

上海市浦东新区蔬菜地土壤重金属含量及评价^①

姚春霞¹ 陈振楼¹ 许世远¹ 张 菊¹ 刘 伟¹ 徐益章² 陆建忠²

(1 华东师范大学地理信息科学系教育部重点实验室 上海 200062;

2 上海市浦东新区农业技术推广服务中心 上海 201201)

摘 要 本文对上海市浦东新区非污灌区 4 个蔬菜园艺场和 2 个污灌区土壤中的 7 种重金属进行总量分析,以国家土壤环境质量二级标准评价其单项和综合污染指数,结果表明:4 个蔬菜园艺场各个重金属的两项指数均 <1 ,评价结果均为优良,这 4 个蔬菜园艺场符合无公害食品生产的土壤环境要求。污灌区 9 个土壤样的 Pb、Cr、As 单项污染指数 <1 ,Cd、Cu、Zn、Hg 的单项和综合污染指数均 >1 ,尤其是 Cd 污染最为严重,单项污染指数最高达 6.6,综合污染指数 4.84;所调查的 9 个土壤样中 33 %为中污染,67 %为重污染,该污灌区蔬菜地土壤污染主要来源于上世纪 70 年代应用黄浦江疏浚底泥(吹泥),污水灌溉和乡镇企业的化工污染物扩散。

关键词 土壤;重金属;含量;评价

中图分类号 X53

重金属研究工作在我国开始于 20 世纪 80 年代,主要研究土壤重金属背景含量和污灌对土壤重金属的影响。土壤中重金属不仅对植物的生长造成影响,还通过食物链影响人体健康。随着工农业的迅速发展,城市规模的不断扩大,蔬菜生产地不断向远郊区发展,土壤环境污染问题越来越突出,加强对菜地土壤重金属污染的调查和研究是当前进行农业生态环境保护的重要方向,也是实现农业可持续发展的关键。菜园土壤大多位于城镇近郊,由于长期施用城市垃圾和污泥以及采用污水灌溉等,有可能导致重金属元素的蓄积,国内外已有这方面的报道^[1~3],且国内对北京、天津、成都、南京、广州、南宁等城市的多方报道证明^[4~9],我国城郊部分菜地土壤重金属污染已较为严重和普遍。

浦东新区原污灌区指的是原上海市川沙县市南区污水排放工程明渠两侧污灌区。1969 年 12 月,上海市南区污水排放工程开工,工程于 1970 年底竣工,污水所流经的花木、北蔡、张江、唐镇、合庆 5 镇 14 个行政村曾一度利用污水、污泥作为肥料浇灌农田,至 1974 年受其污染影响的农田达 4000 hm^2 ,造成较严重的环境问题^[10]。此后,汪雅谷^[11,12]报道了该污灌区老明渠两侧受灌农田的污染状况,调查表明上海市部分菜地土壤受到不同程度的污染,其中 Cd、Pb、Hg 为主要污染元素。自浦东新

区开发开放建设以来,原污灌区的耕地减少了很多,但现存还有近 30 hm^2 位于污染带上的农田。土壤重金属污染在土壤中残留期长,植物或微生物难以分解或降解,若在植物可食部位超量积累后易通过食物链传递给人或动物,严重威胁人类健康安全。针对上述问题我们采集了非污灌区部分园艺场和污灌区的菜地土壤进行对比研究,以全面了解菜园土壤的重金属污染状况,不仅对蔬菜生产的持续发展具有积极的指导意义,而且对提高人们的生活质量也具有广泛的现实意义。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

本文研究的浦东新区位于上海市东部,北纬 $31^{\circ}07' \sim 31^{\circ}23'$,东经 $121^{\circ}27' \sim 121^{\circ}48'$,东临长江口,南与南汇、闵行二区接壤;全区面积 533.45 km^2 ,为江海冲积平原,是上海市成陆较晚的地区。全区地势东南高,西北低,呈东南向西北的缓坡倾斜。土壤类型以钦公塘为界,大体可分为两大类,塘东沙性较大,以夹沙土为主;塘西偏黏,以黄泥土为主。全区土壤养分平均含量分别为,有机质 21.3 g/kg,全 N 1.34 g/kg,全 P 1.79 g/kg,全 K 18.1 g/kg,速效 N、P、K 分别为 107、14.3、113.6 mg/kg, pH 为 7.7。

^①国家自然科学基金重点项目(40131020, 40173030)、上海市基础研究重点项目(02DJ14029)、教育部优秀青年教师资助计划(41198054)共同资助。

浦东新区共有 11 个蔬菜园艺场, 2004 年 7 月我们选择在浦东新区非污灌区的 4 个蔬菜园艺场采集了 26 个土壤样品, 机场镇大洪园艺场 8 个土样(第 1~8 号), 川沙镇浦南园艺场 8 个土样(第 9~16 号), 北蔡镇潘姚园艺场 8 个土样(第 17~24 号), 孙桥镇 2 个土样(第 25, 26 号), 在张江镇污灌区采集了 9 个菜地土壤分析, 其中张江镇劳动村污灌区 5 个土样(第 27~31 号), 张江镇江东五队污灌区 4 个土样(第 32~35 号)(图 1)。园艺场蔬菜地土壤主要采自大棚内菜地, 污灌区土壤采自露天菜地, 以梅花型多点(5~12 点)为原则取样, 采样深度 0~20 cm, 共采集土壤 1.5~2.0 kg, 装于标签编号的聚乙烯塑料袋。

1.2 重金属分析方法

土壤被带回实验室按四分法缩分再经风干, 磨细过 100 目筛后装瓶备测。分析项目为 pH、Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Hg、As。重金属经浓硝酸 + 氢氟酸 + 高氯酸加热消化, 冷却后再用盐酸溶解定容的方法进行前处理。Cu、Zn、Pb、Cr、Cd 用原子吸收光度法, Hg 用冷原子吸收光度法, As 用二乙基

二硫代氨基甲酸银比色法^[13]。在严格的分析质量控制下, 我们对浦东蔬菜地 35 个土壤样品中的 7 种元素进行了分析, 应用土壤标样 GSS3 实行实验室质量控制, 相对偏差一般在 10 % 以内, Cd 因含量较低, 相对偏差为 30 %, 也符合土壤标样测定要求。

2 结果分析

35 个土壤样品的重金属含量分析结果见图 1, 图 1 表明浦东蔬菜地土壤重金属含量差异较大。土壤重金属含量的变异系数在 27 %~120 %, 说明污染源的存在对土壤重金属的含量影响很大。土壤 pH 范围在 5.62~7.85, 平均 6.94; Cu 的含量范围在 23.70~163.00 mg/kg, 平均为 43.38 mg/kg; Zn 的含量范围在 86.10~453.61 mg/kg, 平均为 183.63 mg/kg; Pb 的含量范围在 11.60~63.20 mg/kg, 平均为 22.64 mg/kg; Cr 的含量范围在 62.70~193.90 mg/kg, 平均为 95.83 mg/kg; Cd 的含量范围在 0.05~1.98 mg/kg, 平均为 0.50 mg/kg; Hg 的含量范围在 0.05~0.60 mg/kg, 平均为 0.21 mg/kg; As 的含量范围在 3.93~21.39 mg/kg, 平均为 8.60 mg/kg。

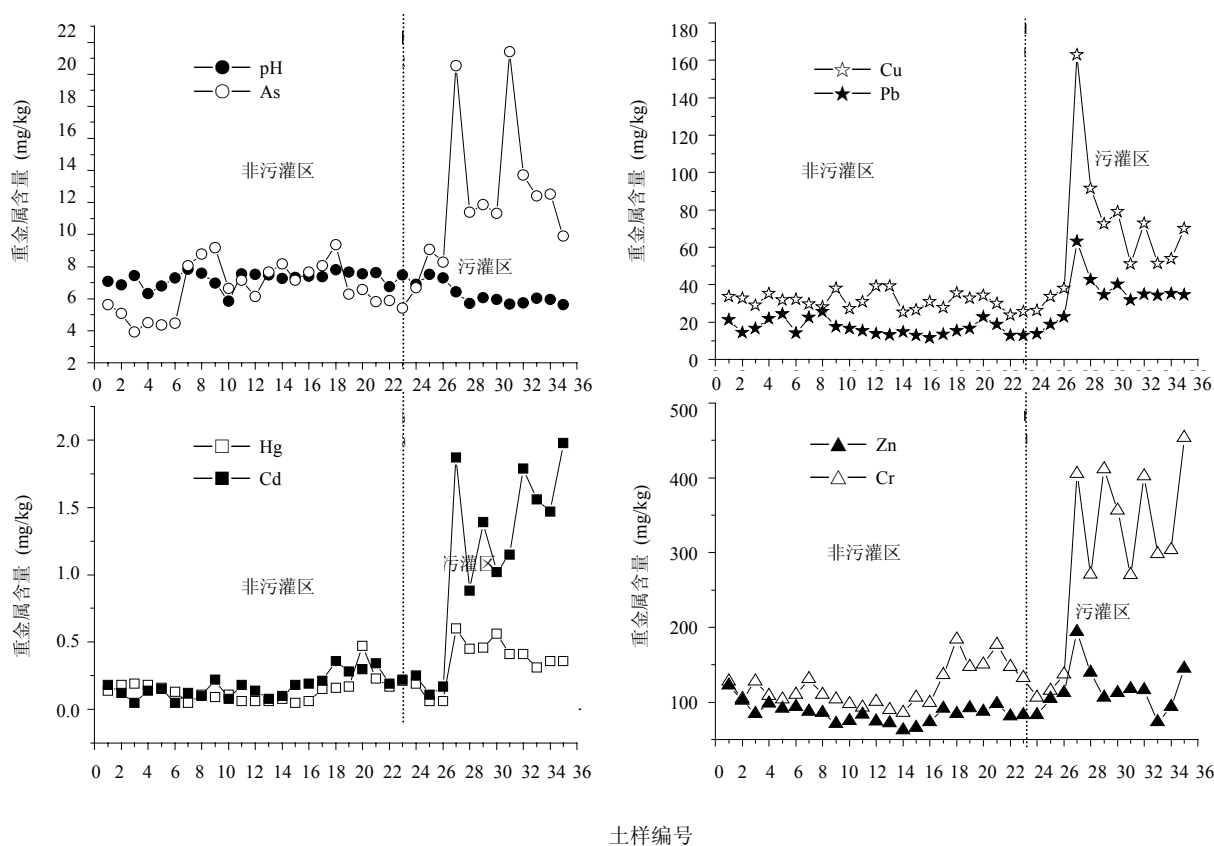


图 1 各园艺场及污灌区土壤重金属含量状况 (mg/kg)

Fig. 1 Contents of heavy metals in soils of truck gardens and soil irrigated with sewage

根据上海土壤的环境状况和发展要求, 根据地方标准和有关国家及行业标准, 将农田土壤重金属污染划分为相应的 4 级标准 (表 1)。

蔬菜园艺场和污灌区菜地的土壤重金属含量范围及标准偏差和变异系数统计指标列于表 2, 并与表 1 中上海市土壤背景值和国家土壤重金属污染物 2 级含量标准比较。由表 2 可见, 污灌区菜地的土壤重金属含量相对于蔬菜园艺场的土壤标准偏差和变异系数比较大。蔬菜园艺场的土壤重金属 Pb、Hg、As 的平均含量不超过上海市土壤背景值, Cu、Zn、

Cr、Cd 不超过 2 级含量标准, 但分别超过上海市土壤背景值^{[14]①}的 33.19 %、49.28 %、34.38 %、26.87 %。污灌区菜地土壤重金属 Cu、Zn、Cd、Hg 平均值分别超过含量限值的 56.55 %、76.14 %、386.68 %、46.68 %, Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Hg、As 平均值分别超过上海市土壤背景值的 233.06 %、358.66 %、83.15 %、85.68 %、921.06 %、103.20 %、55.20 %。超过上海市土壤背景值的重金属含量严重程度依次为 Cd, Zn, Cu, Pb, Hg, Cr, As。

从表 2 的土壤各项重金属污染物二级含量标准

表 1 土壤重金属污染分级标准 (mg/kg)

Table 1 Standard for grading heavy metal pollution of soils

级别	pH 范围		Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Hg	As
1 级, 优	不限	≤	40	100	35	85	0.3	0.20	13
2 级, 良	<6.5	≤	50	100	50	120	0.3	0.25	25
	6.5 ~ 7.5	≤	60	120	50	120	0.3	0.3	20
	>7.5	≤	60	120	50	120	0.4	0.35	20
3 级, 合格	<6.5	≤	50	200	250	150	0.3	0.3	40
	6.5 ~ 7.5	≤	100	250	300	200	0.3	0.5	30
	>7.5	≤	100	300	350	250	0.6	1.0	25
4 级, 不合格	<6.5	>	50	200	250	150	0.3	0.3	40
	6.5 ~ 7.5	>	100	250	300	200	0.3	0.5	30
	>7.5	>	100	300	350	250	0.6	1.0	25
上海土壤背景含量 (X)			23.5	76.8	21.3	64.6	0.134	0.216	8.95

表 2 各园艺场和污灌区土壤重金属平均含量 (mg/kg)

Table 2 Average contents of heavy metals in soils of truck garden and soil irrigated with sewage

指标	采样点	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数
pH	园艺场	5.86	7.85	7.25	0.46	0.06
	污灌区	5.62	7.72	6.04	0.65	0.11
Cu	园艺场	23.70	39.30	31.30	4.48	0.14
	污灌区	50.90	163.00	78.27	34.58	0.44
Zn	园艺场	86.10	184.00	114.65	46.96	0.41
	污灌区	269.70	453.61	352.25	68.67	0.19
Pb	园艺场	11.60	25.60	16.97	4.12	0.24
	污灌区	31.70	63.20	39.01	9.67	0.25
Cr	园艺场	62.70	122.60	86.81	13.96	0.16
	污灌区	73.10	193.90	121.89	34.64	0.28
Cd	园艺场	0.05	0.36	0.17	0.08	0.48
	污灌区	0.88	1.98	1.46	0.39	0.26
Hg	园艺场	0.05	0.47	0.14	0.09	0.64
	污灌区	0.31	0.60	0.44	0.09	0.22
As	园艺场	3.93	9.38	6.76	1.60	0.24
	污灌区	9.89	21.39	13.89	4.14	0.30

①上海市环境质量报告书.1996~2000, 174~179

来看, 园艺场菜地土壤的重金属含量都在污染物限值含量以内, 而污灌区菜地土壤重金属除 Pb、Cr 和 As, 其余各项指标大都超标, 以 Cd 污染最为严重, 其次是 Zn、Cu、Hg。蔬菜园艺场的土壤重金属含量与污灌区菜地土壤重金属含量相比较则较小。

根据相关分析, Zn、Pb、Cd、Hg、As 与 pH

经统计检验相关性达极显著水平, 相关系数分别为 -0.612, -0.468, -0.622, -0.531, -0.401。除 Cr 外, Cd、Zn、Cu、Pb、Hg、As 相互之间经统计检验相关性达极显著水平(表 3), 说明土壤中重金属含量存在着一定的复合污染, 有关的更深层次的机理有待进一步研究。

表 3 土壤中各重金属之间相关系数

Table 3 Correlation coefficients of heavy mentals in soils

	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Hg	As
pH	-0.319	-0.612**	-0.468**	-0.192	-0.622**	-0.531**	-0.401*
Cu		0.788**	0.920**	0.103	0.776**	0.776**	0.738**
Zn			0.841**	0.007	0.964**	0.897**	0.713**
Pb				0.138	0.832**	0.833**	0.768**
Cr					0.015	0.088	-0.068
Cd						0.795**	0.766**
Hg							0.644**

**相关系数在 0.01 概率水平上显著; *相关系数在 0.05 概率水平上显著。

3 环境质量评价方法及结果

在土壤单项指数评价基础上采用尼梅罗污染指数法评价某样点土壤综合污染^[15], 以突出最高一项污染指数的作用。当 $P_{综} < 1$ 时为土壤符合该级, 当 $P_{综} > 1$ 时为土壤污染, 不符合该级。单项污染指数 P_i 根据土壤中污染物含量与相应评价标准进行计算: $P_i = C_i / S_i$, C_i 表示污染物实测值, S_i 表示污染物评价标准, 当 $P_i < 1$ 为未污染, $P_i > 1$ 为污染;

土壤综合污染指数: $P_{综} = \{ (P_{平均}^2 + P_{max}^2) / 2 \}^{1/2}$, $P_{平均}$ 为土壤各单项污染指数 (P_i) 的平均值, P_{max} 为土壤各单项污染指数中的最大值。

土壤评价结果划分 5 等级, 土壤综合污染指数 ≤ 0.7 为优良, ≤ 1.0 为安全, ≤ 2.0 为轻污染, ≤ 3.0 为中污染, > 3.0 为重污染。本文根据以上方法计算出了蔬菜地土壤的重金属污染指数和污染评价结果(表 4)。

表 4 蔬菜地土壤重金属污染评价结果

Table 4 Heavy metal pollution of vegetable soils

土样编号	单项污染指数 P_i							平均污染	最大污染	综合污染	评价
	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Hg	As	指数 $P_{平均}$	指数 P_{max}	指数 $P_{综}$	结果
机场镇 1	0.34	0.51	0.07	0.49	0.60	0.28	0.19	0.35	0.60	0.49	优良
机场镇 2	0.33	0.42	0.05	0.41	0.40	0.36	0.17	0.30	0.42	0.37	优良
机场镇 3	0.29	0.51	0.06	0.34	0.17	0.38	0.13	0.27	0.51	0.41	优良
机场镇 4	0.70	0.54	0.09	0.66	0.47	0.60	0.11	0.45	0.70	0.59	优良
机场镇 5	0.32	0.41	0.08	0.36	0.50	0.32	0.15	0.31	0.50	0.41	优良
机场镇 6	0.32	0.44	0.05	0.37	0.17	0.26	0.15	0.25	0.44	0.36	优良
机场镇 7	0.29	0.44	0.06	0.35	0.20	0.05	0.32	0.24	0.44	0.35	优良
机场镇 8	0.28	0.37	0.07	0.34	0.17	0.11	0.35	0.24	0.37	0.31	优良
川沙镇 9	0.38	0.42	0.06	0.29	0.73	0.18	0.31	0.34	0.73	0.57	优良
川沙镇 10	0.54	0.49	0.07	0.50	0.27	0.37	0.17	0.34	0.54	0.45	优良
川沙镇 11	0.31	0.31	0.04	0.33	0.30	0.06	0.29	0.23	0.33	0.29	优良
川沙镇 12	0.39	0.33	0.04	0.30	0.23	0.06	0.24	0.23	0.39	0.32	优良

续表 4

川沙镇 13	0.39	0.36	0.04	0.29	0.27	0.12	0.26	0.25	0.39	0.33	优良
川沙镇 14	0.25	0.34	0.05	0.25	0.33	0.16	0.27	0.24	0.34	0.30	优良
川沙镇 15	0.26	0.42	0.04	0.26	0.60	0.10	0.24	0.28	0.60	0.47	优良
川沙镇 16	0.31	0.40	0.04	0.29	0.63	0.12	0.26	0.29	0.63	0.49	优良
北蔡镇 17	0.28	0.54	0.04	0.36	0.70	0.30	0.27	0.36	0.70	0.56	优良
北蔡镇 18	0.36	0.61	0.04	0.34	0.60	0.16	0.38	0.35	0.61	0.50	优良
北蔡镇 19	0.33	0.49	0.05	0.37	0.47	0.17	0.25	0.30	0.49	0.41	优良
北蔡镇 20	0.34	0.50	0.06	0.35	0.50	0.47	0.26	0.36	0.50	0.43	优良
北蔡镇 21	0.30	0.59	0.05	0.39	0.57	0.23	0.23	0.34	0.59	0.48	优良
北蔡镇 22	0.24	0.59	0.04	0.32	0.63	0.34	0.20	0.34	0.63	0.51	优良
北蔡镇 23	0.25	0.53	0.04	0.33	0.73	0.42	0.18	0.36	0.73	0.58	优良
北蔡镇 24	0.26	0.42	0.05	0.33	0.83	0.38	0.22	0.36	0.83	0.64	优良
孙桥镇 25	0.34	0.46	0.06	0.42	0.37	0.12	0.30	0.29	0.46	0.39	优良
孙桥镇 26	0.38	0.55	0.08	0.45	0.57	0.12	0.28	0.34	0.57	0.47	优良
张江镇 27	1.63	1.62	0.21	0.78	6.23	1.20	0.68	1.76	6.23	4.58	重污染
张江镇 28	1.83	1.36	0.17	0.93	2.93	1.50	0.29	1.29	2.93	2.26	中污染
张江镇 29	1.45	2.06	0.14	0.71	4.63	1.53	0.30	1.54	4.63	3.45	重污染
张江镇 30	1.58	1.78	0.16	0.75	3.40	1.87	0.28	1.40	3.40	2.60	中污染
张江镇 31	1.02	1.35	0.13	0.78	3.83	1.37	0.53	1.29	3.83	2.86	中污染
张江镇 32	1.45	2.01	0.14	0.77	5.97	1.37	0.34	1.72	5.97	4.39	重污染
张江镇 33	1.03	1.49	0.14	0.49	5.20	1.03	0.31	1.38	5.20	3.80	重污染
张江镇 34	1.07	1.52	0.14	0.62	4.90	1.20	0.31	1.40	4.90	3.60	重污染
张江镇 35	1.40	2.27	0.14	0.97	6.60	1.20	0.25	1.83	6.60	4.84	重污染

从单项和综合污染指数看, 4 个蔬菜园艺场各个重金属的两项指数均 <1 , 评价结果均为优良, 表明浦东新区的这 4 个蔬菜园艺场均符合无公害食品生产的土壤环境要求和蔬菜产地环境条件。污灌区 9 个土壤样除 Pb、Cr、As 单项污染指数 <1 , Cd、Cu、Zn、Hg 的单项和综合污染指数均 >1 , 尤其是 Cd 污染最为严重, 单项污染指数高达 6.2, Cd 的严重超标导致土壤综合污染指数均 >2 , 所调查的 9 个土壤样中 33 % 为中污染, 67 % 为重污染, 该污灌区蔬菜地土壤 Hg 和 Cd 污染可能与历史上一段时期内大量施用含有机 Hg 的农药和含 Cd 的渣肥有关, 主要来源于 3 个方面: ①上世纪 70 年代前后部分地势较低的镇村大面积应用黄浦江疏浚底泥(吹泥), 致使土壤及农产品中重金属污染; ②上世纪 70 年代上海污水南线流经本区, 张江、唐镇、合庆等镇的明渠两侧应用污水大面积灌溉; ③乡镇企业的化工污染物扩散。

参考文献

- Hassanin, ASE. Potential Pb, Zn, Cd contamination of sandy soil after different irrigation periods with sewage effluent. *Water Air and Soil Pollution*, 1993, 66 (3-4): 239 ~ 249
- Naidu R, Kookana RS, Sumner ME. Cadmium sorption and transportion variable charge soils. *Environ. Qual.*, 1997, 26: 602 ~ 617
- Hu XF, Wu HX, Hu X. Impact of urbanization on Shanghai's soil environmental quality. *Pedosphere*, 2004, 14 (2): 151 ~ 158
- 夏增禄, 李森照, 穆从如. 北京地区重金属在土壤中的纵向分布和迁移. *环境科学学报*, 1985, 5 (1): 105 ~ 112
- 周艺敏, 张金盛, 任顺荣. 天津市园田土壤和几种蔬菜中重金属含量的调查研究. *农业环境保护*, 1990, (6): 30 ~ 34
- 傅绍清, 苏永康, 宋怡, 蒋于英, 李果. 成都平原菜园土壤及主要蔬菜作物重金属背景值的研究. *西南农业学报*, 1992, 5 (1): 34 ~ 40
- 张中一, 朱长会. 南京市郊菜地土壤重金属污染状况. *南京农专学报*, 1995, 26 (4): 6 ~ 11
- 戴军, 刘腾辉. 广州菜地生态环境的污染特征. *土壤通*

- 报, 1995, 26 (3): 102 ~ 104
- 9 孔德工, 唐其展, 田忠孝. 南宁市蔬菜基地土壤重金属含量及评价. 土壤, 2004, 36 (1): 21 ~ 24
- 10 农业环境综合调查组. 区域环境综合研究—上海地区农业环境质量研究. 北京: 科学技术文献出版社, 1987
- 11 汪雅谷, 王玮. 上海地区主要蔬菜中重金属元素含量背景水平. 农业环境保护, 1994, 13 (1): 34 ~ 39
- 12 汪雅谷. 停止污灌 10 年后上海川沙污水灌区老明渠两侧污染状况调查. 农村生态环境, 1989, (3): 44 ~ 48
- 13 中国环境监测总站编. 土壤元素的近代分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1992
- 14 魏复盛, 陈静生. 中国土壤环境背景值研究. 环境科学, 1992, 12 (4): 12 ~ 194
- 15 国家环保开发监督司. 环境影响评价技术原则与方法. 北京: 北京大学出版社, 1993

HEAVY METAL CONTENTS IN AND EVALUATION OF VEGETABLE SOILS IN PUDONG NEW DISTRICT OF SHANGHAI

YAO Chun-xia¹ CHEN Zhen-lou¹ XU Shi-yuan¹ ZHANG Ju¹ LIU Wei¹ XU Yi-zhang² LU Jian-zhong²

(1 Geo-information Science Emphasis Lab of Ministry Education, East China Normal University, Shanghai 200062;

2 Pudong New District Agro-technology Extention Service Center, Shanghai 201201)

Abstract Concentrations of heavy metals in soils of 4 truck gardens and 2 sewage-irrigated zones in Pudong, Shanghai were determined. Evaluation was made of indexes of single contaminants and combined pollution according to the national standard for evaluation of soil environmental quality. Both values of the 4 gardens were less than 1, indicating that they meet the requirements of soil environment for producing hazard-free food. Nine soil samples collected from the two sewage irrigated regions, the indexes of monomial and synthetical pollution of Pb, Cr and As were less than 1, and of Cd, Cu, Zn and Hg were more than 1, especially those of Cd, the most serious one, which were 6.6 and 4.84, respectively. About 33 % of the 9 soil samples were moderately polluted and 67 % seriously polluted. The cause of the pollution is the application of sewage sludge from the Huangpu River and chemical pollution from village enterprises.

Key words Soil, Heavy metal, Contents, Evaluation