

土壤中 DBP/DEHP 污染对几种蔬菜品质的影响

尹睿¹, 林先贵¹, 王曙光², 张华勇¹, 陈瑞蕊¹, 王俊华¹

(1. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要:采用田间试验方法,考察了土壤中 DBP(邻苯二甲酸二丁酯)和 DEHP(邻苯二甲酸二异辛酯)污染对番茄、莼菜和胡萝卜品质的影响。结果表明,与对照相比,当土壤中 DBP/DEHP(1:1 *m/m*)施加量为 20 mg·kg⁻¹ 土和 200 mg·kg⁻¹ 土时,番茄果实中维生素 C 含量分别降低 8.53% 和 23.86%,莼菜茎叶中维生素 C 含量分别降低 4.77% 和 24.62%;番茄果实中可溶性糖含量分别增加 32.11% 和 42.95%,可滴定酸度分别降低 0.58% 和 20.66%,糖酸比分别提高 33.07% 和 82.02%;胡萝卜块根中总类胡萝卜素含量分别增加 6.19% 和 6.97%。表明 DBP 和 DEHP 可以影响蔬菜的品质。它们对蔬菜品质的影响并不是因为对植物生长的毒害作用而引起的,而可能是由于干扰了植物正常的生理代谢而引起的。在番茄、莼菜和胡萝卜的果实、茎叶和根系中都检测到了 DBP 和 DEHP 的残留,残留量随土壤中施加 DBP/DEHP 浓度的增加而增加。在植物的地上部分 DBP 的含量较高,而 DEHP 含量很低,说明植物容易吸收积累 DBP,而对 DEHP 的吸收很少。

关键词:邻苯二甲酸二丁酯; 邻苯二甲酸二异辛酯; 土壤污染; 蔬菜品质

中图分类号:X503.231 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2004)01-0001-05

Influence of DBP/DEHP Pollution in Soil on Vegetable Quality

YIN Rui¹, LIN Xian-gui¹, WANG Shu-guang², ZHANG Hua-yong¹, CHEN Rui-rui¹, WANG Jun-hua¹

(1. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: A field experiment was conducted to investigate effects of DBP and DEHP on quality of tomato, water spinach and carrot grown in DBP and DEHP-contaminated soil. The results showed that when the soils were receiving the mixture of DBP and DEHP at rate of 20 mg·kg⁻¹ and 200 mg·kg⁻¹ (1:1 *m/m*), the vitamin C contents decreased by 8.53% and 23.86% in tomato fruit, and 4.77% and 24.62% in water spinach shoot, respectively, as compared with control. However, the soluble sugar content in tomato fruit increased by 32.11% and 42.95%, respectively, while acidity decreased by 0.58% and 20.66%, respectively. The total carotenoid content in carrot root increased 6.19% and 6.97%, respectively. The results indicated that the pollution of soil by DBP and DEHP did influence the quality of crops. It might be attributed to disturbing effect on plant metabolism rather than the toxic effect on plant growth. Both of DBP and DEHP were detected in tomato, water spinach and carrot and DBP contents were relatively high in the aboveground parts of plants, but DEHP contents were very low, revealing that DBP was readily to be untaken by the plants, but DEHP was not.

Keywords: di-n-butyl phthalate; di-(2-ethylhexyl) phthalate; soil pollution; vegetable quality

DBP(邻苯二甲酸二丁酯, di-n-butyl phthalate)和 DEHP(邻苯二甲酸二异辛酯, di-2-ethylhexyl phthalate)是 2 种最常用的塑料增塑剂,在 PVC 塑料

中其含量可达 40%~60%。近十几年来,我国塑料大棚和农膜使用量急剧增加。据有关资料介绍,1991 年我国农膜使用面积已达 460 万 hm²,1995 年我国农膜总产量已近 60 万 t^[1]。随着塑料薄膜的大量使用,越来越多的 DBP 和 DEHP 被释放进入农田土壤,它们已成为在农田土壤中最常被检出的有机污染物^[2-5]。一些报道研究了它们对植物种子萌发、生长的影响^[6-8]和植物对它们的吸收^[9-11]。但是,很少有关于

收稿日期: 2003-04-30

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(40101015);国家重点基础研究项目(G1999011806)

作者简介: 尹睿(1965—),男,内蒙古巴彦淖尔盟人,博士,副研究员。主要从事环境和土壤微生物方面的研究。

E-mail: ryin@issas.ac.cn

它们对农产品品质影响的报道。我们曾报道土壤中DBP/DEHP污染会降低辣椒果实中维生素C和辣椒素的含量^[12]。在此基础上,又选择另外几种蔬菜进行了田间试验,目的在于进一步确认土壤中DBP/DEHP污染对农产品品质的影响。

1 材料和方法

1.1 试剂和材料

DBP和DEHP(分析纯)分别购自宝应化学试剂厂和振兴化学试剂研究院(苏州)。FlorisilPR60/100购自DIKMA。用于稀释和提取的其它试剂也都为分析纯,并经重蒸。所有的玻璃器皿都用洗液洗涤,置300℃烘箱过夜,冷却后分别用丙酮和石油醚淋洗,使用前风干。

DBP和DEHP标准品购自Chem Service Inc.(USA);维生素C购自中国医药集团上海化学试剂公司。

供试植物为番茄(*Lycopersium esculentum* Mill.)、蕹菜(*Ipomoea aquatica* Forsk)和胡萝卜(*Daucus carota* var. *sativa* DC.)。

1.2 田间试验

1.2.1 试验设置

试验地点位于镇江句容市。土壤类型为黄棕壤(有机质3.16%;全氮0.202%;全磷(P₂O₅)0.306%;全钾(K₂O)2.32%;速效磷280.1mg·kg⁻¹;水解氮395.8mg·kg⁻¹;pH4.42(1:2.5水提))。试验包括3种蔬菜,每种分为对照(CK)、低水平污染(low-level contamination)和高水平污染(high-level contamination)3个处理,每个处理4次重复,共有36个小区,每个小区面积2.0m×2.0m,各小区间由保护行隔开,每种蔬菜小区随机排列。

1.2.2 施药

按实际生产操作步骤将土壤翻耕,耙匀,分小区施药。等量称取DBP和DEHP,用重蒸石油醚配制成总浓度为3000mg·L⁻¹的贮备液。施用时,按需要量量取一定体积的贮备液,再加入3000mL自来水,为使供试物在水中分散均匀,需加3~5mL吐温-80,5mL丙酮,摇匀成乳状液。将此乳状液置于农用喷雾器中喷洒于小区土表,边喷边耙匀,使供试物在0~5cm土壤中分布均匀。

1.2.3 种植和取样

施药后次日,待丙酮挥发尽后,移栽番茄幼苗(每小区5行,每行6株)或播种蕹菜和胡萝卜种子。常规

田间管理。试验从2001年4月中旬开始,分别在六、七和八月初当可食部分可采收时采集蕹菜、番茄和胡萝卜样品。采样时,随机从每个小区中采集5株,分别收集茎叶、根系和果实。

1.3 DBP/DEHP测定

1.3.1 样品前处理

植物样品中DBP、DEHP残留量的测定方法参照有关资料^[12]:分别采集植物根、茎、叶及果实样品,经50℃~60℃烘干,研碎后过1mm筛。称取1g(精确至0.01g)样品于100mL磨口三角瓶中,加提取液(丙酮:石油醚=1:1V/V)20mL,无水硫酸镁3g。室温下振荡提取4h,过滤,并用40mL提取液分3次洗涤,滤液和洗液合并于预先装有6%结晶硫酸钠溶液的200mL分液漏斗中。分液漏斗置于振荡器上振荡5min,静止分层,去除水相,从上口将有机相转入梨形瓶中,经K-D浓缩仪浓缩至2~3mL,此液经Florisil柱净化,再经K-D浓缩仪浓缩定容后进GC-ECD检测。

1.3.2 气相色谱条件

气相色谱仪为GC-9A配电子捕获检测器,色谱柱内径4mm,长2m,10%SE-30涂于Chromsorp-WHP80~100目上,C-R3A自动积分记录仪。DBP测定条件为:检测器温260℃,柱温200℃,载气N₂,流速,30mL·min⁻¹,F:0[#]。峰高外标法定量。DEHP测定条件为:检测器温260℃,柱温220℃,载气N₂,流速,25mL·min⁻¹,F:2[#]。峰高外标法定量。

1.4 其它测定:

维生素C含量测定采用2,4-二硝基苯肼比色法,参照文献[13];可溶性糖、可滴定酸度和总类胡萝卜素的测定参照文献[14]。

表1 试验小区中DBP/DEHP本底和施加浓度
Table 1 DBP/DEHP concentration fortified in the test plots

处理		浓度/mg·kg ⁻¹ 干土		
		对照CK	低水平	高水平
DBP	本底	4.49	4.49	4.49
	施加	0	10	100
DEHP	本底	4.43	4.43	4.43
	施加	0	10	100
总浓度		8.92	28.92	208.92

2 结果

2.1 DBP/DEHP对蔬菜维生素C含量的影响

维生素C是人体生活细胞为维持正常生理功能所必需的微量天然有机物,新鲜的蔬菜和水果是维生

素 C 的主要来源。番茄和蕹菜是两种维生素 C 含量较高的蔬菜,因此,维生素 C 含量可以作为其重要的营养品质指标。当蕹菜茎叶长到可采食时随机采集 5 株植株,洗净后用匀浆器捣碎混匀,立即测定。当番茄果实成熟时,随机采集 5 株植株,以果实大小为标准采收全部果实,用匀浆器捣碎混匀后立即取样测定。结果表明,随土壤中 DBP/DEHP 施加量的增加,番茄果实和蕹菜茎叶中维生素 C 含量都有不同程度的下降(图 1)。与对照相比,当土壤中 DBP/DEHP 施加量为 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土和 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土时,番茄果实中维生素 C 含量分别降低 8.53% 和 23.86%,蕹菜茎叶中维生素 C 含量分别降低 4.77% 和 24.62%。

图 1 DBP/DEHP 对番茄果实和蕹菜茎叶中维生素 C 含量的影响

Figure 1 Influence of DBP/DEHP on vitamin C contents in tomato fruits and water spinach shoots

2.2 DBP/DEHP 对番茄果实糖酸比的影响

番茄果实中含有大量可溶性糖和游离有机酸,它们的含量及其比例影响果实的口味和成熟度。采用蒽酮法测定果实中可溶性糖的含量,采用滴定法测定有机酸的百分含量,结果见表 2。可以看出,随着土壤中 DBP/DEHP 施加量的增加,番茄果实中可溶性糖含量增加,有机酸总量下降,从而使糖酸比显著增加。与对照相比,当土壤中 DBP/DEHP 施加量为 $20\text{ mg}\cdot$

表 2 DBP/DEHP 对番茄果实中可溶性糖含量和可滴定酸度的影响

Table 2 Influence of DBP/DEHP on soluble sugar contents and titrated acidity of tomato fruit

项目	处理	平均值	标准偏差
可溶性糖/%	CK	0.164b [*]	0.045
	$20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.203a	0.042
	$200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.222a	0.038
可滴定酸度/%	CK	0.918a	0.115
	$20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.892a	0.136
	$200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.684b	0.163
糖酸比	CK	0.179b	0.045
	$20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.232b	0.062
	$200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.352a	0.133

注:同一栏同一列的不同字母表示差异显著($P<0.05$)

kg^{-1} 土和 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土时,番茄果实中可溶性糖含量分别增加 32.11% 和 42.95%,可滴定酸度分别降低 0.58% 和 20.66%,糖酸比分别提高 33.07% 和 82.02%。

2.3 DBP/DEHP 对胡萝卜根中总类胡萝卜素含量的影响

类胡萝卜素包括叶黄素和胡萝卜素,其中胡萝卜素在人体和动物小肠黏膜内能转变为维生素 A。胡萝卜是富含胡萝卜素的蔬菜,胡萝卜素含量可以作为其营养品质指标。对胡萝卜根中总类胡萝卜素含量的测定表明,随土壤中 DBP/DEHP 施加量的增加,胡萝卜根中总类胡萝卜素含量增加,与对照相比,当土壤中 DBP/DEHP 施加量为 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土和 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土时,总类胡萝卜素含量分别增加 6.19% 和 6.97%。

图 2 DBP/DEHP 对胡萝卜根中总类胡萝卜素含量的影响

Figure 2 Influence of DBP/DEHP on total carotenoid contents in carrot roots

2.4 蔬菜体内 DBP/DEHP 的残留量

利用气相色谱测定了几种蔬菜果实、茎叶和根系中 DBP/DEHP 的残留量。结果表明,几种蔬菜中 DBP 和 DEHP 残留量都随土壤中施加浓度的增加而增加(表 3)。因为供试土壤长年用塑料薄膜覆盖种植蔬菜,DBP 和 DEHP 本底含量较高,分别为 4.49 和 $4.43\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土,因此在对照土壤上生长的蔬菜中也检测到 DBP 和 DEHP 的残留。从表 3 可以看出,当 DBP 和 DEHP 施加浓度为 20 和 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土时,与对照相比,蕹菜茎叶中 DBP 和 DEHP 残留量都有显著增加,番茄果实中 DBP 残留量显著增加,而 DEHP 增加不显著,胡萝卜根中 DEHP 显著增加而 DBP 增加不显著。还可以看出,不同的蔬菜中残留的 DBP 和 DEHP 相对量不同,蕹菜茎叶和番茄果实中 DBP 残留量较高,而 DEHP 残留量较低,但胡萝卜根中 DEHP 残留量较高,而 DBP 残留量较低。

3 讨论

由于酞酸酯类化合物的广泛使用,其在环境中的

表 3 几种蔬菜中不同部位 DBP/DEHP 的含量
Table 3 DBP/DEHP contents in different parts of vegetables grown in soil spiked with DBP/DEHP

植物	处理	DEHP		DBP	
		/mg · kg ⁻¹	SD	/mg · kg ⁻¹	SD
莼菜根	CK	11.95c	1.52	18.49b	2.99
	20	16.51b	2.96	22.01b	2.26
	200	22.92a	2.84	30.60a	2.70
	CK	8.15b	3.23	21.59b	3.40
	20	9.98ab	0.61	26.50ab	4.96
	200	11.95a	1.37	30.41a	4.65
莼菜茎叶	CK	8.15b	3.23	21.59b	3.40
	20	9.98ab	0.61	26.50ab	4.96
	200	11.95a	1.37	30.41a	4.65
番茄根	CK	4.72b	1.75	15.15b	2.95
	20	6.49ab	0.87	19.52ab	5.84
	200	7.51a	1.10	22.12a	2.48
	CK	7.25b	1.17	12.79b	2.39
	20	9.08ab	0.77	14.80b	1.46
	200	9.36a	1.55	20.06a	1.48
番茄果实	CK	5.86a	2.52	13.21b	2.61
	20	6.51a	2.26	17.26ab	3.04
	200	8.40a	0.84	21.56a	3.21
胡萝卜根	CK	14.76b	1.31	4.54b	1.16
	20	18.49b	3.07	6.74ab	2.21
	200	24.62a	4.13	8.09a	1.09
	CK	5.53c	1.81	8.38a	1.45
	20	11.83b	1.21	9.43a	1.78
	200	16.52a	2.74	11.20a	2.67

注:同一栏同一列的不同字母表示差异显著(P <0.05)

释放和对人类及其它生物的毒性影响,已引起人们极大的关注^[15]。但对于酞酸酯对植物的毒性作用仅有极少报道,而且也仅是针对对植物种子发芽和生长的影响^[7,8]。通过田间试验研究了DBP和DEHP对蔬菜品质的影响,结果表明,DBP和DEHP不仅可以导致番茄和莼菜维生素C含量降低,这与我们先用辣椒所做试验的结果相一致^[12],而且会提高番茄果实的可溶性糖含量,降低有机酸含量,并使胡萝卜中类胡萝卜素含量也略有提高。相关分析表明(见表4),这几项品质指标的变化与植物体内DBP或DEHP残留量有显著相关性,表明这些指标的变化确实是由于植

物对DBP和DEHP的吸收而引起的。可以推论,DBP和DEHP对植物的影响并不仅仅是由于对植物细胞的毒性作用而影响了细胞的活性,而很可能是由于在植物细胞内干扰了植物原有的生理生化活动而使代谢产物发生了变化。类似的作用在其它生物上也可发现。Brendan等^[16]报道DOP(邻苯二甲酸二丁酯)能引起在含DOP的培养基上生长的酿酒酵母(Saccharomyces cerevisiae)中不饱和脂肪酸百分含量增加,同时降低细胞热激敏感性,但对酵母生长没有影响。在哺乳动物细胞内,酞酸酯能诱导在脂肪酸氧化过程中起主要作用的过氧化物体(peroxisome)增殖^[17]。也有报道在哺乳动物细胞内,酞酸酯能增加蛋白激酶C(protein kinase C)的活性^[18]。因此有可能DBP和DEHP也会影响植物细胞内的某些类似的蛋白及由其参与的生化过程。

有关植物对DBP和DEHP的吸收,已有研究表明植物可以通过根系从土壤中吸收积累DBP,而且吸收的量随土壤中浓度的增加而增加^[9~11];对于DEHP,则有不同的报道。Kirchman和Tengsve^[19]研究了生长在施加污泥土壤上的大麦对DEHP的吸收,污泥中DEHP浓度为116mg·kg⁻¹,污泥施加量为5t·hm⁻²,结果发现大麦中DEHP浓度为0.530mg·kg⁻¹干重,是不施加污泥对照的5倍。Overcash等^[20]研究了玉米、大豆、小麦和羊茅从土壤中对¹⁴C标记的DEHP的吸收,结果表明有少量的吸收。庞金梅等^[3]报道生长于塑料薄膜覆盖的土壤上的大白菜中DEHP含量可达3.05mg·kg⁻¹鲜重。Kato等^[21]报道在生长于DEHP污染土壤上的Chrysanthemum coronarium、Brassica rapa和Spinach中测不到DEHP;Schmitzer等^[22]研究了羧基-¹⁴C标记的DEHP在土-植系统的降解和去向,结果发现植物(大麦)吸收的量极少。Aranda等^[23]也报道在生长于施加¹⁴C标记DEHP的污泥的土壤上的莴苣(Lectuca sativa)、胡萝卜(Daucus carota)、辣椒(Capsicum annum)和大羊茅

表 4 几种蔬菜品质指标变化与体内不同部位酞酸酯含量的相关性
Table 4 Correlation of DBP/DEHP concentrations in vegetables and the quality indices

植物	指标	根		茎叶		果实	
		DEHP	DBP	DEHP	DBP	DEHP	DBP
番茄	维生素C	-0.56	-0.64*	-0.41	-0.72**	-0.54	-0.62*
	可溶性糖	0.69*	0.44	0.75**	0.78**	0.50	0.57
	可滴定酸度	-0.55	-0.42	-0.61*	-0.74**	-0.34	-0.61*
	糖酸比	0.64*	0.45	0.77**	0.82**	0.47	0.61*
莼菜	维生素	-0.58	-0.47	-0.22	-0.72**		
胡萝卜	总类胡萝卜素	0.64*	0.65*	0.70**	0.28		

(*Festuca arundinacea*) 中用 GC/MS 方法没有测到 DEHP。造成这些不同结果的原因不得而知,很可能与土壤类型、生长时间以及 DEHP 浓度有关,因为在土壤中植物可利用的 DEHP 为溶解于土壤溶液中的部分,而 DEHP 的土壤吸附系数 K_{oc} 高达 $67\ 040^{[24]}$, 水溶度仅为 $0.4^{[25]}$, 因此,土壤中的 DEHP 绝大多数都被土壤颗粒所吸附,从而影响了植物的可利用性。总之,植物对 DEHP 的吸收积累很有限,不足以对人体健康产生危害。本研究中植物根系中 DEHP 含量较高,可能是因为土壤中 DEHP 浓度较高,大量 DEHP 吸附于根表所致。

4 结论

在生长于施加 DBP/DEHP 污染物的土壤上的番茄、蕹菜和胡萝卜的果实、茎叶和根系中都检测到了 DBP 和 DEHP 的残留,而且残留量随土壤中施加 DBP/DEHP 浓度的增加而显著增加。土壤中施加 DBP/DEHP 浓度的增加,导致番茄果实和蕹菜茎叶中维生素 C 含量下降,番茄果实中可溶性糖含量增加,有机酸含量降低,糖酸比提高,胡萝卜中总类胡萝卜素含量略为增高。说明土壤中 DBP/DEHP 污染可以影响蔬菜的品质。

参考文献:

- [1] 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):118-125.
- [2] Tao S, Deng B S, Hermosin B, et al. Identification of organic pollutants in agricultural soils from Tianjin[J]. *China Fresenius Environmental Bulletin*, 1993, 2(11): 677-682.
- [3] 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.
- [4] 孟平蕊,王西奎,徐广通,等. 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.
- [5] Muszkat L, Bir L, Raucher D. Identification of mixed O-phenyl alkyl phthalate esters in an agricultural land[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1997, 58(3): 348-355.
- [6] Hemming I, Effects of di-n-butyl phthalate on the carotenoid synthesis in green plants[J]. *Physiol*, 1981, 53: 158-163.
- [7] Herring R, Bering C L. Effects of phthalate esters on plant seedlings and reversal by a soil microorganism[J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 1988, 40: 626-632.
- [8] 蔡玉琪,汤国才,王珊龄,等. 植物对酞酸酯的敏感性[J]. 农村生态环境(学报),1994,10(1):29-32.
- [9] Shea P J, Weber J B, Overcash MR. Uptake and phytotoxicity of Di-n-butyl phthalate in corn (*Zea mays*) [J]. *Bull Environm Contam*

Toxicol, 1982, 29: 153-158.

- [10] 刘小秧,程桂逊. 酞酸二丁酯对作物及微生物的影响[J]. 中国环境科学,1992,12(2):158-160.
- [11] 陈英旭,沈东升,胡志强,等. 酞酸酯类有机毒物在土壤中降解规律的研究[J]. 环境科学学报,1997,17(3):340-345.
- [12] 尹睿,林先贵,王曙光,等. 农田土壤中酞酸酯污染对辣椒品质的影响[J]. 农业环境保护,2002,21(1):1-4.
- [13] 鲍士旦. 农畜产品品质化学分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996. 427-430.
- [14] 李锡香. 新鲜果蔬的品质及其分析法[M]. 北京: 中国农业出版社,1994. 237-242.
- [15] Jobling S, Reynolds T, White R, et al. A variety of environmentally persistent chemicals, including some phthalate plasticizers, are weakly estrogenic[J]. *Environ Health Perspect*, 1995, 103: 582-587.
- [16] Brendan P, Curran I G, Seunath A, et al. Chatterjee I, Di-octyl phthalate increases the percentage of unsaturated fatty acids with a concomitant decrease in cellular heat shock sensitivity in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *Microbiology*, 2000, 146: 2679-2684.
- [17] Latruffe N and Vamecq J, Peroxisome proliferators and peroxisome proliferator activated receptors (PPARs) as regulators of lipid metabolism[J]. *Biochimie* 1997, 79: 81-94.
- [18] Bojes H K and Thurman R G. Potent peroxisome proliferators inhibit beta-oxidation in the isolated perfused rat liver[J]. *Toxicol Appl Pharmacol*, 1996, 140: 322-327.
- [19] Kirchmann H and Tengsred A. Organic pollutants in sewage sludge. 2. Analysis of barley grains grown on sludge-fertilized soil[J]. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 1991, 21(3): 115-119.
- [20] Overcash M R, et al. Toxic and priority organics in municipal sludge land treatment systems[C]. Water Engineering Research Laboratory, Office of Research and Development. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. EPA/600/2-86/010, 1986, 135.
- [21] Kato K, Nakaoka T, Ikeda H. Contamination of phthalic acid esters in vegetables[J]. *Kanagawa-Ken Eisei Kenkyusho Kenkyu Hokoku*, 1980, 67(Japan); Chem. Abstr. 1981, 95, 60034K.
- [22] Schmitzer J L, Scheunert I, Korte F. Fate of bis(2-ethylhexyl)[14C] phthalate in laboratory and outdoor soil-plant systems[J]. *J Agric Food Chem*, 1988, 36(24):210-215.
- [23] Aranda J M, O'-Connor GA, Eiceman GA, Effects of sewage sludge on di-(2-ethylhexyl) phthalate uptake by plants[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1989, 18(1): 45-50.
- [24] 王西奎,徐广通,王筱梅,等. 邻苯二甲酸酯类化合物土壤吸附系数的测定及相关性研究[J]. 环境污染与防治,1986,18(1):5-7.
- [25] 叶常明. 环境中的邻苯二甲酸酯[J]. 环境科学进展,1993,1(2):36-47.

致谢: 感谢本所分析测试中心的安琼、靳伟和倪俊老师在样品的 GC 测定上的大力帮助!