

珠三角滩涂围垦农田土壤和农作物重金属污染

付红波, 李取生, 骆承程, 陈连运

(暨南大学环境工程系, 广东 广州 510632)

摘要: 为了研究珠三角滩涂围垦农田土壤和农作物重金属污染状况, 采集了广州南沙、中山一带围垦农田农作物及其根际土壤样品, 测定重金属的质量分数。结果表明, 围垦农田土壤样品中 Cu、Pb、Cd、Ni、Cr 和 Zn 含量均大于广东省相应土壤环境背景值, 其中 Cu ($56.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、Pb ($48.30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、Cd ($0.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、Ni ($41.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、Cr ($115.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和 Zn ($200.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 分别为背景值的 3.30、1.34、12.82、2.26、2.28 和 4.23 倍。与《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995) 中 II 级标准 ($\text{pH} < 6.5$) 比较, 土壤样品中 Cu、Cd、Ni 和 Zn 的超标率分别为 73.7%、88.6%、59.6% 和 28.9%。以 GB 15618—1995 中 II 级标准为评价标准, 采用 Nemerow 指数法进行评价, 土壤重金属平均综合污染指数为 1.86, 属 3 级轻污染。与《食品中污染物限量》(GB 2762—2005) 等相关标准比较, 农作物中 Cu、Pb、Cd、Ni、Cr 和 Zn 含量的样品超标率分别为 0、28.9%、2.6%、48.3%、12.3% 和 6.1%。由此可见, 珠三角滩涂围垦农田土壤和农作物重金属污染问题已经比较突出, 土壤污染以 Cd 为主, 而农作物污染则以 Ni、Pb、Cr 为主。

关键词: 重金属; 滩涂围垦土壤; 农作物; 污染

中图分类号: X833; X835 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2009)06-1142-05

Heavy Metals Pollution in the Reclaimed Tidal Flat Soils and Crops in the Pearl River Delta

FU Hong-bo, LI Qu-sheng, LUO Cheng-cheng, CHEN Lian-yun

(Department of Environmental Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: In order to study the heavy metals pollution in the reclaimed tidal flat soils and crops in the Pearl River Delta, the crops and their root soils were collected from the reclaimed cropland in Nansha and Zhongshan, Guangdong Province, China. The total contents of six metals Cu, Pb, Cd, Ni, Cr and Zn in soils and crops were measured. The results showed that all the concentrations of Cu, Pb, Cd, Ni, Cr and Zn in soil samples were higher than the background values in Guangdong Province soils. The content of Cu ($56.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), Pb ($48.30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), Cd ($0.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), Ni ($41.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), Cr ($115.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) and Zn ($200.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) was 3.30, 1.34, 12.82, 2.26, 2.28 and 4.23 times of the background values respectively. Compared to the Grade II ($\text{pH} < 6.5$) of soil environmental quality standards (GB 15618—1995), the concentration of Cu in 73.7% soil samples, Cd in 88.6% samples, Ni in 59.6% samples and Zn in 28.9% samples exceeded the criteria. Based on the Nemerow index method and the China National Soil Environmental Quality Standards (Grade II ($\text{pH} < 6.5$)), the average comprehensive pollutant index for heavy metals in soil was 1.86, which belonged to slight pollution. For the edible parts of crops, the concentration of Pb in 28.9 % samples, Cd in 2.6 % samples, Ni in 48.3 % samples, Cr in 12.3 % samples and Zn in 6.1% samples exceeded the maximum levels of contaminants in foods (GB 2762—2005). The concentration of Cu in all crop samples did not exceed the standard. It was obvious that the reclaimed tidal flat soils and crops in the Pearl River Delta were polluted with heavy metals significantly, especially Cd in soil and Ni, Pb and Cr in crop.

Keywords: heavy metal; reclaimed tidal flat soil; crops; pollution

珠江口多年平均入海泥沙 8 336 万 t, 滩涂海岸线每年向海延伸约 60~150 m, 从公元 960 年宋朝初期开始, 通过大规模围垦逐渐形成了现在面积达 59 万 hm^2 的三角洲冲积平原^[1]。据统计, 近 50 a 来珠江

口滩涂围垦 6.0 万 hm^2 , 其中 1981 年以来 4.1 万 hm^2 。滩涂围垦成为珠三角地区后备耕地资源的主要来源之一, 并且曾一度出现过度围垦的局面^[2]。这些围垦农田目前主要种植香蕉、莲藕、蔬菜、木瓜等高效作物, 并已形成了许多品牌农产品种植基地, 如著名的万顷沙香蕉、新垦莲藕等。与此同时, 随着珠三角及珠江上游地区经济的快速发展, 每年大量难降解的重金属污染物排入珠江口海域, 如 2003 年从珠江东 4 口门排放 8 293 t、2004 年 5 844 t^[3-4], 其中相当部分重金属累

收稿日期: 2008-11-25

基金项目: 广东省自然科学基金项目 (07005931); 国家自然科学基金项目 (40871154)

作者简介: 付红波 (1981—), 男, 河南淮阳人, 硕士研究生, 主要从事环境生态与土壤环境研究。E-mail: fuhongbo0394@yahoo.com.cn

通讯作者: 李取生 E-mail: liqusheng@21cn.com

积在滩涂土壤中。由这些滩涂土壤围垦而来的农田重金属污染状况备受关注。

国内对农田土壤和农作物的重金属污染进行了大量研究^[5-9]。但专门对滩涂围垦农田土壤及农作物重金属污染状况的调查研究尚少见报道。本文通过对珠江口围垦农田土壤及农作物重金属的污染状况进行系统采样调查,分析测定主要的重金属污染元素含量,并对其污染程度进行评价,可为政府有关部门治理农业环境污染,控制农产品质量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 农作物样品的采集与分析

本研究选取珠江河口主要蔬菜、水果基地具有代表性的农作物。于 2007 年 10 月至 2008 年 1 月期间采集了广州南沙、中山一带农田表层土壤(0~20 cm) 114 个样品及水果、蔬菜 114 个样品。采样时摘取新鲜蔬菜、水果的可食部分,采集鲜样后装入塑料袋密封,所有样品当天运回实验室。用自来水和去离子水反复清洗,晾干,称鲜重,切碎,于 105 ℃下杀青 1 h,烘箱中 65 ℃烘至恒重,粉碎过 40 目尼龙筛后备用。蔬菜、水果样品采用干灰化法消解,用原子吸收分光光度计测定^[10]。分析过程加入国家标准参比物质植物样品(GSV-1)进行分析质量控制,各元素测定值均在国家标准参比物质的允许误差范围内(Cu 5.2 ± 0.5 、Pb 7.1 ± 1.1 、Cd 0.14 ± 0.06 、Ni 1.7 ± 0.4 、Cr 2.3 ± 0.3 、Zn 20.6 ± 2.2)。

1.2 土壤样品的采集与分析

在采集蔬菜、水果样品时同步采集与其相应的根际土壤样品,采样深度为 0~20 cm,样品为 5 个点组成的混合样品,每个样品采集约 1 kg。样品在室内风干,剔除侵入物后用研钵磨细,过 100 目尼龙筛后备用^[11]。称取 0.500 0 g 样品用盐酸+硝酸+氢氟酸+高氯酸消解提取土壤重金属全量,用原子吸收分光光度计分别测定 Zn、Ni、Cr、Cu、Pb、Cd 的含量^[12-14]。分析过程加入国家标准参比物质土壤样品(GSS-1, GSS-4)进行分析质量控制。各元素测定值均在国家标准参比物质的允许误差范围内(GSS-1, Cu 21 ± 2 、Pb 98 ± 6 、Cd 4.3 ± 0.4 、Ni 20.4 ± 1.8 、Cr 62 ± 4 、Zn 680 ± 25 ; GSS-4, Cu 40 ± 3 、Pb 58 ± 5 、Cd 0.35 ± 0.06 、Ni 64 ± 5 、Cr 370 ± 16 、Zn 210 ± 13)。

1.3 评价方法和标准

1.3.1 土壤重金属污染评价方法与分级标准

本文采用中国绿色食品发展中心推荐的单因子

污染指数法和综合污染指数法进行现状评价^[11-13],选用广东省土壤自然背景值和《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)中Ⅱ级标准(主要适用于一般农田及菜地土壤)作为评价标准^[14-15]见表 1,对比说明珠江口滩涂围垦农田土壤重金属环境质量现状。

表 1 土壤重金属污染评价标准(mg·kg⁻¹)
Table 1 The standards for appraisal of soil heavy metal pollution(mg·kg⁻¹)

项目	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	Zn
国家二级标准(pH<6.5)	50	250	0.3	40	150	200
广东省土壤背景	17.0	36.0	0.056	18.2	50.5	47.3

(1)单因子指数法 即对土壤中的某一污染物的污染程度进行评价。评价的依据是该污染物的单相污染指数,是目前国内普遍采用的方法之一,其计算公式为式(1):

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

式中: P_i 为土壤中污染物 i 的环境质量指数; C_i 为污染物 i 的实测浓度,mg·kg⁻¹; S_i 污染物的评价标准,mg·kg⁻¹; $P_i > 1$, 表示污染; $P_i \leq 1$, 表示未污染;且 P_i 值越大,则污染越严重。

(2)内梅罗综合污染指数法 为全面反映各污染物对土壤的不同作用,突出高浓度污染物对环境质量的影响,采用目前国内普通采用的方法之一:内梅罗综合污染指数法,计算公式为式(2):

$$P_{\text{综}} = \{[(C_i/S_i)_{\text{max}}^2 + (C_i/S_i)_{\text{ave}}^2] / 2\}^{1/2} \quad (2)$$

式中: $(C_i/S_i)_{\text{max}}$ 为土壤污染中污染指数最大值; $(C_i/S_i)_{\text{ave}}$ 为土壤污染中污染指数的平均值。土壤分级标准见表 2^[11]。

表 2 土壤环境质量分级标准

Table 2 Soil quality grading based on pollution index

等级划分	P	污染等级	污染水平
1	$P \leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 < P \leq 1$	警戒线	尚清洁
3	$1 < P \leq 2$	轻污染	土壤轻污染作物开始受到污染
4	$2 < P \leq 3$	中污染	土壤作物均受到中度污染
5	$P > 3$	重污染	土壤作物受污染相当严重

1.3.2 农作物污染评价标准

农作物重金属污染评价标准采用国家制定的《食品中污染物限量(GB 2762—2005)》等作为评价标准^[16-19],具体如下:Cu、Ni、Cr 含量依次为 10、0.3 mg·kg⁻¹(1994 年全国食品卫生标准分委会评审通过作为内控标

准)、0.5 mg·kg⁻¹,Pb 叶菜类 0.3 mg·kg⁻¹、水果 0.1 mg·kg⁻¹、蔬菜(球茎、叶菜、食用菌类除外)0.1 mg·kg⁻¹,Cd 根茎类蔬菜(芹菜除外)0.1 mg·kg⁻¹、叶菜 0.2 mg·kg⁻¹、其他蔬菜 0.05 mg·kg⁻¹、水果 0.05 mg·kg⁻¹,Zn 蔬菜 20 mg·kg⁻¹、水果 5 mg·kg⁻¹。

2 结果与分析

2.1 珠三角滩涂围垦农田土壤重金属污染现状及评价

2.1.1 农田土壤重金属元素含量

本文所调查土壤为农田土壤,根据作物类型及其生长条件分为莲藕地,主要种植作物为莲藕;水果地,主要种植作物为香蕉、木瓜;蔬菜地,主要种植作物为各类蔬菜。由表 3 可知,珠三角滩涂围垦农田土壤中 6 种重金属(Cu、Pb、Cd、Ni、Cr、Zn)平均含量分别为 56.06、48.30、0.72、41.15、115.1、200.1 mg·kg⁻¹,均超过广东省土壤背景值,其中 Cu、Ni、Cr、Zn 含量,所有样品均大于广东省土壤环境背景值,Pb、Cd 分别有 86.8%、98.2%的样品大于广东省土壤环境背景值,说明这些土壤已受到人为因素污染的影响,土壤中重金属呈明显增加的趋势。与《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)中Ⅱ级标准(pH<6.5)比较,不同土地利用类型农田土壤中 Pb、Cr 含量变化比较小,其含量均未超过土壤环境质量二级标准;而 Cu、Cd 分别有 72.7%和 87.7%的超标率,Cd 在水果地、莲藕地、蔬菜地的含量超标率分别达到 91.1%、92.3%、87.5%。从不同土地利用类型的土壤重金属分布来看,Cu、Cr、Pb、Ni 含量,蔬菜地>莲藕地>水果地;Cd 含量,莲藕地>水果地>蔬菜地;Zn 含量,蔬菜地>水果地>莲藕地。从变异系数看 6 种重金属元素 Cd 和 Zn 较大,说明相对于其他 4 种重金属,农田土壤中 Cd 和 Zn 更易受到外界干扰。

2.1.2 珠三角滩涂围垦农田土壤重金属污染评价

以广东省土壤背景值为评价标准,6 种重金属的单因子平均累积指数均大于 1,表明珠三角滩涂围垦农田土壤重金属含量受人为影响有所累积均超过广东省土壤背景值(表 4)。其中 Cd 累积最为严重。以国家土壤二级标准为评价标准,Pb、Cr 污染指数小于 1,表示未污染,其他 4 种重金属污染指数都大于 1,表示受到不同程度的污染,其中以 Cd 的污染程度最大;Cu 污染值得关注;Ni、Zn 污染不明显。从总体上分析污染程度,各重金属污染程度排序为: Cd>Cu>Ni>Zn>Cr>Pb。

根据内梅罗综合污染指数的评价模式,以国家土

表 3 农田土壤重金属含量及超标率(mg·kg⁻¹)

Table 3 Heavy metal contents (mg·kg⁻¹) in soils and the ratio of samples exceeded standard

类型	项目	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	Zn
水果地(56)	最大值	68.96	103.2	3.78	53.06	143.1	594.1
	最小值	29.41	14.31	0.04	26.89	63.69	54.49
	均值	51.70	44.70	0.76	39.79	111.1	186.8
	标准差	8.08	14.32	0.51	5.41	16.43	141.1
	变异系数/%	15.63	32.02	66.83	13.59	14.78	75.54
	超标率 1/%	100	83.9	98.2	100	100	100
莲藕地(13)	超标率 2/%	58.9	0	91.1	46.4	0	23.2
	最大值	64.07	84.84	1.78	58.74	148.9	365.1
	最小值	40.59	30.15	0.20	24.61	86.18	92.91
	均值	53.77	47.33	0.90	39.28	114.5	175.0
	标准差	7.24	15.29	0.43	7.62	17.88	82.91
	变异系数/%	13.46	32.30	47.19	19.41	15.62	47.37
蔬菜地(45)	超标率 1/%	100	76.9	100	100	100	100
	超标率 2/%	76.9	0	92.3	38.5	0	30.8
	最大值	169.6	87.52	1.79	53.12	140.4	540.1
	最小值	38.13	25.27	0.00	30.24	87.73	32.33
	均值	62.14	53.06	0.62	43.37	120.2	223.8
	标准差	17.44	14.04	0.36	4.83	14.09	125.6
全区(114)	变异系数/%	30.21	24.64	59.73	11.76	11.39	53.10
	超标率 1/%	100	93.3	97.8	100	100	97.8
	超标率 2/%	91.1	0	84.4	82.2	0	37.8
	最大值	169.6	103.2	3.78	58.74	148.9	594.1
	最小值	29.41	14.31	0	24.61	63.69	32.33
	均值	56.06	48.30	0.72	41.15	115.1	200.1
	标准差	13.43	14.73	0.45	5.73	16.16	130.2
	变异系数/%	0.24	0.30	0.63	0.14	0.14	0.65
	超标率 1/%	100	86.8	98.2	100	100	99.1
	超标率 2/%	73.7	0	88.6	59.6	0	28.9

注:表中(n)表示样品数;超标率 1:以广东省土壤背景值为参比;超标率 2 以国家二级标准为参比。

表 4 珠三角滩涂围垦农田土壤重金属污染指数

Table 4 Pollution index of heavy metals in the reclaimed tidal flat soils in the Pearl River Delta

项目	单因子平均污染指数 P_i						内梅罗污染指数 $P_{综合}$
	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	Zn	
数值 1	3.30	1.34	12.82	2.26	2.28	4.23	
污染等级 1	5	3	5	4	4	5	
数值 2	1.12	0.19	2.39	1.03	0.77	1.00	1.86
污染等级 2	3	1	4	3	2	2	3

注:数值 1,以广东省土壤背景值为评价标准;数值 2,以国家土壤二级标准为评价标准。

壤二级标准为评价标准计算珠三角滩涂围垦农田土壤重金属综合污染指数。结果表明,珠三角滩涂围垦

农田土壤重金属综合污染指数为 1.86,已达到了轻污染的程度,这些区域的农田土壤已经受到不同程度不同种类重金属的污染,应当引起有关部门的重视。

2.2 珠三角滩涂围垦农田农作物重金属含量及污染状况

从表 5 可以看出,全区农作物样品中重金属 Cu、Pb、Cd、Ni、Cr、Zn 平均含量为 0.641、0.098、0.024、0.414、0.312、3.161 mg·kg⁻¹(鲜重计)。各元素存在较大的差异,部分已达到较高的残留水平,超过了《食品中污染物限量》(GB 2762—2005)等相关标准。所有农作物样品中 Cu 质量分数均未超过国家食品标准;样品中 Cd 总超标率为 2.6%,2.6%的叶菜类、16.7%的茄果类超过国家食品标准;Zn 超标率较低,只有水果类作物超标 12.5%,且幅度较小,总超标率为 6.1%;Pb 总超标率为 28.9%,其中莲藕 92.3%、水果类 35.7%、茄果类 16.7%超标;Ni 总超标率为 48.3%,其中莲藕样品全部超标,水果、叶菜类、茄果类样品分别有 46.4%、28.2%、83.3%的样品超标;Cr 总超标率为 12.3%,水果、莲藕样品超标率分别为 10.7%、61.5%。可见,珠三角滩涂围垦农田农作物重金属污染问题比较突出。

Pb、Ni、Cr 均为在土壤中移动性较差、不易被农作物吸收富集的元素^[9],但本研究中,滩涂围垦农田农作物中的 Pb、Ni、Cr 的超标率均高于较易被富集的元素 Cd,有可能是当地农作物在环境重金属污染的逆境胁迫下,表现出被动吸引的特性。应对当地农业环境中的重金属含量与化学形态作进一步深入研究。农作物可食部位 Pb、Cr 超标严重,而土壤重金属环境质量中 Pb、Cr 都未超过国家二级标准中的土壤环境质量限定值,由此可以认为农作物重金属 Pb、Cr 超标的成因较为复杂,很有可能与来源不明确的污染源有关,例如农田长年大量施用化肥、灌溉、大气和灰尘沉降等。土壤的重金属是影响农作物重金属含量的一个因子,农作物重金属污染还受到大气、水质环境等多种环境因子的影响^[20]。

由以上可知,珠三角滩涂围垦农田农作物中各重金属污染程度为: Ni>Pb>Cr>Zn>Cd>Cu。不同农作物重金属污染程度表现为: 莲藕>水果>茄果类>叶菜类。

3 结论

(1)珠三角滩涂围垦农田土壤中重金属 Cu、Pb、Cd、Ni、Cr 和 Zn 均存在累积现象,表现为以 Cd 为主的多种重金属混合污染。各重金属污染程度为: Cd>

表 5 农作物(鲜样)重金属含量(mg·kg⁻¹)及超标率

Table 5 Heavy metal contents (mg·kg⁻¹) in crops (on fresh weight) and the ratio of samples exceeded standard

类型	项目	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	Zn
水果(56)	最大值	1.798	0.172	0.022	1.306	3.989	9.082
	最小值	0.008	0.001	0	0.003	0.001	0.027
	均值	0.702	0.088	0.004	0.374	0.356	2.947
	标准差	0.426	0.046	0.004	0.308	0.716	1.666
	超标率/%	0	35.7	0	46.4	10.7	12.5
莲藕(13)	最大值	1.316	0.192	0.013	4.358	2.293	6.437
	最小值	0.597	0.082	0	0.351	0.068	2.573
	均值	0.816	0.156	0.010	1.079	0.869	3.904
	标准差	0.198	0.033	0.004	1.213	0.737	1.135
	超标率/%	0	92.3	0	100	61.5	0
叶菜类(39)	最大值	1.016	0.252	0.272	0.791	0.364	6.031
	最小值	0.180	0.033	0.003	0.038	0.025	0.495
	均值	0.429	0.096	0.057	0.238	0.101	3.153
	标准差	0.149	0.050	0.052	0.163	0.076	1.081
	超标率/%	0	0	2.6	28.2	0	0
茄果类(6)	最大值	1.406	0.102	0.120	0.800	0.111	4.663
	最小值	0.875	0.038	0.001	0.134	0.037	1.942
	均值	1.065	0.079	0.033	0.502	0.066	3.611
	标准差	0.207	0.024	0.048	0.252	0.027	1.302
	超标率/%	0	16.7	16.7	83.3	0	0
全区(114)	最大值	1.798	0.252	0.272	4.358	3.989	9.082
	最小值	0.008	0.001	0.000	0.003	0.001	0.027
	均值	0.641	0.098	0.024	0.414	0.312	3.161
	标准差	0.364	0.050	0.040	0.526	0.604	1.433
	超标率/%	0	28.9	2.6	48.3	12.3	6.1

注:表中 n 表示样品数。

Cu>Ni>Zn>Cr>Pb。从不同土地利用类型的土壤重金属分布来看: Cu、Cr、Pb、Ni 蔬菜地>莲藕地>水果地; Cd 莲藕地>水果地>蔬菜地; Zn 蔬菜地>水果地>莲藕地。以《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)中Ⅱ级标准为评价标准计算出珠三角滩涂围垦农田土壤重金属综合污染指数为 1.86, 已达到了轻污染的程度,应当引起有关部门的重视。

(2)珠三角滩涂围垦农田农作物中各重金属污染程度为: Ni>Pb>Cr>Zn>Cd>Cu。不同农作物重金属污染程度表现为: 莲藕>水果>茄果类>叶菜类。与《食品中污染物限量》(GB 2762—2005)等相关标准比较,研究区各类农作物中,除 Cu 外其他重金属均有不同程度的超标,主要为 Pb、Ni、Cr,农作物中 Pb、Cd、Ni、Cr、Zn 超标率分别为 28.9%、2.6%、48.3%、12.3%、6.1%。可见,珠三角滩涂围垦农田农作物中重金属的污染问题已经比较突出。

参考文献:

- [1] 陆发熹. 珠江三角洲土壤[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1988.
LU Fa-xi. The soil of the pearl river delta[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1988.
- [2] 崔伟中. 珠江河口滩涂湿地的问题及其保护研究[J]. 湿地科学, 2004, 2(1): 26-30.
CUI Wei-zhong. Study on protection of mudflat wetland in the pearl river estuary[J]. *Wetland Science*, 2004, 2(1): 26-30.
- [3] 广州市海洋与渔业局. 2003 广州市海洋环境公报[R10L]http://www.gzocean.com, 2004.
Bureau of Marine and Fishery of Guangzhou Municipality. 2003 bulletin of the marine environment in Guangzhou[R10L]http://www.gzocean.com, 2004.
- [4] 广州市海洋与渔业局. 2004 广州市海洋环境公报[R10L]http://www.gzocean.com, 2005.
Bureau of Marine and Fishery of Guangzhou Municipality, 2004 bulletin of the marine environment in Guangzhou[R10L]http://www.gzocean.com, 2005.
- [5] 许学宏, 纪从亮. 江苏蔬菜产地土壤重金属污染现状调查与评价[J]. 农村生态环境, 2005, 21(1): 35-37, 43.
XU Xue-hong, JI Cong-liang. Heavy metal pollution survey of vegetable soil in Jiangsu Province and the countermeasures[J]. *Rural Eco-environment*, 2005, 21(1): 35-37, 43.
- [6] 周建利, 陈同斌. 我国城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染研究现状与展望[J]. 湖北农学院学报, 2002, 22(5): 476-480.
ZHOU Jian-li, CHEN Tong-bin. Situation and prospect of research on heavy metal pollution in vegetables and soils for vegetable cultivation in urban areas of China[J]. *Journal of Hubei Agricultural College*, 2002, 22(5): 476-480.
- [7] 黄 勇, 郭庆荣, 任 海, 等. 珠江三角洲典型地区蔬菜重金属污染现状研究[J]. 生态环境, 2005, 14(4): 559-561.
HUANG Yong, GUO Qing-rong, REN Hai, et al. Investigation of heavy metal pollution in vegetables in the Pearl River delta[J]. *Ecology and Environment*, 2005, 14(4): 559-561.
- [8] 窦 磊, 马 瑾, 周永章, 等. 广东东莞地区土壤-蔬菜系统重金属分布与富集特性分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2008, 47(1): 98-102.
DOU Lei, MA Jin, ZHOU Yong-zhang, et al. Distribution and accumulation of heavy metals in soil-vegetable system of Dongguan area, Guangdong Province[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2008, 47(1): 98-102.
- [9] 蔡立梅, 马 瑾, 周永章, 等. 东莞市农田土壤和蔬菜重金属的含量特征分析[J]. 地理学报, 2008, 63(9): 994-1005.
CAI Li-mei, MA Jin, ZHOU Yong-zhang, et al. Heavy metal concentrations of agricultural soils and vegetables from Dongguan, Guangdong Province, China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(9): 994-1005.
- [10] 杨祖英, 马永健, 常风启. 食品检验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 222-262.
YANG Zu-ying, MA Yong-jian, CHANG Feng-qi. Food Testing[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003: 222-262.
- [11] 土壤环境监测技术规范(HJ/T 166—2004)[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
The technical specification for soil environmental monitoring (HJ/T 166—2004)[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2005.
- [12] 《环境污染分析方法》科研协作组. 环境污染分析方法[M]. (第二版), 北京: 科学出版社, 1987.
Scientific Research Cooperation Group of Environmental Pollution Analysis Method. Environmental pollution analysis method[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 1987.
- [13] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
CHEN Huai-man. Environmental agrology[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [14] 土壤环境质量标准(GB 15618—1995)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
Environmental Quality Standard for Soil(GB 15618—1995)[S]. Beijing: Standards Press of China, 1997.
- [15] 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.
China National Environmental Monitoring Center. The background concentrations of soil elements in China[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990.
- [16] 中华人民共和国卫生部. GB 13106—91 食品中锌限量卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
Ministry of Health, PRC. Tolerance limit of zinc (GB 13106—91) in Foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 1991.
- [17] 中华人民共和国卫生部. (GB 15199—94)食品中铜限量卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
Ministry of Health, PRC. Tolerance limit of copper (GB 15119—94) in Foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 1994.
- [18] 中华人民共和国卫生部, 国家标准化管理委员会. (GB 2762—2005) 食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
Ministry of Health, PRC, National Committee of standardization. The maximum levels of contaminants in foods(GB 2762—2005)[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005.
- [19] 何江华, 柳 勇, 王少毅, 等. 广州市菜园土主要蔬菜重金属背景含量的研究[J]. 生态环境, 2003, 12(3): 269-272.
HE Jiang-hua, LIU Yong, WANG Shao-yi, et al. Studies on the background levels of heavy metals in major vegetables in Guangzhou vegetable garden soils[J]. *Ecology and Environment*, 2003, 12(3): 269-272.
- [20] 谢正苗, 李 静, 王碧玲, 等. 基于地统计学和 GIS 的土壤和蔬菜重金属的环境质量评价[J]. 环境科学, 2006, 27(10): 2110-2116.
XIE Zheng-miao, LI Jing, WANG Bi-ling, et al. Evaluation on environmental quality of heavy metals in soils and vegetables based on geo-statistics and GIS[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(10): 2110-2116.