

塑料增塑剂(邻苯二甲酸酯)对珠三角城市群典型中小城市土壤的污染研究

赵胜利^{1,3}, 杨国义², 张天彬², 黄宁生^{1,3}, 朱照宇¹

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 广东省生态环境与土壤研究所, 广东 广州 510650; 3. 广东省科学院, 广东 广州 510070)

摘要:选择了经济相对发达的珠江三角洲城市群中的典型中小城市的菜地和果园土壤进行调查取样,对 16 种 PAEs(邻苯二甲酸酯)化合物进行了检测,以研究其分布特征,并初步探讨了本区域的 PAEs 的污染控制问题。结果表明,在珠三角城市中,东莞土壤的 PAEs 含量最高,各地土壤中的 PAEs 平均含量依次为东莞>深圳(珠海)>中山(惠州);从珠三角城市菜地和果园的平均 PAEs 分布来看,东莞和深圳的菜地 PAEs 明显高于果园;珠海、中山和惠州菜地的平均 PAEs 与果园基本持平。16 种 PAEs 类化合物在珠江三角洲不同城市的分布各异,东莞市果园和菜地土壤中有 11 种 PAEs 含量是采样的 5 个城市中最高的,表明东莞市土壤受到 PAEs 污染相对严重,并且值得关注的是东莞土壤中的 HEP 含量要远远高于其他 PAEs 化合物。虽然与国内外其他城市土壤相比,所取样调查的珠江三角洲城市土壤中的 PAEs 含量相对不高,但与美国土壤 PAEs 控制标准相比,珠三角城市果园和菜地土壤的 PAEs 主要表现为 DEP 和 DnBP 超标,这两类 PAEs 化合物应该成为重点的污染控制对象。

关键词:珠三角地区;土壤;邻苯二甲酸酯

中图分类号:X833 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)06-1147-06

Study on Plasticizer(Phthalic Acid Esters, PAEs) Pollution in Soils from Typical Cities in Pearl River Delta

ZHAO Sheng-li^{1,3}, YANG Guo-yi², ZHANG Tian-bin², HUANG Ning-sheng^{1,3}, ZHU Zhao-yu¹

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Guangdong Institute of Ecology and Environmental and Soil Sciences, Guangzhou 510650, China; 3. Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China)

Abstract: Phthalic acid esters(PAEs) are the main plasticizers that are widely used in many industries. PAEs are toxic to animals and human and they can accumulate in the soils. Therefore, PAEs will enter the environment and result in the soil pollution. Soils from typical cities in Pearl River Delta(PRD), one of the fastest economy growth regions of China, were investigated. Sixteen PAEs concentrations of surface soil(0~20 cm) samples from soils of typical cities in this region were determined by gas chromatography. The results showed that the averaged concentration of PAEs in the soils had the highest value in Dongguan city with the order of Dongguan>Shenzhen and Zhuhai>Zhongshan and Huizhou. In Dongguan and Shenzhen, in vegetable and orchard soil of Dongguan, eleven of the 16 PAEs had highest concentrations in the vegetable and orchard soils, in Dongguan, implying that the pollution by PAEs in Dongguan were relatively high in PRD region. The concentrations of the cleanup objective of PAEs compounds(i.e. DMP, DEP, DnBP, BBP, DnOP, and DEHP) in vegetable and orchard soils in the whole PRD were lower than those in the soils from Jinan city and in some agricultural soils from Denmark, but two of them(DEP and DnBP) were higher than the PAEs controlling standard set for USA soils. DEP and DnBP seemed to be the main pollutants of PAEs in PRD regions.

Keywords: Pearl River Delta; soil; PAEs

邻苯二甲酸酯(Phthalic Acid Esters, 以下简称 PAEs)是主要的塑料增塑剂^[1],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^[2],对环境造成了污染。

PAEs 具有一般毒性和特殊毒性(致畸、致突变性或致癌活性)^[3-4]。例如,DEHP 对发育中及成年动物的多种组织系统包括肝、生殖系统、肾、肺及心脏等都有广泛的毒性作用。PAEs 急性毒性不高,但在大剂量的

收稿日期:2008-10-14

基金项目:广东省科技计划项目(2007B030101006);广东省自然科学基金研究团队项目“珠江三角洲人地系统演进与人地关系协调研究”(批准号:04201163)

作者简介:赵胜利(1976—),男,博士研究生,主要从事白色污染方面的研究。E-mail: zhaosl@gzb.ac.cn

情况下,对动物有致畸胎和致突变作用^[9]。PAEs对水生生物毒性研究表明^[6],除对底泥中生物群落的急性毒性外,还可能引起微生物群体平衡失调,破坏分解链的某个环节,以致影响整个水生生态系统的变化^[7]。PAEs毒性除致畸、致癌和致突变性外,同时邻苯酸酯类某些化合物如DBP、DEHP还是环境激素类物质(Environmental Hormone)或内分泌干扰物质(Endocrine Disrupting Chemicals)。作为内分泌干扰物其主要是对动物生殖方面的扰乱如使精囊萎缩、精子数量减少以至于精子形成中止、生殖能力下降、后代数量减少、体重下降、子宫粘膜组织增生等^[4]。

土壤是环境中PAEs的储库和中转站。近年来,国内外对PAEs在土壤中的生物有效性、迁移和降解等方面做了很多研究^[8-12],但有关典型区域城市群土壤中的PAEs污染的调查研究尚不多见。本文选择了经济相对发达的珠江三角洲城市群中的典型中小城市(东莞市、深圳市、珠海市、中山市、惠州市)的菜地和果园土壤进行调查取样,并用气相色谱的方法对16种PAEs化合物进行检测,以研究其分布特征,并初步探讨了本区域的PAEs的污染控制问题。

1 材料与方法

1.1 研究区域

样品采集的区域为珠江三角洲地区(以东莞市、深圳市、珠海市、中山市、惠州市为代表,其中东莞市、惠州市属于东江流域,中山市和珠海市属于西、北江流域,惠州市属山区)。

1.2 土壤的采集

根据珠三角的工业布局、土壤类型、农业生产布局等因素来确定采样点。采样点分布在珠三角典型城市的面积较大,有代表性的农业生产基地,共计177个(图1)。采取多点采样混合法,即在一定面积的农田采集10~15个点形成一个土壤的混合样,四分法留

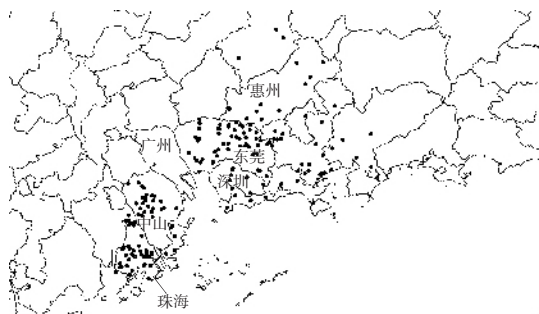


图1 采样点位置图

Figure 1 The Sampling Locations

取1 kg土样装入棕色玻璃瓶中。采集回的土壤样品若暂时未作分析保存于冰箱备用。

1.3 样品的分析

1.3.1 试剂

本研究共分析测定了16种PAEs有机物含量。16种PAEs包括邻苯二甲酸二甲酯(DMP)、邻苯二甲酸二乙酯(DEP)、邻苯二甲酸二异丁酯(DIP)、邻苯二甲酸二正丁酯(DBP)、邻苯二甲酸二(甲氧基乙基)酯(BMP)、邻苯二甲酸己基-2-乙基己酯(HEP)、邻苯二甲酸(2-乙氧基乙基)酯(BEHP)、邻苯二甲酸二戊酯(DAP)、邻苯二甲酸二正己酯(DHP)、邻苯二甲酸丁基苄基酯(BBP)、邻苯二甲酸(4-甲基-戊基)酯(BMPP)、邻苯二甲酸二(2-丁氧基乙基)酯(BnBP)、邻苯二甲酸二环己甲基酯(DCP)、邻苯二甲酸二正辛酯(DOP)、邻苯二甲酸二壬酯(DnP)和邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)。16种PAEs标样(PT806121M, Chem Service公司, 美国)浓度为 $1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。内标物(纯品)为苯甲酸苯甲酯,回收率指示物(纯品)为间苯二甲酸二苯酯。层析用硅胶析用硅胶(80~100目)经抽提后在 $180\ ^\circ\text{C}$ 、氧化铝(100~200目)经抽提后在 $250\ ^\circ\text{C}$ 下分别活化12 h,冷却,再加入3%的去离子水,平衡后放入干燥器中备用。无水硫酸钠(分析纯)于 $450\ ^\circ\text{C}$ 马福炉中灼烧6 h,冷却备用。二氯甲烷、丙酮为分析纯,采用全玻璃蒸馏系统二次蒸馏,并经色谱检验无杂峰。正己烷、甲醇为HPLC级(美国D I KMA公司)。

1.3.2 样品处理

分析将冷冻保存的土样在室温条件下风干,研磨细过筛(60目),保存于磨口瓶中,取土壤样品20 g于索氏抽滤筒中,在250 mL平底烧瓶中加入200 mL二氯甲烷,2 g活化过的铜片,在水浴锅上连续索氏提取48 h。提取温度保持在 $46\ ^\circ\text{C}$,冷却循环水温度调节为 $10\ ^\circ\text{C}$,控制回流速度在 $5\sim 6\ \text{次}\cdot\text{h}^{-1}$ 。提取液在旋转蒸发仪上浓缩到1 mL后,加入10 mL正己烷转换溶剂,继续浓缩至1~2 mL。过硅胶/氧化铝(2:1)层析柱,净化柱为1 cm内径的进口层析柱,采用正己烷湿法装柱,从下至上依次为硅胶12 cm,氧化铝6 cm,无水硫酸钠2 cm,用40 mL丙酮/正己烷(2:8, v/v)淋洗出邻苯二甲酸酯。淋洗液经正己烷转换溶剂后,用高纯氮气吹至0.2 mL,加入内标物进行定量分析。

1.3.3 色谱分析条件

SHIMADZU GC-2010气相色谱仪(岛津公司,日本),进样口温度 $250\ ^\circ\text{C}$,检测器温度 $310\ ^\circ\text{C}$,程序升

温:初始温度 100 ℃,保留 5 min,以 6 ℃·min⁻¹至 290 ℃,保持 10 min。载气与补充气均为高纯氮(N₂,99.999%),不分流进样,进样量 1 μL,柱流量 2.5 mL·min⁻¹。采用 PAEs 化合物标样的 0、100、500、1 000、5 000 ng·mL⁻¹ 为工作曲线。

2 结果与讨论

2.1 珠江三角洲典型城市土壤中 PAEs 的平均含量

在珠三角城市中,东莞土壤的 PAEs 含量最高,平均达 3 710 μg·kg⁻¹;比居于次位的深圳高 3 倍。惠州土壤的 PAEs 最低,为 600 μg·kg⁻¹;中山与惠州接近,为 715 μg·kg⁻¹。珠海与深圳基本含量相近,为 1 000 μg·kg⁻¹ 左右。各地土壤中的 PAEs 均值高低顺序依次为东莞>深圳、珠海>中山、惠州(图 2)。据此推测,PAEs 残留状况与当地的经济之间可能有着直接的联系:例如,东莞市经济发展较快,集中了珠江三角洲较多的工业企业(如印刷厂、漂染厂、皮革厂、电镀厂、玩具厂、塑胶厂、玻璃厂等),这些企业会使用并产生大量的废弃塑料,从而直接影响了土壤中 PAEs 的残留量^[13]。

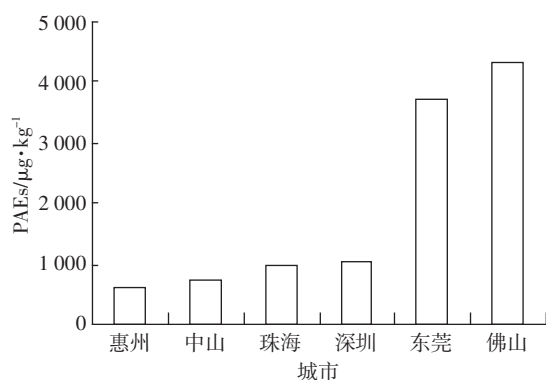


图 2 珠江三角洲不同城市土壤中 PAEs 的含量(μg·kg⁻¹)

Figure 2 The concentration of PAEs in the soil of different cities of Pearl River Delta(μg·kg⁻¹)

2.2 珠江三角洲不同城市不同类型土壤中 PAEs 的研究

环境中的 PAEs 除少数来自天然途径外,主要来源于人工合成^[14-15]。PAEs 主要以增塑剂的形式进入环境中,它与聚烯烃类塑料分子之间由氢键或范德华力连接,各自具有相对独立的化学性质^[16],因此,可由塑料中扩散到外环境中。所调查的土壤中,除珠海菜地土壤中的平均 PAEs 含量比果园略,其他城市的菜地土壤中的平均 PAEs 含量都高于果园高。关卉等调查了雷州半岛土壤的 PAEs 情况,其分析结果也显示菜地的 PAEs 含量要高于果园。这可能是由于菜地土壤

使用农膜量相对于果园较大,老化、腐烂的塑料薄膜残留在土壤中,增加了土壤中 PAEs 的含量所致^[12]。

从珠三角城市菜地和果园的平均 PAEs 分布来看,东莞和深圳的菜地 PAEs 明显高于果园;珠海、中山和惠州菜地的平均 PAEs 与果园基本持平。其中,深圳菜地的 PAEs 比果园多 2 倍(图 3),这可能是与深圳菜地使用农膜量相对较大有关。而东莞的菜地和果园的 PAEs 值都远高于其他城市,说明东莞的土壤受到 PAEs 污染的情况非常严重。

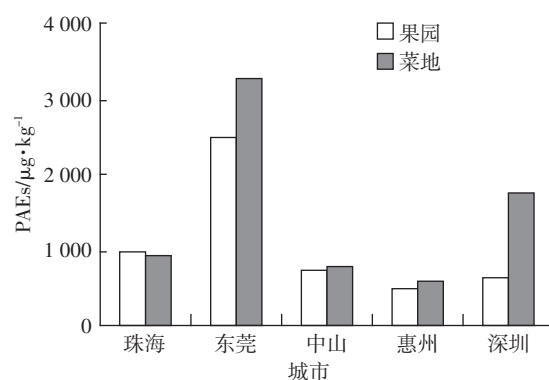


图 3 珠江三角洲菜地果园土壤中的 PAEs 分布比较(μg·kg⁻¹)

Figure 3 The compare of distribution of PAEs between vegetable and orchard soil of Pearl River Delta(μg·kg⁻¹)

2.3 16 类 PAEs 化合物在珠三角城市群的分布

16 类 PAEs 化合物在珠三角城市群的分布情况如表 1 所示。其中 6 种优控 PAEs 化合物分布如下:

从 DMP 的分布来看,无论是果园还是菜地,DMP 在珠海土壤中的含量最多,果园土壤中的 DMP 的含量为 49.52 μg·kg⁻¹,菜地为 34.89 μg·kg⁻¹。而在东莞、中山和惠州的果园的土壤中都未检出 DMP。

东莞的果园和菜地的 DEP 含量是最高的,菜地为 284.21 μg·kg⁻¹,果园为 213.75 μg·kg⁻¹;其次为深圳,菜地为 277.38 μg·kg⁻¹,果园为 108.58 μg·kg⁻¹;珠海的 DEP 含量也比较高,菜地为 144.13 μg·kg⁻¹,果园为 98.90 μg·kg⁻¹。而中山和惠州的 DEP 含量相对都很低,其中惠州的果园没有检出 DEP。

中山市土壤的 DnBP 含量在所采样的 5 个城市中是最高,其中果园达到 479.08 μg·kg⁻¹,菜地为 233.40 μg·kg⁻¹。而深圳市的果园和菜地土壤均未检出 DnBP,东莞的果园也未检出 DnBP。珠海和惠州土壤的 DnBP 含量近似。

东莞菜地土壤的 BBP 的含量也比其他 4 个城市高很多,达到 72.35 μg·kg⁻¹;东莞的果园,和珠海、深圳的果园和菜地的土壤 BBP 含量相近,为 20 μg·kg⁻¹ 左

表 1 16 类 PAEs 化合物在珠三角城市群的分布($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)Table 1 Distribution of 16 kinds of PAEs in soils from cities of Pearl River Delta ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

土壤 PAEs	深圳		东莞		中山		珠海		惠州	
	果园	菜地	果园	菜地	果园	菜地	果园	菜地	果园	菜地
DMP	13.34	4.82	—	14.21	—	15.84	49.52	34.89	—	4.47
DEP	108.58	277.38	213.75	284.21	5.26	2.38	98.9	144.13	—	11.53
DnBP	—	—	—	164.83	479.08	233.4	159.44	143.67	169.05	153.15
BBP	19.72	21.73	27.25	72.35	5.98	4.71	16.17	21.08	—	2.84
DEHP	65.24	92.91	247.55	253.56	75.02	174.72	56.79	75.44	46.93	94.45
DnOP	33.17	43.55	109.08	73.13	5.69	17.38	35.54	50.04	5.83	10.67
DIP	87.32	26.56	—	42.2	147.94	79.24	159.44	143.67	76.74	49.5
BMP	—	—	264.93	189.33	—	35.21	6.49	14.25	—	11.28
HEP	16.4	26.52	1 163	1 352	—	23.94	18.91	22.21	135.15	70.61
BEHP	—	18.62	71.95	97.69	—	142.53	86.57	42.99	40.89	121.8
DAP	—	—	36.48	70.23	—	6.275	—	—	9.81	14.16
DHP	9.33	4.81	35.95	51.66	—	2.86	14.07	8.26	—	1.94
BMPP	6.72	3.76	11.78	42.6	—	3.2	7.29	10.2	—	—
BnBP	88.65	139.03	—	116.73	—	19.63	146.86	113.03	—	19.49
DCP	18.63	18.45	45.4	53.93	—	20.38	11.98	15.47	—	5.81
DnP	158.71	190.58	241.1	381.49	16.11	11.95	149.81	232.83	20.66	16.22

右。惠州最低,菜地土壤中 BBP 含量仅为 $2.84 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 并且果园没有检出 BBP。

东莞果园和菜地土壤的 DEHP 含量均为 $250 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 左右,中山的菜地土壤的 DEHP 含量也比较高,为 $174.72 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。珠海、惠州和深圳果园和菜地土壤的 DEHP 的含量为 $50\sim 100 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间。

东莞果园和菜地的土壤中的 DnOP 含量相对于其他 4 个城市都比较高,其中东莞的果园土壤中 DnOP 的含量最高,为 $109.08 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;东莞菜地的土壤中的 DnOP 的含量为 $73.13 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。珠海和深圳果园和菜地的土壤的 DnOP 的含量接近,在 $35\sim 50 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间。中山和惠州果园和菜地土壤的 DnOP 的含量最少,均小于 $20 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

另外,非常值得关注的是东莞市果园和菜地土壤的 HEP 含量均超过了 $1\ 100 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,远远高于其他城市。而其他 4 个城市土壤的 HEP 含量相对东莞明显减少,且均未超过 $150 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

以上分析表明各种 PAEs 化合物的分布是不同的。被取样的 5 个城市中,珠海果园和菜地的土壤的 DMP、DIP 含量最高,中山果园和菜地的土壤的 DnBP 最高,东莞果园和菜地的 DEP、BMP、HEP、DAP、DHP、BBP、BMPP、DCP、DEHP、DnOP 和 DnP 含量最高,说明不同城市所受到的主要 PAEs 化合物污染的种类不同,而东莞市是 PAEs 污染最为严重的城市,

16 个 PAEs 化合物中 11 个都是东莞的果园和菜地土壤的含量最高。因而对本区域不同城市的 PAEs 化合物污染的防控与治理要根据土壤中主要的 PAEs 种类来进行。

2.4 珠江三角洲不同城市的土壤中 PAEs 含量的污染状况

与国内外其他地区农业土壤中 PAEs 残留量比较表明(表 2),珠江三角洲土壤中 6 种优控 PAEs 含量均低于华南农业大学农场通菜盆栽土、济南市郊农业土壤和丹麦农业区土壤。珠江三角洲 6 种优控 PAEs 的平均含量相对不高,由此推测,国内外其他地区土壤可能存在着更严重的 PAEs 污染。

目前,国际上尚无用于土壤 PAEs 污染评价和治理的统一标准,根据美国土壤中 PAEs 化合物控制标准和治理标准,在所调查取样的珠江三角洲土壤中,6 种 PAEs 的含量均未超过美国土壤 PAEs 治理标准;而相对于控制标准而言,东莞果园土壤的 DEP 超标 201%,菜地土壤的 DEP 超标 300%,菜地的 DnBP 超标 103%;深圳菜地土壤的 DEP 超标 290%,果园土壤的 DEP 超标 52%;珠海果园土壤的 DEP 超标 39%,DnBP 超标 96%,菜地土壤的 DEP 超标 103%,DnBP 超标 77%;中山菜地 DnBP 超标 188%,果园的 DnBP 超标 491%;惠州菜地 DnBP 超标 89%,果园的 DnBP 超标 109%。总体来看,珠三角城市果园和菜地

表 2 不同区域农业土壤优控 PAEs 平均含量以及与美国土壤 PAEs 化合物标准的比较($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)Table 2 Compare of concentration of PAEs compounds in agricultural soils from different region and soil allowable concentration and cleanup objective of PAE compounds in USA($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

样品地区	DMP	DEP	DnBP	BBP	DnOP	DEHP
美国土壤中 PAEs 化合物控制标准/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [20]	0.020	0.071	0.081	1.215	1.200	4.35
美国土壤中 PAEs 化合物土壤治理 标准/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [20]	2.0	7.1	8.1	50.0	50.0	50.0
珠江三角洲	0.014	0.115	0.150	0.019	0.038	0.118
珠江三角洲土壤中 PAEs 化合物相 对于美国控制标准的超标程度(%)	未超标	东莞果园(201%),菜地(300%); 深圳果园(52%),菜地(290%); 珠海果园(39%),菜地(103%)	东莞菜地(103%);珠海果园(96%), 菜地(77%);中山菜地(188%),果园 (491%);惠州菜地(89%),果园(109%)	未超标	未超标	未超标
华南农大通菜盆栽土 ^[9]	0.149	0.173	6.587	0.194	0.095	0.469
济南市郊农田 ^[17]	—	1.30	1.84	—	—	2.54
济南市郊菜地 ^[18]	—	—	1.5	—	1.1	2.0
济南市郊麦地 ^[18]	—	—	1.1	—	0.8	1.2
丹麦粪肥农业区 ^[19]	—	—	1.6	0.12	4.3	25
丹麦化肥农业区 ^[19]	—	—	1.1	0.06	1.5	40

土壤的 PAEs 主要为 DEP 和 DnBP 相对于美国土壤 PAEs 控制标准超标,这两类 PAEs 化合物应该成为重点的污染控制对象。DnBP 的分子量较大,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,不易被生物降解或通过其他途径消失,易在土壤中累计^[21-22]。而 DEP 虽然的水溶性较高,辛醇-水分配系数较小,容易被生物降解或通过其他途径消失^[23],却也成为主要的超标化合物之一,表明在该区域 DEP 的污染频率很高,DEP 进入土壤,形成土壤污染的速度远远高于其通过被生物降解等途径消失的速度。

3 结论

在珠三角城市中,东莞土壤的 PAEs 含量最高,各地土壤中的 PAEs 均值高低顺序依次为东莞>深圳(珠海)>中山(惠州)。除珠海外,其他城市的菜地土壤中的平均 PAEs 含量都比果园高,估计是由于菜地土壤使用农膜量相对于果园较大所引起的。从珠三角城市菜地和果园的平均 PAEs 分布来看,东莞和深圳的菜地 PAEs 明显高于果园;珠海、中山和惠州菜地的平均 PAEs 与果园基本持平。16 种 PAEs 类化合物在珠江三角洲不同城市的分布的是不同的,说明不同城市所受到的主要 PAEs 化合物污染的种类不同;16 个 PAEs 化合物中 11 个都是东莞的果园和菜地土壤的含量最高,并且值得关注的是东莞土壤中的 HEP 含量要远远高于其他 PAEs 化合物,说明东莞市是 PAEs 污染最为严重的城市,因而对本区域不同城市

的 PAEs 化合物污染的防控与治理要根据土壤中主要的 PAEs 种类来进行。根据美国土壤中 PAEs 化合物控制标准和治理标准,珠三角城市果园和菜地土壤的 PAEs 主要为 DEP 和 DnBP 相对于美国土壤 PAEs 控制标准超标,这两类 PAEs 化合物应该成为重点的污染控制对象。

参考文献:

- [1] Turner A, Rawling M C. The behaviour of di-2-ethylhexyl phthalate in estuaries[J]. *Marine Chemistry*, 2000, 68(1):203-217.
- [2] 蔡全英,莫测辉,李云辉,等. 广州、深圳地区蔬菜生产基地土壤中邻苯二甲酸酯(PAEs)研究[J]. *生态学报*, 2005, 25(2):283-288.
CAI Quan-ying, MO Ce-hui, LI Yun-hui, et al. The study of PAEs in soils from typical vegetable fields in areas of Guangzhou and Shenzhen, South China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(2):283-288.
- [3] 赵振华. 酞酸酯对人与环境潜在危害的研究概况[J]. *环境化学*, 1991, 10(3):64-68.
ZHAO Zhen-hua. Review of environmental and human health hazards of phthalate esters[J]. *Environmental Chemistry*, 1991, 10(3):64-68.
- [4] 金朝晖,李红亮,柴英涛,等. 酞酸酯对人与环境的危害[J]. *上海环境科学*, 1997, 16(12):39-42, 45.
JIN Zhao-hui, LI Hong-liang, CHAI Ying-tao, et al. Harmful effect of phthalic acid ester on human and environment[J]. *Shanghai Environmental Science*, 1997, 16(12):39-42, 45.
- [5] Agarwal D K, Lawrence W H, J Autian. Antifertility and mutagenic effects in mice from parenteral administration of DEHP[J]. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 1985, 16(1):71-84.
- [6] Larsson P, Thuren A, Gahnstrom G. Phthalate esters inhibit microbiological activity in aquatic sediment[J]. *Environmental Pollution(Series A)*, 1986, 42(3):223-231.

- [7] Charles A Staples, William J Adams, Thomas F Parkerton, et al. Aquatic toxicity of eighteen phthalate esters[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1997, 16(5):875-891.
- [8] 蔡全英, 莫测辉, 曾巧云, 等. 邻苯二甲酸酯在不同品种通菜-土壤系统中的累积效应研究[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(8):1455-1458. CAI Quan-ying, MO Ce-hui, ZENG Qiao-yun, et al. Accumulation of di-(2-ethylhexyl)phthalate in various genotype Ipomoea aquatica-paddy soil system[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8):1455-1458.
- [9] 蔡全英, 莫测辉, 朱夕珍, 等. 城市污泥与稻草堆肥中邻苯二甲酸酯(PAEs)的研究[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(11):1993-1996. CAI Quan-ying, MO Ce-hui, ZHU Xi-zhen, et al. PAEs in composts of municipal sludge and rice straw[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11):1993-1996.
- [10] 尹睿, 林先贵, 王曙光, 等. 土壤中DBP/DEHP污染对几种蔬菜品质的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(1):1-5. YIN Rui, LIN Xian-gui, WANG Shu-guang, et al. Influence of DBP/DEHP pollution in soil on vegetable quality[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2004, 23(1):1-5.
- [11] 庞金梅, 段亚利, 池宝亮, 等. DEHP在土壤和白菜中的残留及毒性分析[J]. *环境化学*, 1995, 14(3):239-242. PANG Jin-mei, DUAN Ya-li, CHI Bao-liang, et al. Residue and toxicity of DEHP in the soil and chinese cabbage[J]. *Environmental Chemistry*, 1995, 14(3):239-242.
- [12] 安琼, 靳伟, 李勇, 等. 酞酸酯类增塑剂对土壤-作物系统的影响[J]. *土壤学报*, 1999, 36(1):118-126. AN Qiong, QIN Wei, LI Yong, et al. Effect of PAEs plasticizers on soil-crop system[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(1):118-126.
- [13] 张天彬. 珠江三角洲典型区域土壤-植物-水系统中的有机污染研究[D]. 广州:中国科学院华南植物园, 2006:117. ZHANG Tian-bin. Study on Organic Pollutants in Soil-Plant-Water System in the Typical Areas of Pearl River Delta[D]. Guangzhou:South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, 2006:117.
- [14] 金相灿主编. 有机化合物污染化学:有毒有机物污染化学[M]. 北京:清华大学出版社, 1990:266-275. JIN Xiang-can. Organic compound pollution chemistry:toxic organic pollutant chemistry[M]. Beijing:Qinghua Press, 1990:266-275.
- [15] 斯尼茨尔 M, 汉著 S U. 吴奇虎, 等译. 环境中的腐殖物质[M]. 北京:工业出版社, 1979:218-219. Schnitzer M, Khan S U. Humus substance in environment[M]. Beijing:Industry Press, 1979:218-219.
- [16] Klammsmeier R E. In: I E Liener (Ed). Microbial biodeterioration[M]. Academic Press, London, 1981:431.
- [17] 孟平蕊, 王西奎. 济南市土壤中酞酸酯的分析与分布[J]. *环境化学*, 1996, 15(5):427-432. MENG Ping-rui, WANG Xi-kui. Determination and distribution of phthalate alkyl esters in soil in Jinan[J]. *Environmental Chemistry*, 1996, 15(5):427-432.
- [18] 孟平蕊, 王西奎, 徐广通, 等. 土壤中痕量酞酸酯的提取与分析方法研究[J]. *分析测试学报*, 1995, 14(1):42-45. MENG Ping-rui, WANG Xi-kui, XU Guang-tong, et al. Extraction and analysis of trace phthalate esters in soil[J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 1995, 14(1):42-45.
- [19] Vikesøe J, Marianne Thomsen, Lars Carlsen. Phthalates and nonylphenols in profiles of differently dressed soils[J]. *The Science of the Total Environment*, 2002, 96:105-116.
- [20] New York State Department of Environmental Conservation. SVOCs soil cleanup objectives. 2003, Appendix A of TAGM # 4046[2006-11-04]. <http://www.dec.state.ny.us/website/der/tagms/prtg4046c>.
- [21] Inman J C, Strachan S D, Sommers L E, et al. The decomposition of phthalate esters in soil[J]. *Journal of Environmental Science and Health*, 1984, 19(2):245-257.
- [22] Ligocki M P, Leuenberger C, Pankow J F. Trace organic compounds in rain—II. gas scavenging of neutral organic compounds [J]. *Atmospheric Environment*, 1985, 19(10):1609-1617.
- [23] Cartwright C D, Thompson I P, Burns R G. Degradation and impact of phthalate plasticizers on soil microbial communities[J]. *Environmental Toxicology Chemistry*, 2000, 19(5):1253-1261.