 20 mg/kg and 22% of total samples ranging from 20 to 30 mg/kg. For each single field the highest average Σ PAEs was observed in Lianxing field with 35.62mg/kg, and the lowest average Σ PAEs in Guangqing field with 10.31mg/kg. For each single PAE compound, concentrations of DEHP were highest (2.8~25.1mg/kg), followed by DnBP, both comprising over 90% of Σ PAEs. The concentrations of other four compounds were all less than 2.0mg/kg respectively, together amounting to <5% of Σ PAEs. On the whole the concentrations of PAEs in vegetable soils from the above areas were higher than those reported in other

基金项目:教育部科技研究重点资助项目(地方 02112);广东省自然科学基金资助项目(021011, 036716);广东省科技计划资助项目(01C21202, 03A20504, 03C34505);广东省环保科技研究开发资助项目(粤环 2001-20);广东省教育厅自然科学研究资助项目(Z02004)

收稿日期:2003-10-02; **修订日期:**2004-06-25

作者简介:蔡全英(1974~),女,广西荔浦人,博士,主要从事污染生态学、环境化学研究。

* **通讯作者** Author for correspondence. E-mail: tchmo@jnu.edu.cn

Foundation item: Key Scientific Research Project of Ministry of Education of China (No. 02112); Natural Science Foundation of Guangdong Province (No. 021011, 036716); Project of Department of Science & Technology of Guangdong Province (No. 01C21202, 03A20504, 03C34505)

Received date: 2003-10-02; **Accepted date:** 2004-06-25

Biography: CAI Quan-Ying, Ph. D, mainly engaged in pollution ecology, environmental chemistry. E-mail: cai-quanying@yahoo.com

countries. Moreover, the concentrations of all five PAE compounds with the exception of DnOP exceeded the control limits of PAEs in soil of U. S. A. to a various extent, especially DEP, DnOP, and DEHP exceeding more commonly and more seriously.

Key words: vegetable fields; soils; phthalic acid esters (PAEs); Guangzhou; Shenzhen

文章编号:1000-0933(2005)02-0283-06 中图分类号:X171.5 文献标识码:A

蔬菜生产基地通常位于市郊或城乡的结合部,易受到城市三废的影响。尤其是地处改革开放前沿的珠江三角洲地区,城市化和工业化的发展十分迅速,不少菜区直接处于城市污染源的射程范围。生产“无公害蔬菜”是全社会普遍关心的问题。但遗憾的是,目前我国对于“无公害蔬菜”基地的环境质量评价,通常仅基于重金属和残留农药等^[1~3],而忽视了对人体健康有严重危害的微量有机污染物如邻苯二甲酸酯(PAEs)等。

邻苯二甲酸酯(PAEs)又称酞酸酯,广泛应用于塑料、汽车、服装、化妆品、润滑剂和农药等行业而不断进入环境。PAEs 在环境中稳定、持久,通常具有生物累积效应和放大效应,可进入食物链而危及人体的健康安全,有 6 种 PAEs 化合物属于美国国家环保局(U. S. EPA)的“优控污染物”,其中有些还具有“三致”(致癌、致畸、致突变)作用,是重要的环境激素类污染物。

有机污染生态学是近年来农业环境和农产品安全研究的国际前沿课题和热点。一些国家对农业土壤中的 PAEs 化合物进行了调查分析^[4~6],我国也有关于个别工业区土壤、郊区土壤或污区土壤中部分 PAEs 化合物的零星报道^[7,8]。农用物质(如塑料薄膜、城市污泥、化肥等)可引起土壤-蔬菜系统的 PAEs 污染^[4~7,9~12]。但目前国内外仍缺乏对蔬菜生产基地土壤中 PAEs 的系统研究。本文选择广州(含增城、花都)和深圳地区的 9 个代表性蔬菜基地进行调查取样,采用气相色谱/质谱(GC/MS)联机检测技术,对土壤中的 6 种 PAEs 化合物进行研究。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

所用有机溶剂二氯甲烷、丙酮、乙醚等均为分析纯,并经过全玻璃系统重新蒸馏。滤纸、脱脂棉等分别用二氯甲烷进行索氏抽提 12 h 后烘干备用。所用玻璃仪器均用洗涤液(重铬酸钾:浓硫酸:水=20g:360ml:20ml)浸泡,用自来水和去离子水洗干净后,于 250℃烘 2h 后备用。

硅胶(100~180 目) 依次用二氯甲烷和甲醇进行索氏抽提各 12h 后,于 130~140℃下烘 4h,保存。

无水硫酸钠(分析纯) 放在马福炉内于 250℃烘 4 h,保存备用。

三氧化铝(分析纯) 放在马福炉内于 250℃烘 12 h,冷却后用保存备用。

混合内标标准溶液 浓度为 4000 $\mu\text{g}/\text{ml}$,包括萘-d₈、菲-d₁₀、二萘氘-d₁₀和 -d₁₂共 4 种化合物。替代物混合标准液 浓度为 4000 $\mu\text{g}/\text{ml}$,包括硝基苯-d₅、三联苯-d₁₄。实验过程中在空白实验和样品提取物中加 100 μg 替代物,用以控制回收率。

PAEs 化合物混合标准溶液:浓度为 1000 $\mu\text{g}/\text{ml}$,包括属于 U. S. EPA 优控污染物的 6 种 PAEs 化合物(表 1)。配制工作标液时,分别吸取 PAEs 化合物混合标液 2.5、5.0、7.5、10.0、20.0 μl 和 30.0 μl ,并加入混合内标标准液,用二氯甲烷定容 1.00ml,即得浓度为 2.5、5.0、7.5、10.0、20.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 和 30.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 的标准溶液,其中内标浓度均为 20.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$,作为工作标液。

以上标准物质均购自美国 ULTRA Scientific 公司(North Kingstown,RI.)。

1.2 采样基地的选择

根据蔬菜生产基地的地理位置、种植面积、经营历史与模式、周围环境条件等,分别选择广州(含花都、增城)和深圳的 9 个代表性蔬菜生产基地进行采样,采样基地的具体位置见图 1。

1.3 样品采集与制备

土壤样品采集于 2002 年 7~8 月进行。根据蔬菜生产基地的分布状况和周边环境,采用随机布点法,在基地内采集 3 个混合土壤样品。每个混合样由 6~8 个采样点组成,避开菜地边缘、作物根部和刚施肥的点。采集耕作层(0~20cm),每个混合样取 1.0kg 左右。9 个蔬菜基地共采集 27 个土壤样品,在室内自然风干后过 1mm 铜筛备用。

1.4 样品有机污染物分析的预处理

土壤样品的预处理采用超声波提取法,参考 U. S. EPA 3550B^[12]。称取土壤样品约 20g,放入 150ml 具塞三角瓶中,每次加 50ml 丙酮:二氯甲烷体积比为 1:1 的混合溶剂,超声提取 10min,离心后转移上清液,再加溶剂提取,重复 3 次,合并提取液。样品提取过程中,在第 1 次加入有机溶剂后,加入替代物混合标准液,同时做空白实验。上述提取液在 50℃下采用旋转蒸发仪浓缩至 5ml 左右,再过三氧化二铝(2g)-硅胶(10g)-无水硫酸钠(3g)层析柱净化分离,采用二氯甲烷洗脱(约 50ml)。洗脱液在旋转蒸发仪浓缩,用二氯甲烷转移至样品瓶(2.0ml)。GC/MS 分析前,用高纯氮气吹至 0.4ml 左右,迅速加入混合内标溶液,用二氯甲烷定容,使内标浓度为 5.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。

1.5 样品 GC-MS 分析与质控

GC-MS 分析方法参考 U.S. EPA 8270C 方法^[13],有关分析条件如下:

气相色谱仪为 Thermo Finnigan TRACE GC;质谱仪为 Thermo Finnigan TRACE MS^{plus};计算机(Xcalibar 工作站)为 HP Net Server E200-HP 72;色谱柱为 HP-5 MS 30m×0.25mm (id)×0.25μm。载气为高纯氦气(He)。用 B 进样口,采用不分流柱头加压进样,进样体积 1.0μl。进样口温度 230℃;分流比 50ml/min;分流时间 2min;柱头压 300kPa;柱头加压时间 2.00min。节气流量 20.0ml/min;节气时间 2.0min。采用程序升温 and 程序升压。

质谱仪所用离子源为电子轰击源(EI);离子源温度 220.0℃;接口温度 250.0℃。采用全扫描方式,扫描质量范围 (m/z):55.0~300amu;扫描时间 0.10 sec;扫描时间范围 4.00~25.00min。电子扩增倍数 220.0V。数据采集与处理系统为 Xcalibar。

采用 PAEs 化合物标样的 0.0、2.5、5.0、7.5、10.0μg/ml 为工作曲线,内标法定量。其中,硝基苯-d₅ 和 三联苯-d₁₄ 的回收率 分别在 75.00%~89.50% 和 82.60%~88.34%。6 种 PAEs 化合物的缩写和方法检测限见表 1。

表 1 6 种 PAEs 化合物的缩写和方法检测限

Table 1 Abbreviation of 6 PAE compounds and their method detection limit							
化合物 Compounds	缩写 Abbr.	方法检测限 Method detect limit(μg/L)	方法定量限 Method quantity limit(μg/L)	化合物 Compounds	缩写 Abbr.	方法检测限 Method detect limit(μg/L)	方法定量限 Method quantity limit(μg/L)
邻苯二甲酸二甲酯 Di-methyl phthalate	DMP	1.360	2.152	邻苯二甲酸丁基苄基酯 Butylbenyl phthalate	BBP	0.390	0.651
邻苯二甲酸二乙酯 Di-ethyl phthalate	DEP	0.911	1.533	邻苯二甲酸酯双(2-乙基己基) Di-(2-ethylhexyl) phthalate	DEHP	0.491	0.818
邻苯二甲酸正二丁酯 Di-n-butyl phthalate	DnBP	0.600	1.334	邻苯二甲酸正二辛酯 Di-n-octyl phthalate	DnOP	0.573	0.955

2 结果与分析

2.1 土壤中 PAEs 化合物的总含量(ΣPAEs)

全部基地共 27 个土壤样品中,6 种 PAEs 化合物的总含量(ΣPAEs)在 3.00~45.67 mg/kg 之间(表 2),主要在 10~20 mg/kg(占 37%)和 20~30 mg/kg(占 22%)之间,呈偏正态分布趋势(图 2)。各基地土壤的 ΣPAEs 平均值在 10.31~35.62 mg/kg 之间,其高低依次为联兴>塘家>北兴>粤旺>山美>发记>甲子塘>楼村>广清。总体上比济南市郊农田土壤中 PAEs 的含量略高,但低于工业区附近土壤中 PAE 的含量^[7]。

2.2 土壤中各个 PAEs 化合物的含量

各基地土壤中单个 PAEs 化合物的含量因化合物来源和基地经营模式以及周围环境而异。DEHP 在所有土壤样品中均被检出,含量在 2.82~25.11mg/kg 之间,其中有 56%样品的 DEHP 含量在 10 mg/kg 以下,有 33%的样品 DEHP 含量在 10~20mg/kg 之间。各基地土壤的 DEHP 平均含量为 6.2~16.18mg/kg,以联兴、粤旺和塘家基地的 DEHP 含量最高。DnBP 也几乎在所有土壤样品中被检出,其中有 48%的样品 DnBP 含量在 1~10 mg/kg,有 30%的样品 DnBP 含量在 10~20 mg/kg,以联兴和北兴基地的 DnBP 含量最高。BBP 和 DEP 的含量均在 2mg/kg 以下,且绝大部分样品含量在 1mg/kg 以下,而且 6 个样品中的 DMP 和 17 个样品中的 BBP 其含量均低于检测

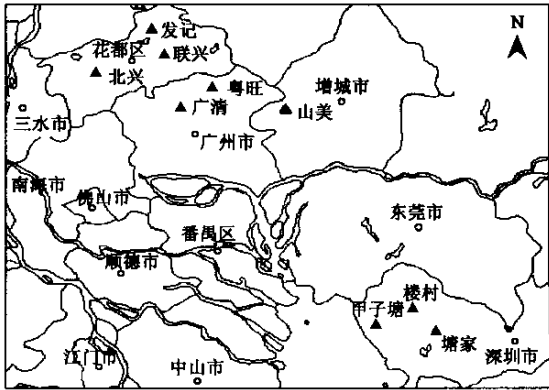


图 1 采集土壤样品的蔬菜生产基地位置图

Fig. 1 Sampling location

▲ 采样基地的位置 The sampling location in map

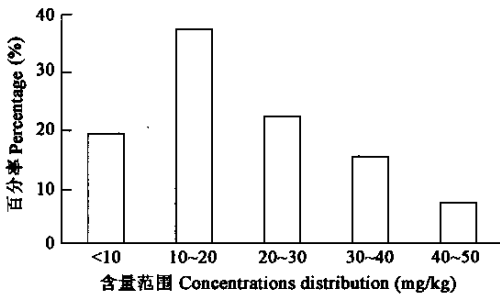


图 2 蔬菜基地土壤中 ΣPAEs 的含量分布

Fig. 2 Concentrations distribution of ΣPAEs in soils form all vegetable fields

限。DMP 和 DnOP 的含量均在 1mg/kg 以下,且有 6 个基地的 DMP 和 4 个蔬菜基地的 DnOP 其含量均低于检测限。总体上看,上述蔬菜基地土壤中 PAEs 化合物的含量明显高于丹麦施用城市污泥和农家肥等处理后土壤中 PAEs 的含量^[6,10],但低于工业区附近土壤中 PAEs 的含量^[7]。

表 2 蔬菜基地土壤 PAEs 化合物的含量(mg/kg,干重)

Table 2 Concentrations of PAE compounds in soil from vegetable fields(mg/kg DW)								
项目 Item		DMP	DEP	DnBP	BBP	DEHP	DnOP	ΣPAEs ^②
广清 Guangqing	范围 Range	ND ^① ~0.17	ND~0.18	ND~7.89	ND~0.38	4.45~9.08	ND	5.43~17.50
	平均值 Mean	0.06	0.06	3.75	0.24	6.20	0	10.31
粤旺 Yuewang	范围 Range	ND	0.06~1.42	ND~8.66	ND~1.48	9.92~25.11	ND~0.92	19.11~27.56
	平均值 Mean	0	0.63	5.48	0.49	15.24	0.33	22.17
山美 Shanmei	范围 Range	ND~0.13	0.06~1.50	1.46~13.50	ND~1.09	5.42~21.54	ND~0.09	9.70~39.00
	平均值 Mean	0.02	0.50	9.16	0.22	10.96	0.03	20.84
塘家 Tangjia	范围 Range	ND	ND~1.77	2.08~18.43	ND~1.24	9.17~24.23	ND~0.08	11.25~45.67
	平均值 Mean	0	1.11	10.76	0.41	14.76	0.03	27.06
楼村 Loucun	范围 Range	ND	ND~0.10	0.77~6.68	ND	7.35~12.02	ND~0.08	9.14~18.88
	平均值 Mean	0	0.06	4.34	0	9.25	0.03	13.68
甲子塘 Jiazitang	范围 Range	ND	0.36~0.67	5.78~8.82	ND~0.64	6.14~13.87	ND~0.40	12.27~23.97
	平均值 Mean	0	0.56	7.48	0.21	9.29	0.13	17.67
北兴 Beixing	范围 Range	ND	0.30~0.40	12.12~15.99	ND~0.46	7.92~8.58	ND	20.80~24.98
	平均值 Mean	0	0.35	14.06	0.23	8.25	0	22.888
发记 Faji	范围 Range	ND	ND~0.10	ND~19.49	0.18~0.61	2.82~14.86	ND	3.00~35.06
	平均值 Mean	0	0.05	9.74	0.39	8.84	0	19.03
联兴 Lianxing	范围 Range	ND~0.68	0.06~1.27	17.19~20.55	ND~0.75	12.76~19.69	ND	30.01~42.94
	平均值 Mean	0.23	0.50	18.45	0.25	16.19	0	35.62

① ND 低于检测限,各化合物检测限见表 1 Not detected, detection limit in table 1; ② ΣPAEs 6 种 PAEs 化合物含量总和 Total contents of six PAE compounds

2.3 土壤中 PAEs 含量的超标情况

目前我国尚未制订土壤 PAEs 控制标准,本文参考美国土壤 PAEs 控制标准和治理标准(表 3)^[14],分析蔬菜基地土壤的污染状况。按照美国土壤 PAEs 化合物控制标准,上述蔬菜基地土壤中只有 DnOP 化合物未超标,其余 5 个 PAEs 化合物均不同程度地超标,其中 DEP、DnBP 和 DEHP 超标率达 50% 以上,尤其是后两者超标率在 90% 左右。从同一基地土壤的 PAEs 化合物的平均含量来看,DMP、DEP、DnBP 和 DEHP 均超过了美国土壤中 PAEs 化合物的控制标准,但不同 PAEs 化合物在不同基地土壤的超标倍数差别较大。其中 DnBP 的超标最严重,几乎各基地的土壤都超标 100 倍以上,尤其是联兴基地超标更严重。部分基地土壤中 DMP 和 DEP 的超标倍数也较大,如在联兴基地它们均超标数十倍。各基地土壤中 DEHP 虽然全部被检出,但超标程度相对较小。而 BBP 和 DnOP 均未超标。但 6 种 PAEs 化合物的含量均低于美国土壤 PAEs 治理标准。

2.4 土壤中单个 PAEs 化合物的百分含量

各基地土壤中 PAEs 化合物均以 DnBP 和 DEHP 为主,其余化合物的含量均较低或未检出(图 3)。其中广清、粤旺和楼村基地的 DEHP 占 ΣPAEs 的 60%~70%,DnBP 约占 ΣPAEs 的 30%~36%;北兴基地的 DnBP 占 ΣPAEs 的 61%,DEHP 占 ΣPAEs 的 36%;发记、联兴、甲子塘和山美基地的 DnBP 和 DEHP 各占 ΣPAEs 的 40%~50%。各基地其他化合物均只占 ΣPAEs 的 5% 以下。这与施用污泥、化肥等处理后土壤残留 PAEs 的含量分布趋势相似^[6,9]。

2 讨论

土壤中 PAEs 可以通过挥发、淋溶、生物或非生物降解和植物吸收等途径消失。PAEs 在土壤中的移动、滞留、消失等行为与其理化性质和来源以及土壤的理化性质和环境条件等有关^[15]。DMP、DEP 等短链 PAEs 化合物的水溶性较高,辛醇-水分配系数较小,易被生物降解或通过其它途径消失^[16,17],因而在土壤中的含量较低;DEHP 等中高分子量 PAEs 化合物的水溶性较低,辛醇-水分配系数较大,易被土壤吸附,活动性较差,不易被生物降解和通过其它途径消失,因而易在土壤中累积^[17,18],含量

表 3 美国土壤 PAEs 化合物控制标准与治理标准^[14]

Table 3 Soil allowable concentration and cleanup objective of PAE compounds in U. S. A.

化合物 Compounds	控制标准(mg/kg) Allowable soil concentration	治理标准(mg/kg) Value of soil cleanup objective
DMP	0.020	2.0
DEP	0.071	7.1
DnBP	0.081	8.1
BBP	1.215	50.0
DEHP	4.35	50.0
DnOP	1.200	50.0

较高。

PAEs 作为塑料增塑剂,在塑料中含量达 20%~60%^[19,20]。蔬菜基地普遍有使用塑料薄膜覆盖的历史,如粤旺基地主要采用塑料大棚栽培,山美、联兴、塘家等基地采用塑料薄膜覆盖育苗和塑料大棚种植某些种类蔬菜。老化、腐烂的塑料薄膜残留在土壤中,增加了土壤中 PAEs 的含量^[20]。山美、塘家基地土壤中的 Σ PAEs 含量较高可能与此有关。

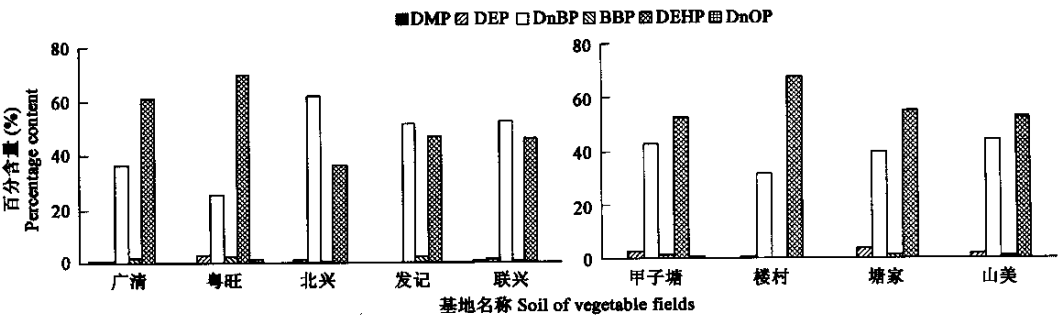


图 3 蔬菜土壤中 PAEs 化合物的百分含量分布

Fig. 3 Percentage content of individual PAE compounds in soil of vegetable fields

工业三废、交通运输、污泥农用、肥料施用等都会增加土壤中 PAEs 的含量^[4,6,9]。一些行业的废水中 PAEs 化合物的含量在几个 $\mu\text{g/L}$ 到几百 $\mu\text{g/L}$, 有的高达 $50000\mu\text{g/L}$ 以上^[21]。联兴和广清基地的灌溉水不同程度地受到了废水的污染,且基地靠近交通主干线。另一方面,联兴基地属于规模化经营,采用蓄积沟渠水短时间灌溉,且复种指数高。而广清和楼村基地都属于农户分散经营,精耕细作,复种指数相对较低。可能这些耕作措施影响到 PAEs 在土壤中的残留与消失,导致联兴基地土壤中 PAEs 的含量较高,而广清和楼村基地则较低。另外,作者采用 GC/MS 对我国一些农用肥料进行了研究表明,肥料中普遍含有 PAEs 污染物,国外也含有类似报道^[6]。至于各基地土壤中 PAEs 化合物的来源特征、残留动态及其影响因素等,有待今后进一步研究。

4 结论

广州(含花都、增城)和深圳地区的典型蔬菜生产基地的土壤中 6 种 PAEs 化合物总含量(Σ PAEs)在 $3.00\sim45.67\text{mg/kg}$, 以联兴基地的 Σ PAEs 平均含量最高(35.62mg/kg),广清基地的最低(10.31mg/kg)。6 种 PAEs 化合物中,DEHP 在全部土壤样品中均被检出,含量也普遍较高($2.82\sim25.11\text{mg/kg}$),DnBP 的含量次之($3.75\sim18.45\text{mg/kg}$),两者共占 Σ PAEs 的 90% 以上。BBP、DEP、DMP 和 DnOP 的含量均在 2.0mg/kg 以下。总体上看,上述蔬菜基地土壤中 PAEs 的含量较高,已受到不同程度的污染。按照美国土壤 PAEs 控制标准,除了 DnOP 以外,其余 5 个 PAEs 化合物均不同程度地超标,尤其是联兴基地超标更严重。

References:

[1] Wang X J, Xi S. Kriging analysis and heavy metal pollution assessment for soil from eastern suburb of Beijing City. *China Environ. Science*, 1997, **17**(3): 265~268.

[2] Zheng S Y. The effect pf pesticide to farm land soil ecology and farm produce. *J. Shihezi University (Natural Science)*, 2002, **6**(3):255~258.

[3] Huang G F, Wu Q T. Recommendation of amendment on standards of soil environmental quality for green- food production area. *Agro-environmental Protection*, 2000, **19**(2): 123~125.

[4] Smith S R. *Agricultural recycling of sewage sludge and the environment*. Wallingford: CAB International, 1996. 207~236.

[5] Staples C A, Peterson D R, Parkerton T F, *et al.* The environmental fate of phthalate esters; a literature reviews. *Chemosphere*, 1997, **35**(4):667~749.

[6] Vikelsoe J, Thomsen M, Carlsen L. Phthalates and nonylphenols in profiles of differently dressed soils. *Science Total Environ.*, 2002, **296**:105~116.

[7] Meng P R, Wang X K, Xu G T, *et al.* Determination and distribution of phthalate alkyl esters in soil in Ji'nan. *Environ. Chemistry*, 1996, **15**(5): 427~432.

[8] Zhang Y H, Chen B H, Zheng L X, *et al.* Determination of phthalates in environmental samples. *J. Environ. Health*, 2003, **20**(5): 283~286.

[9] CAI Q Y, MO C H, WU Q T, *et al.* Effect of municipal sludges and chemical fertilizers on the content of phthalic acid esters (PAEs) in

paddy soils grown *Ipomoea aquatic*. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2003, **23**(3):365~369.

- [10] Cai Q Y, Mo C H, Zhu X Z, *et al*. Effect of municipal sludge on the accumulation of organic pollutants in *Ipomoea aquatic* plant-paddy soil. *China Environ. Science*, 2003, **23**(3):321~326.
- [11] CAI Q Y, MO C H, WU Q T, *et al*. Effect of sewage sludge and its composts on the accumulation of organic pollutants in *Ipomoea aquatic* grown in paddy soils. *Environ. Science*, 2002, **23**(5):52~56.
- [12] Aranda J M, O'connor G A, Eiceman G A. Effects of sewage sludge on di-(2-ethylhexyl) phthalate uptake by plants. *J. Environ. Qual.*, 1989, **18**: 45~50.
- [13] Environmental Monitoring Center of China, Research Center for Eco-Environmental Sciences of Chinese Academy of Sciences, Environmental Monitoring Center of Beijing. *Test methods for evaluating solid waste*. Beijing: Chinese Environmental Scientific Press, 1992. 156~332.
- [14] New York State Department of Environmental Conservation. SVOCs soil cleanup objectives. Appendix A of TAGM #4046. <http://www.dec.state.ny.us/website/der/tagms/prtg4046c.html>. 2003-04-04.
- [15] Durate-Davidson R, Jones K C. Screening the environmental fate of organic contaminants in sewage sludge applied to agricultural soils II. The potential for transfers to plants and grazing animals. *Science Total Environ.*, 1996, **185**:59~70.
- [16] Russell D J, McDuffie B. Chemodynamic properties of phthalate esters: partitioning and soil migration. *Chemosphere*, 1986, **15**(8): 1003~1021.
- [17] Cartwright C D, Thompson I P, Burns R G. Degradation and impact of phthalate plasticizers on soil microbial communities. *Environ. Toxicol. Chem.*, 2000, **19**(5): 1253~1261.
- [18] Inman J C, Strachan S D, Sommers L E, *et al*. The decomposition of phthalate esters in soil. *J. Environ. Science Health*, 1984, **19**(2): 245~257.
- [19] Ye C M. Phthalic acid esters (PAEs) in environment. *Advances in Environ. Science*, 1993, **1**(2):36~44.
- [20] An Q, Jin W, Li Y, *et al*. Effect of PAEs plasticizers on soil-crop system. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, **36**(1):118~126.
- [21] Wang D C, Xu X H, Song S. *Handbook of treatment special pollutants in industrial wastewater*. Beijing: Chemistry Industrial Press, 2000. 322~357.

参考文献:

- [1] 王学军,席爽. 北京东郊污灌土壤重金属含量的克立格插值及重金属污染评价. *中国环境科学*, 1997, **17**(3): 265~268.
- [2] 郑世英. 农药对农田土壤生态及农产品质量的影响. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2002, **6**(3): 255~258.
- [3] 黄国锋,吴启堂. 绿色食品产地土壤环境质量现状评价标准的修正. *农业环境保护*, 2000, **19**(2): 123~125.
- [7] 孟平蕊,王西奎,徐广通,等. 济南市土壤中酞酸酯的分布与分析. *环境化学*, 1996, **15**(5): 427~432.
- [8] 张蕴辉,陈秉衡,郑力行,等. 环境样品中邻苯二甲酸酯类物质的测定与分析. *环境与健康杂志*, 2003, **20**(5): 283~286.
- [9] 蔡全英,莫测辉,吴启堂,等. 水稻土施用城市污泥盆栽通菜后土壤中邻苯二甲酸酯(PAEs)的残留. *环境科学学报*, 2003, **23**(3):365~369.
- [10] 蔡全英,莫测辉,朱夕珍,等. 城市污泥对通菜-水稻土中有机污染物的累积效应. *中国环境科学*, 2003, **23**(3): 321~326.
- [11] 莫测辉,蔡全英,吴启堂,等. 城市污泥及其堆肥施用对通菜中有机污染物的累积效应. *环境科学*, 2002, **23**(5):52~56.
- [13] 中国环境监测总站,中国科学院生态环境研究中心,北京市环境监测中心译. 固体废物试验分析评价手册. 北京:中国环境科学出版社, 1992. 156~332.
- [19] 叶常明. 环境中的邻苯二甲酸酯. *环境科学进展*, 1993, **1**(2):36~44.
- [20] 安琼,靳伟,李勇,等. 酞酸酯类增塑剂对土壤-作物系统的影响. *土壤学报*, 1999, **36**(1):118~126.
- [21] 汪大,徐新华,宋爽. 工业废水中专项污染物处理手册. 北京:化学工业出版社, 2000. 322~357.