

江阴市耕地重金属污染及其评价^①

王明兆, 王鸿欣, 薛莉

(江阴市农技推广中心, 江苏江阴 214431)

摘要: 江阴市在 2004 年对全市耕地和灌溉水的主要污染物质—重金属进行了较为全面的调查, 对土壤和灌溉水进行了多种评价分析。结果显示: 全市 90% 以上的耕地安全、清洁, 97% 以上的耕地没有受到重金属污染。并对调查结果进行了分析, 提出了初步的对策与建议。

关键词: 耕地环境; 重金属; 污染; 江阴

中图分类号: S159.2

农业生产的环境直接关系到农产品质量和农业食品的整体安全, 为了了解耕地土壤和水环境受污染的状况, 摸清耕地土壤及灌溉水中重金属的污染程度、主要污染源、污染项目、污染区域等情况, 切实了解工业点源污染和农业面源污染对耕地环境质量的影响, 江阴市作为“全国耕地地力调查与质量评价”的试点县市之一, 2004 年就全市耕地环境质量进行了调查和分析评价, 本文介绍初步的研究结果。

1 耕地环境质量调查方法

1.1 采样的方法与检测项目

根据《全国耕地地力调查与质量评价技术规程》的要求, 土壤环境样每 600 ~ 2000 hm² 取一个土样点^[1-2]。由于江阴市企业较多, 有可能引起耕地污染的企业有 200 多家, 其中, 环境行为信用等级为红色的企业有 35 家, 环境行为信用等级为黑色的企业有 21 家。针对江阴市工业企业的分布特点, 在 2003 年 10 月至 2004 年 3 月, 对纺织印染、电镀、化工等企业的周边区域进行了重点取样, 加上 2001 年国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目和近两年申报无公害农产品的土壤样品, 共收集了 144 个土样的检测数据, 其中, 大田土样 116 个, 蔬菜地土样 13 个, 林果地土样 15 个, 每个采样点均使用 GPS 进行准确定位。采样方法为: 大田土样采集 0 ~ 20 cm 耕层, 蔬菜地、林果地土样采集 0 ~ 25 cm 耕

层。土样检测项目为: pH 值、Pb、Cd、Hg、As、Cr、Cu、Zn。针对江阴市工业企业的布局和灌溉水域的分布, 增加了水样数量, 全市共取水样 30 个, 分析项目包括: pH 值、化学耗氧量 (COD)、Hg、Cr、As、Cr⁶⁺、Pb。本次样品的测试单位为中科院南京土壤研究所, Hg、As 的测定采用原子荧光法, Cd、Pb、Cr 的测定采用原子吸收光谱法; Hg、As、Cd、Pb、Cr 检测结果相对偏差的平均值分别为 8.13%、1.60%、2.57%、1.15%、3.07%。

2 评价标准

《全国耕地地力调查与质量评价技术》统一了农田土壤质量的评价方法, 统合了 GB15681-1995 国家标准《土壤环境质量标准》、NY/T391-2000 农业部《绿色食品产地环境技术条件》、NY5010-2001 农业部《无公害食品 蔬菜产地环境条件》、GB/T18407.1-2001 农业部《农产品安全质量 无公害蔬菜产地环境要求》4 个标准的内容, 把耕地土壤环境分成如下 3 个等级 (表 1):

1 级, 优, 等效采用 NY/T391-2000《绿色食品环境技术条件》; 2 级, 良, 等效采用 GB/T18407.1-2001《农产品质量—无公害蔬菜产地环境要求》; 3 级, 超过了 2 级指标, 不合格。

农田灌溉水水质标准分成两个等级: 合格与不合格。合格为符合 GB5084-92《农田灌溉水质标准》、NY/T391-2000《绿色食品产地环境技术条件》

^①基金项目: 财政部“耕地地力调查与质量评价”资金项目 (农财发 (2004) 26 号) 资助。

作者简介: 王明兆 (1967—), 江苏江阴人, 农学学士, 农艺师, 主要从事高强度人为活动下土壤资源的演变规律及退化防治措施研究。E-mail: jswma@163.com

和 NY5010-2001《无公害食品水质标准》；不合格为 灌溉水质指标大于合格品^[3-6]，见表 2。

表 1 农田土壤单项指标评价标准 (mg/kg)

Table 1 Standard for single index evaluation of farmland soil

级别	利用方式	pH 值范围	Cu	Pb	Cd	Cr	As	Hg
1 级 (优)	旱田	pH<6.5	≤50	≤50	≤0.30	≤120	≤25	≤0.25
		pH6.5~7.5	≤60	≤50	≤0.30	≤120	≤20	≤0.30
		pH>7.5	≤60	≤50	≤0.40	≤120	≤20	≤0.35
	水田	pH<6.5	≤50	≤50	≤0.30	≤120	≤20	≤0.30
		pH6.5~7.5	≤60	≤50	≤0.30	≤120	≤20	≤0.40
		pH>7.5	<60	<50	<0.40	<120	<15	<0.40
2 级 (良)	不分	pH<6.5		<100	<0.30	<150	<40	<0.30
		pH6.5~7.5		≤150	≤0.30	≤200	≤30	≤0.50
		pH>7.5		<150	<0.60	<250	<25	<1.0
3 级 (不合格)	不分	pH<6.5		>150	>0.30	>150	>40	>0.30
		pH6.5~7.5		>150	>0.30	>200	>30	>0.50
		pH>7.5		>150	>0.60	>250	>25	>1.0

表 2 农田灌溉水单项指标评价标准 (mg/L)

Table 2 Standard for single index evaluation of farmland irrigating water

级别	pH 值	COD	Hg	Cd	As	Pb	Cr ⁶⁺	氟化物
合格	≤5.5~8.5	≤150	≤0.001	≤0.005	≤0.05	≤0.1	≤0.1	≤2.0
不合格	>5.5~8.5	>150	>0.001	>0.005	>0.05	>0.1	>0.1	>2.0

3 评价方法

耕地环境质量综合评价方法：先进行单项污染指标评价、再进行土壤多因子污染指数评价，最后进行土壤和灌溉水的综合污染指数评价。

单项污染指标评价：对照表 1 和表 2 进行评价，所有评价项目全部符合 1 级标准的土壤评定为 1 级；所有评价项目符合 2 级标准的土壤评定为 2 级；以此类推。

土壤多因子污染指数评价：把参与评价的指标分为二类，一类是严控指标，另一类是一般控制指标，见表 3。在评价过程中，严控指标只要有一项超标就被视为不合格，相应降级；一般控制指标可有一项或多项超标，并按照“尼梅罗污染指数法”计算综合污染指数，只要综合污染指数<1，可以不降

级，综合污染指数>1，则降级。

农田灌溉水多因子污染指标（以合格指标计）≤0.5 为 1 级灌溉水、0.5~1 为 2 级灌溉水、>1 为 3 级灌溉水。

土壤和灌溉水的综合污染指数评价^[7]：在某样点土壤和水质二者环境要素中选择低级别的为基础，计算土、水的综合指数 $P_{\text{土水}}$ 。 $P_{\text{土水}} = W_{\text{土}} \cdot P_{\text{土}} + W_{\text{水}} \cdot P_{\text{水}}$ 。水的权值 $W_{\text{水}}$ 取 0.35，土的权值 $W_{\text{土}}$ 取 0.65。

土壤和灌溉水的综合污染指数评价在水源、土壤环境评价的基础上进行。按表 4 将环境质量综合污染指标分为安全、警戒线、轻污染、中污染、重污染 5 级。

2 耕地环境质量调查结果

2.1 土壤单项污染状况

144 个土壤环境样品的重金属元素平均含量见表 5。土壤中 Pb、Cd、Hg、Cr、As、Cu、Zn 7 种重金属元素的平均含量分别为 24.4、0.123、0.108、63.3、9.10、25.9、92.3 mg/kg。

表 3 评价指标分类表

Table 3 Scheme of evaluation indices

环境要素	严控指标	一般控制指标
土壤	Cd、Hg、As、Cr	Cu、Pb
灌溉水	Pb、Cd、Hg、As、Cr ⁶⁺	pH 值、COD

表4 土壤污染分级 (以无公害产品环境为基础)

Table 4 Pollution grades of soils (with the environment for hazard-free products as basis)

土壤综合污染等级	土壤综合污染指数	污染程度	污染水平
1	$P_{综} \leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 < P_{综} \leq 1.0$	警戒线	尚清洁
3	$1.0 < P_{综} \leq 2.0$	轻污染	土壤有一项或多项污染物超标
4	$2.0 < P_{综} \leq 3.0$	中污染	土壤有一项或多项污染物超标显著
5	$P_{综} > 3.0$	重污染	土壤有一项或多项污染物超标严重

表5 江阴市土壤环境样品各重金属元素含量 (mg/kg)

Table 5 Contents of heavy metals in soil samples of Jiangyin City

项目	Pb	Cd	Hg	Cr	Cu	Zn	As
最低值	11.1	0.03	0.011	39.2	18	10.08	3.28
最高值	98.6	2.14	0.464	125	46.7	201.5	15.26
平均值	24.4	0.123	0.108	63.3	25.9	92.3	9.10
标准差	10.0	0.181	0.067	12.8	5.13	26.8	1.93

根据土壤单项污染指数的计算结果, 144 个土壤样本中, 有 2 个土样的 Pb 元素含量超过 1 级标准、在 2 级标准范围内, 占其总土样数的 1.40%, 其取样点分别为顾山镇古塘九队克勤北丘、祝塘镇文南九队章家虞伯芹田; 有 5 个土样的 Cd 元素含量超过 3 级标准, 占其总土样数的 3.47%, 其取样点分别为利港镇前周墓东村、申港镇创新陈家村、申港镇南庄十六队、霞客镇新须、顾山镇北国七组, 其余 139 个样本中的 Cd 元素均未超过 1 级标准; 有 2 个土样的 Hg 元素含量超过 1 级标准、在 2 级标准范围内, 占其总土样数的 1.42%, 其取样点分别为璜土镇贯巷一队许欢林屋西第一块地、霞客镇岐南十三队朱扬耿家村西侧 300 m; Cr 有 1 个土样超过 1 级标准、在 2 级标准范围内, 分别占其总土样数的 0.69%, 其取样点为霞客镇新须; 所有土样中 As、Cu 两元素均未超过 1 级标准。

2.2 土壤多因子污染指数

土壤多因子污染评价结果表明 (图 1): 污染等级为 1 级的土样有 129 个, 其污染指数低于 0.7, 污染水平为安全、清洁, 符合绿色食品产地条件标准, 占总样本数的 89.6%; 污染等级为 2 级的土样有 7 个, 污染水平为尚清洁, 符合或基本符合无公害蔬菜产地环境要求, 占总样本数的 4.86%, 其取样点分别为: 山观镇朝阳茶场的亭山、璜土镇贯巷村一组、利港镇陈墅小江家村、霞客镇岐南耿家村村西、华士镇红苗村、周庄镇大坝上村、顾山镇南曹庄村十七组; 污染等级为 3 级的土样有 7 个, 污染水平

为轻污染, 占总样本数的 4.86%, 其取样点分别为: 利港镇前周墓东村、申港镇创新陈家村、申港镇南庄十六组、青阳镇邓阳村邓阳组、顾山镇古塘村九组克勤北、顾山镇北国山岗农园、祝塘镇文南村九组章家; 没有污染等级为 4 级的土样; 污染等级为 5 级的土样有 1 个, 污染水平为重污染, 占总样本数的 0.69%, 其取样点为霞客镇新须。

2.3 农田灌溉水质状况

30 个农田灌溉水样本中: 1 个水样 pH 值超标, 为 4.07, 水质多因子评价指数为 1.41, 污染等级为 3 级, 水质不合格, 属轻污染, 取样地点为江阴市长泾镇富贝河河塘桥旁; 1 个水样 pH 值达到警戒线, 水质多因子评价指数为 0.52, 污染等级为 2 级, 水质合格, 属尚清洁, 取样地点为江阴市夏港镇新夏港河新夏港河桥旁; 其余 28 个水样无任何单项指标超标, 其多因子评价指数均 < 0.5 , 污染等级为 1 级, 均属清洁的灌溉水。30 个农田灌溉水样本的化学耗氧量 (COD)、Hg、Cd、As、 Cr^{6+} 、Pb、氟化物平均值分别为: 26.06 mg/L、0.0124 μ g/L、0.0001 mg/L、0.881 μ g/L、0.011 mg/L、0.0002 mg/L、0.69 mg/L (表 6), 30 个水样的综合污染指数平均值为 0.323。

2.4 土壤和水的综合污染指数

土壤和灌溉水综合污染评价结果表明 (图 2), 有 132 个土壤样点的综合污染指数低于 0.7, 污染等级为 1 级, 污染水平为安全、清洁, 基本符合绿色食品产地条件标准, 占土壤总样本数的 91.7%; 有 8 个土壤样点的污染综合指数在 0.7 ~ 1.0 之间, 已达到

表6 江阴市灌溉水水样检测情况

Table 6 Results of the test of samples of irrigation water in Jiangyin City

项目	pH 值	氟化物 (mg/L)	COD (mg/L)	As ($\mu\text{g/L}$)	Hg ($\mu\text{g/L}$)	Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	Cr ⁶⁺ (mg/L)
最低值	4.07	0.56	2.81	0.413	0.0081	0.0001	0.0002	0.002
最高值	8.08	0.98	84.48	6.280	0.0221	0.0001	0.0002	0.052
平均值	7.42	0.69	26.06	0.881	0.0124	0.0001	0.0002	0.011
标准差	0.70	0.12	25.98	1.022	0.0036	0.0000	0.0000	0.009

警界线, 污染等级为 2 级, 污染水平为尚清洁, 基本符合无公害蔬菜产地环境要求, 占土壤总样本数的 5.56%; 有 3 个土壤样点的污染综合指数在 1.0 ~

2.0 之间, 污染等级为 3 级, 污染水平为轻污染, 占土壤总样本数的 2.08%; 1 个土壤样点的污染等级为 5 级, 污染水平为重污染, 占土壤总样本数的 0.69%。

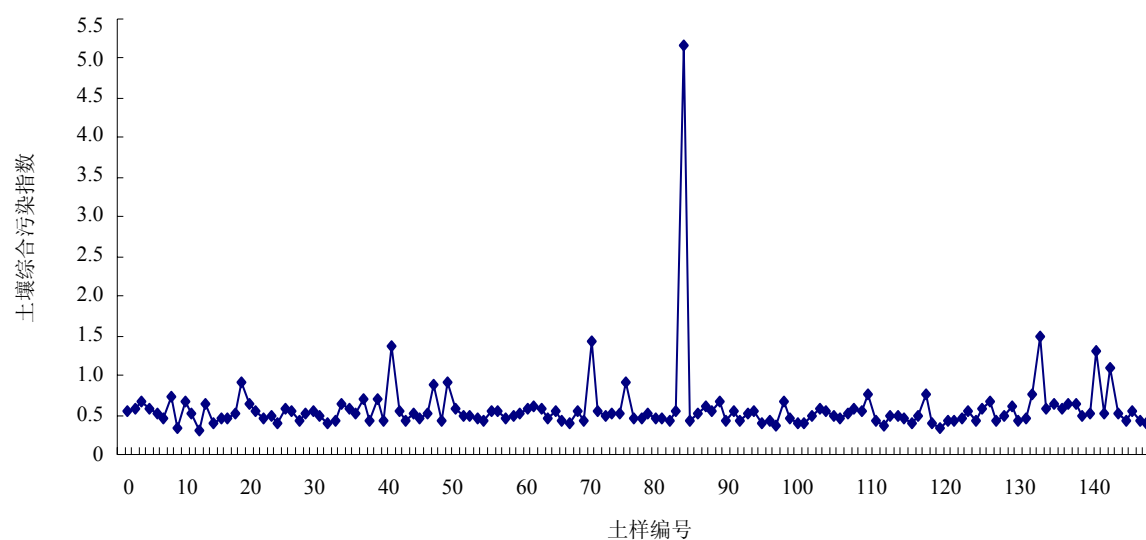


图1 土壤多因子污染指数

Fig. 1 Soil multi-factor pollution index

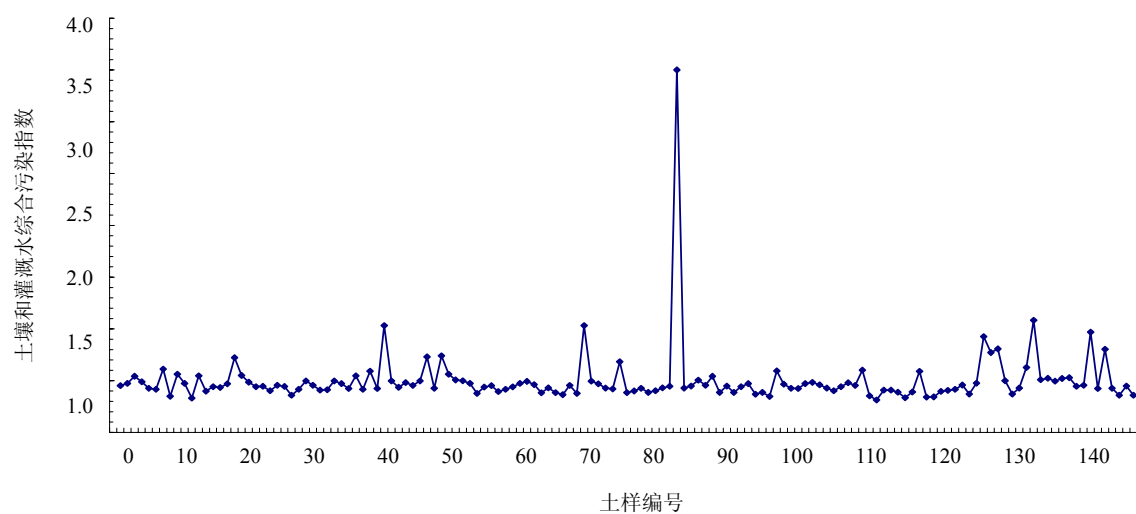


图2 土壤和灌溉水综合污染指数

Fig. 2 Combined pollution index of soil and irrigation water

3 耕地环境质量调查结果分析

3.1 污染点源与面源状况

工业点源污染各监测点重金属含量的平均值与全市耕层土壤的重金属含量的平均值无明显差别,说明被监测的各个企业并未对其周围的耕地土壤造成重金属点源污染。

3.2 蔬菜地与林果地状况

蔬菜地检测了 13 个样品。有 1 个样品的 Cd 含量超标,其土壤污染等级为 3 级,土壤和灌溉水综合污染等级为 2 级;其余 12 个样品的各项指标均合格,土壤污染等级为 1 级,土壤和灌溉水综合污染等级也为 1 级。13 个蔬菜地的土壤污染指数为 0.617,土壤和灌溉水综合污染指数为 0.526。污染程度稍重于耕地的总体水平^[8]。

林果地检测了 15 个样品。有 1 个样品的 Hg 含量超标,土壤污染等级为 2 级,土壤和灌溉水综合污染等级为 1 级。另有 1 个土样,虽其单项污染指标均没有超过 1 级标准,但土壤污染等级为 2 级。15 个样品中,土壤和灌溉水综合污染等级为 1 级的

土样有 14 个、2 级有 1 个,2 级的原因是其灌溉水 pH 值超标。15 个林果地的土壤污染指数平均值为 0.545,其土壤和灌溉水的综合污染指数平均值为 0.498。污染程度稍轻于耕地的总体水平。

3.3 耕地总体状况

根据土壤和灌溉水综合污染评价结果进行推算:江阴市耕地只有 2.77% 的面积受到污染,91.7% 的耕地污染水平为安全、清洁,97.23% 的耕地污染水平为尚清洁,总体状况非常好,稍优于宜兴、吴江、金坛等苏南周边地区(图 3)。由于耕地受重金属污染的途径比较复杂^[9-10],电池、河底污泥、超标农药等偶然因素都可能污染耕地,而江阴市的工业点源污染又不明显,所以 8 个重金属含量超标样本只能作为个案处理^[11],而不能说明其周边一定受到了污染,要确定其周边是否受到了污染,还需在其周围加大取样量。故在图 3 中,耕地环境质量大致分成 3 个等级:优、良、差,污染水平为清洁的为“优”、污染水平尚清洁的为“良”、可能受污染的或已经受污染的为“差”。

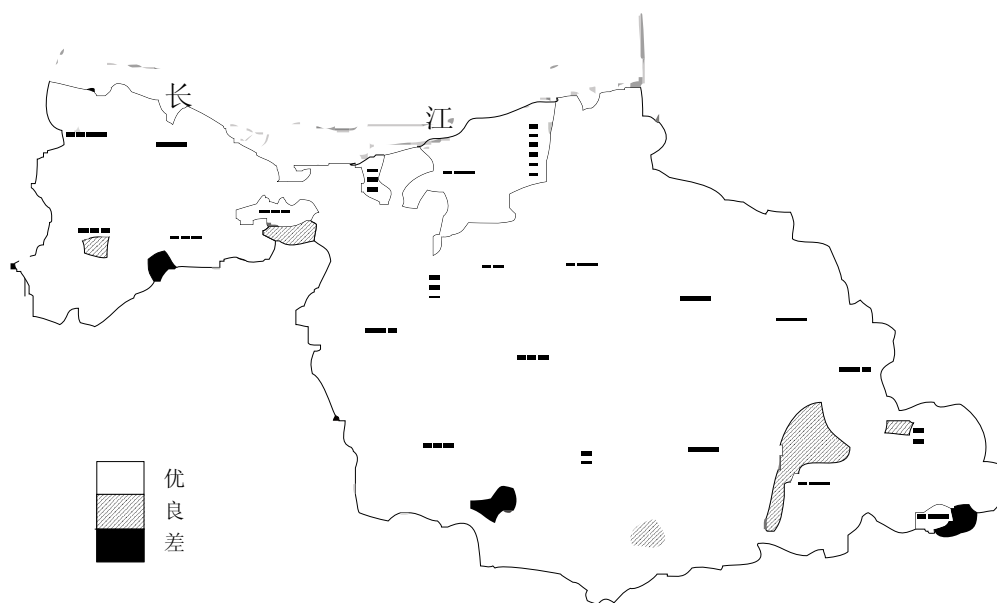


图 3 江阴市环境质量综合评价

Fig. 3 A comprehensive evaluation map of environmental quality of Jiangyin City

3.4 调查结果分析

江阴市企业众多,但本次调查结果显示:江阴市环境质量较好。这是因为江阴市市委、市政府近

几年采取了多项有力措施,严格控制了污染源。特别是严格限制了小型污染企业的生存空间,几年来,有一大批重污染小企业关闭或搬迁出该市范围。

本次调查结果还显示: 江阴市灌溉水的水质非常好, 30 个水样中只有 1 个水样的 pH 值超标, 另 29 个水样符合绿色食品产地要求。这可能是下面二个方面的原因: 一是与该市的地理位置有关, 该市处于长江边上, 主要河道均与长江相通, 水体与长江水流流动频繁; 二是 2004 年 8 月取水样时, 各河道水位较高, 水流的流速较快, 可能是全年中水质比较好的时段。本次调查中水质稍差的 2 个水样, 一个离长江较远, 大约有 20 km, 污染水平为轻污染; 一个处于河流的顶端, 污染程度达到了警戒线, 污染水平为尚清洁。

4 对策与建议

4.1 进一步控制工业污染

应加大《中华人民共和国环境保护法》、《江苏省农业环境保护条例》的宣传力度, 开展农业环境保护清理整顿活动, 对点源污染严重的企业进一步强化监督, 开展专项农业环境保护执法检查, 特别要严格限止小型污染企业, 使其在江阴市没有生存空间, 对不能达标排放的企业坚决关停并转。对于新批企业, 要严格按照国务院《建设项目环境保护管理条例》的规定, 以及国家和省有关产业政策的要求, 规范建设项目环境影响评价和“三同时”制度(建设项目中的环境保护设施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用), 加大对违反《建设项目环境保护管理条例》行为的查处力度, 有效控制新污染源。

4.2 加强监测 科学治理

建立健全农业环境监测制度。在电镀、化工、印染等污染企业密集的乡镇要设立常规监测点, 污染严重地区监测频率要增加, 起码 1 年要监测 1 次。对现有的 1 级、2 级土壤, 要立足于“防重于治”的方针, 在全市蔬菜生产基地要设立监测点, 建立环境档案制度, 定期监控, 严格警示。

控制农用投入品的使用。农民有用河道污泥来肥田的传统, 在使用之前, 要对其进行监测, 符合《农用污泥中污染物控制标准》的, 才可以使用; 全面推广病虫害综合防治技术, 减轻农药污染; 提倡科学施肥, 控制 N 肥施用量, 合理调整 N、P、K 的施入比例, 大力推广平衡配方施肥, 控制化肥用量, 减少农业面源污染。

对已经污染的土壤, 要利用生物措施(特定植

物或微生物吸收降解土壤污染物)、化学措施(利用改良剂或抑制剂降低土壤污染物的水溶性及扩散性, 如加入石灰让金属形成沉淀等)、农艺措施(增施有机肥、控制土壤水分、栽种抗污染的农作物)来减轻污染, 修复土壤^[12-15]。

4.3 发展绿色食品和无公害食品基地

根据本次调查, 江阴市的大部分土壤都适宜发展绿色食品和无公害农产品, 要根据市场需求, 合理调整粮食作物比例、种植业和养殖业结构; 有计划地发展绿色食品和无公害食品基地, 建立现代农业示范园区; 以农业增效, 农民增收为目标, 建立具有江阴特色的农产品基地, 为江阴市生态农业市(县级)的建设创造良好的生态环境。

参考文献:

- [1] 刘永根, 夏国良, 徐炳生等. 江苏省江阴县土壤志. 江阴: 江阴县土壤普查办公室, 1984
- [2] 农业部种植业管理司, 全国农业技术推广服务中心. 全国耕地地力调查与质量评价技术规程. 北京: 中国标准出版, 2003
- [3] 国家环境保护局科技标准局. 环境质量标准 (GB15618-1995). 北京: 中国标准出版社, 1995
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 农产品安全质量无公害蔬菜产地环境要求 (GB/T18407.1-2001). 北京: 中国标准出版社, 2001
- [5] 中华人民共和国农业部. 绿色食品产地环境技术条件 (NY/T391-2000). 北京: 中国标准出版社, 2000
- [6] 中华人民共和国农业部. 无公害食品蔬菜产地环境条件 (NY5010-2001). 北京: 中国标准出版社, 2001
- [7] 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
- [8] 魏秀国, 何江华, 陈俊坚. 广州市蔬菜地土壤重金属污染调查及评价. 土壤与环境, 2002, 11 (3): 252-254
- [9] Zhang MK, Ke ZX. Heavy metals phosphorus and some other elements in urban soils of Hangzhou City, China. Pedosphere, 2004, 14 (2): 177-185
- [10] 夏立江, 王宏康. 土壤污染及其防治. 上海: 华东理工大学出版社, 2001, 7
- [11] 王作雷, 蔡国梁, 李玉秀, 史雪荣, 陶华. 土壤重金属污染的非线性可拓综合评价. 土壤, 2004, 36 (2): 151-156
- [12] 蒋成爱, 吴启堂, 陈杖榴. 土壤中砷污染研究进展. 土壤, 2004, 36 (3): 264-270

- [13] 滕应, 黄昌勇, 骆永明, 龙健, 姚槐应, 李振高. 重金属复合污染下土壤微生物群落功能多样性动力学特征. 土壤学报, 2004, 41 (5): 735-741
- [14] 蒋先军, 骆永明, 赵其国, 葛元英. 铬污染土壤植物修复的 EDTA 调控机理. 土壤学报, 2003, 40 (2): 205-209
- [15] Ni CY, Shi JY, Luo YM, Chen YX. "Co-culture Engineering" for enhanced phytoremediation of metal contaminated soils. *Pedosphere*, 2004, 14 (4): 475-482

Heavy Metal Pollution of the Farmland of Jiangyin City and Its Evaluation

WANG Ming-zhao, WANG Hong-xin, XUE Li

(Agricultural Technique Extension Center of Jiangyin, Jiangying, Jiangsu 214431, China)

Abstract: In Jiangyin City, the major pollutants, heavy metals in farmland and irrigation water were fully investigated in 2004. Samples of soils and irrigation water were analyzed and evaluated based on various indices. Results showed that more than 90% of the farmland was safe and clean, and more than 97% was not polluted by heavy metals. Based on findings of the investigation and analysis, tentative strategies and suggestions are presented in the paper.

Key words: Farmland environment, Heavy metals, Pollution, Jiangyin