

苏南某市农田土壤环境质量评价及其分级

安中华¹ 董元华^{2*} 安琼² 王辉²

(1 湖北教育学院数学系 武汉 430060; 2 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 以苏南工业化与城市化水平较高的某市为试验区,在对该市农田土壤环境质量和污染状况进行较为系统的调研之后,对试区农田土壤的环境质量按照国家有关标准进行综合评价并分类。结果表明:单因子污染指数最小的是六六六,其次为 Pb 和 Cr,均无超标样点;少数传统菜地和大棚菜地土壤中 DDT 的污染指数接近或超过 1,表明其中 DDT 残留量已超标,单因子污染指数最为严重的是 Cd。就综合污染指数而言,除水稻土均值为 0.57,低于 0.7,属安全外,其他 3 类土壤的综合污染指数均值在 0.72~0.95 之间,处于警戒值。试区内约有 20% 以上土壤综合污染指数超过 1,表明土壤受到轻度污染,这是需要引起关注的。

关键词 土壤环境质量;重金属;有机氯农药;评价;分级

中图分类号 X53

多年来由于农药、化肥的大量使用和工农业污染物的排放,农业污染问题已引起公众的日益关注^[1]。随着我国进入 WTO,农产品输入国对进口农产品标准的提高,及我国人民生活水平的提高,国内市场对无公害农产品也有了更高的要求,因此,对土壤的环境质量现状进行系统的调研、综合分析和分类,对于高品质农产品的生产是至关重要的。

本研究以苏南工业化与城市化水平较高的某市为试验区,在对该市农田土壤环境质量和污染状况进行较为系统的调研之后,对试区农田土壤的环境质量按照国家有关标准进行综合评价并分类,以期掌握和评价我国经济较为发达地区农田土壤环境质量状况,作为典型的范例。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

以网格法在试区农田土壤范围内均匀布点为采样点,并用 GPS 定位。采得菜地土壤样 77 个,其中大棚菜地土壤样 13 个,蔬菜基地土壤样 14 个,传统菜地土壤样 50 个;网格中无菜地者取水稻土,共 12 个,土壤类型分别为菜园土(肥熟旱耕人为土)和黄泥土(渗育水稻土)。多点采集耕层土壤,混匀,置入布质土样袋。土样风干,磨碎,过 100 目筛,待测有毒有害元素用;风干土磨碎过 60 目筛供测有机氯农药残留量。

1.2 测试方法与质量控制

待测 8 种有毒有害元素为:As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb 和 Zn。测试方法均按照相应的中华人民共和国国家标准执行,标准列如下:Pb、Cd 的测定-石墨炉原子吸收分光光度法(GB/T17141-1997)^[2];总 Cr 的测定-火焰原子吸收分光光度法(GB/T17137-1997)^[3];Ni 的测定-火焰原子吸收分光光度法(GB/T17139-1997)^[4];总 Hg 的测定-冷原子吸收分光光度法(GB/T17136-1997)^[5];总 As 的测定-硼氢化钾-硝酸银分光光度法(GB/T17135-1997)^[6];Cu、Zn 的测定-火焰原子吸收分光光度法(GB/T17138-1997)^[7]。使用的重金属标准土壤样品代号为 GSS-1,每批样品(约 20 个)中带标样 1~2 个,并且随机取 20% 的测试样品作重复测试样,以此对测试结果的质量作控制。

有机氯农药曾在一段时间内在农业生产上防治农作物的病虫害起着积极的作用,在一些经济发达地区历史上有机氯农药使用量相当大^[8]。由于土壤有机氯农药包括: α -六六六(α -HCH)、 β -六六六(β -HCH)、 γ -六六六(γ -HCH)、 δ -六六六(δ -HCH)、 p,p' -滴滴涕(p,p' -DDE)、 o,p' -滴滴涕(o,p' -DDT)、 p,p' -滴滴涕(p,p' -DDD)及 p,p' -滴滴涕(p,p' -DDT),其残留量测定方法按照按照国标 GB/T14550-93 进行^[9]。分析测定质量控制与保证措施:加标样:每批分析样(约 20 个)需带 1 个待测样添加标样;空白样:每批分

本研究为“江苏省农产品清洁生产创新研究与实施”项目和江苏省环保科技发展项目的部分研究内容。

*通讯作者(yhdong@issas.ac.cn)

析样需带 1 个空白样,以确认试剂和容器的清洁程度;平行样 每批分析样需带 2~3 个平行样(20%),以确认测试结果的再现性;添加回收率:每周 1 次,待测样添加两种浓度标样(相差 1~2 个数量级),平行 3~5 次,以确认测试结果的准确性。

1.3 评价方法

1.3.1 单因子评价指数 P_i 按照国家标准 GB/T18407.1-2001《农产品质量安全:无公害蔬菜产地环境要求》^[10]中所制定的指标对本研究区域土壤中 8 种单个污染因子进行评价,确定单因子评价指数 P_i :

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中: P_i 为各环境要素的单因子指数, S_i 为各环境要素的评价标准。

1.3.2 综合评价指数 Q 对所有土样的 8 种单因子污染指数按照 GB/T18407 指定的方法进行处理,得到供试土壤的综合污染指数 Q :

$$Q = \sum_{i=1}^K P_i$$

式中 Q 为综合评价指数, i 为单因子评价指数的项数,其值为 1, 2, 3, ..., k 。

该指数包含我国土壤环境质量标准现有的 8 种主要的评价指标,系统地反映了土壤受 8 种污染物

污染的总体状况。

2 结果与讨论

2.1 试区农田土壤中有毒有害元素及有机氯农药残留量

试区农田土壤中有毒有害元素含量列入表 1。

由表 1 可见:试区土壤中 As 含量范围为 4.3~42.9 mg/kg,绝大部分样品含量<10 mg/kg,仅传统菜地个别样品中 As 含量>40 mg/kg;Cr 含量范围为 49.8~101.7 mg/kg;不同利用方式土壤中 Cr、Hg 分布并无明显差异;Cu 含量范围为 15.0~125.4 mg/kg,蔬菜基地和大棚菜地土壤中 Cu 含量略高;传统菜地土壤中的 Pb 略高于其他利用类型土壤;水稻田及传统菜地土壤中的 Cd 含量相近,而蔬菜基地和大棚土壤中的 Cd 略高,最高点为 1.67 mg/kg,出现在蔬菜基地。曾有人提出^[11]:土壤利用方式不同,土壤重金属污染有明显地差异。水稻土中 Cd、As,菜园土中 Cu、Pb 及果园土中 Hg 含量为最高。显然,正是由于土地利用方式不同,所实施的灌溉、施肥,用药等管理方式也不同,土壤环境条件也有很大差异,这不仅使带入土壤的重金属种类和数量不同,污染物在土壤中的迁移和富集情况也会产生明显地差异。本研究发现,供试区不同利用方式对土壤中有毒有害元素积累的影响并不十分突出。

表 1 试区农田土壤中有毒有害元素含量 (mg/kg, dw; n=89)

Table 1 Harmful elements in soil samples from test area (mg/kg, dw; n=89)

		Hg	As	Pb	Cd	Cr	Cu
总体	均值	0.3	7.2	36.9	0.3	69.8	35.4
(n=89)	范围	0.1~2.4	4.3~42.9	22.5~106.5	0.1~1.7	49.8~101.7	15.0~125.4
水稻田	均值	0.3	7	36.3	0.3	71.7	35.4
(n=12)	范围	0.2~0.5	5.9~8.0	29.3~52.6	0.2~0.4	54.2~101.7	22.2~59.2
传统菜地	均值	0.3	7.7	38	0.3	68.8	32.1
(n=50)	范围	0.1~2.3	4.4~42.9	22.5~106.5	0.1~0.8	52.1~85.9	17.3~70.7
蔬菜基地	均值	0.3	6.6	35.8	0.4	74.8	42.4
(n=14)	范围	0.1~0.7	4.3~8.8	23.9~58.4	0.2~1.7	57.3~89.2	15.0~125.4
大棚蔬菜地	均值	0.3	6.1	35	0.4	66.8	40
(n=14)	范围	0.1~0.7	4.3~8.1	24.8~43.7	0.2~0.7	49.8~84.8	21.4~111.1

由试区农田土壤中有机氯农药残留的一般状况(表 2)可见:有机氯农药残留在土壤中普遍存在,其残留总量(Σ -OCP)介于 23.2~1126.7 μ g/kg,平均 174.4 μ g/kg。试区农田土壤中有机氯农药残留水平波幅较大,其中 Σ -OCP<100 μ g/kg 的土样占 39.33%,100~200 μ g/kg 的土样占 37.08%,200~500

μ g/kg 的土样占 19.10%,>500 μ g/kg 的土样占 4.49%,即大部分样品的 Σ -OCP 低于 500 μ g/kg,75%以上的土样 Σ -OCP 低于 200 μ g/kg。有机氯农药残留的主要组分为 p,p' -DDE 和 p,p' -DDT,占有机氯农药残留总量的 82%以上,而六六六的残留总量相当低,仅占有机氯农药残留总量的 6.2%。由

表 2 试区农田土壤中有机氯农药残留量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$, dw; n=89)
Table 2 Residues of organochlorine pesticides in soil samples from test area ($\mu\text{g}/\text{kg}$ dw; n=89)

		Σ -HCH	p,p' -DDE	Σ -DDTs	Σ -OCP
总体(n=89)	均值	11.1	77.7	163.2	174.4
	范围	4.5~22.8	5.9~354.2	17.0~1115.4	23.2~1126.7
水稻田(n=12)	均值	11.8	65.1	137.5	149.2
	范围	8.6~16.9	13.8~121	22.1~492.4	37.2~502
传统菜地 (n=50)	均值	10.9	89.7	172.5	183.4
	范围	4.5~22.8	5.9~354.2	17~1115.4	23.2~1126.7
蔬菜基地(n=14)	均值	11.5	67.8	160.4	171.9
	范围	6.6~21.2	10.3~199.6	30.5~477.5	38.3~487.9
大棚蔬菜地(n=14)	均值	10.1	54.2	154.1	164.2
	范围	7.1~13.5	33.8~107.4	63.4~843.2	70.7~850.7

于土壤是一种非匀质体，因此，污染物在其中的分布很不均匀，检测数据离散度大，对一些离群数值的处理应十分谨慎，不可随意弃去。

2.2 单因子评价指数 P_i

试区单因子污染指数(表 3)最小的是六六六；其次为 Pb 和 Cr，均无超标样点。尽管土壤 Pb 的污染指数不高，但我们认为部分传统菜地土壤中 Pb 的含

量已超过 60 mg/kg ，而这个值可能是影响人体血 Pb 含量的阈值，因此，对部分含 Pb 较高的土壤，还应该引起必要的重视。另外，少数传统菜地和大棚菜地土壤中 DDT 的污染指数接近或超过 1，表明其中 DDT 残留量已超标；单因子污染指数最高的是 Cd，应引起高度的关注。水稻田土壤中 Cd 的单因子污染指数均值为 0.68，最大值为 1.45；传统菜地土壤

表 3 试区不同管理方式土壤部分单因子污染指数 (p_i)
Table 3 Some single-factor pollution indices in the soils under different land use (p_i)

		Σ -HCH	Σ -DDT	Hg	As	Pb	Cd	Cr	Cu
水稻田 (n=12)	均值	0.02	0.27	0.33	0.26	0.15	0.68	0.31	0.35
	标准差	0.01	0.24	0.14	0.04	0.09	0.39	0.06	0.1
Paddy soil	范围	0.02-0.03	0.04-0.98	0.15-0.58	0.18-0.32	0.08-0.34	0.28-1.45	0.23-0.41	0.22-0.59
传统菜地 (n=50)	均值	0.02	0.35	0.47	0.28	0.22	0.8	0.33	0.32
	标准差	0.01	0.36	0.46	0.22	0.15	0.52	0.08	0.09
Kailyard	范围	0.01~0.05	0.03~2.23	0.07~2.35	0.14~1.72	0.07~0.71	0.18~2.57	0.21~0.53	0.17~0.71
蔬菜基地 (n=14)	均值	0.02	0.32	0.47	0.25	0.19	1.15	0.35	0.41
	标准差	0.01	0.31	0.43	0.05	0.11	1.33	0.08	0.28
Vegetable base	范围	0.01~0.04	0.06~0.96	0.1~1.38	0.16~0.35	0.07~0.39	0.27~5.57	0.26~0.54	0.15~1.25
大棚蔬菜地 (n=13)	均值	0.02	0.31	0.72	0.18	0.26	1.09	0.36	0.4
	标准差	0	0.42	0.61	0.04	0.12	0.47	0.11	0.24
Green house	范围	0.01~0.03	0.13~1.69	0.19~2.42	0.13~0.27	0.07~0.44	0.49~2.17	0.2~0.57	0.21~1.11

中 Cd 的单因子污染指数均值为 0.80，最大值为 2.57；而蔬菜基地及大棚菜地土壤中 Cd 的单因子污染指数均值都 > 1；试区土壤中 Cd 含量偏高的原因可能由于：成土母质。该地区处于长江下游，成土母质中部分重金属含量较高；工业污染源。小电镀厂等化工厂排污所致；农业化学品尤其是富含有毒有害元素的化肥和复合肥在农田的使用。有

毒有害元素进入环境后，难以排除，在环境中能长期滞留。

2.3 综合评价指数 Q

试区土壤的综合污染指数 Q (表 4) 包含我国土壤环境质量标准现有的 8 种主要的评价指标，系统地反映了土壤受 8 种污染物污染的总体状况。结果表明：除水稻土 $P_{\text{综合}}$ 均值为 0.57，低于 0.7，属安

表 4 不同管理方式土壤的综合污染指数(Q)

Table 4 Combined pollution indices in the soils under different land use (Q)

	水稻土 (n=12)	传统菜地 (n=50)	蔬菜基地 (n=14)	大棚蔬菜地 (n=13)
均值	0.57	0.72	0.89	0.95
标准差	0.26	0.41	0.95	0.43
最小值	0.28	0.25	0.26	0.38
最大值	1.06	1.92	4.03	1.78

全外, 其他 3 类土壤的综合污染指数均值在 0.72~0.95 之间, 处于警戒值。各类土壤综合污染指

数中均有部分超过 1, 其中, 蔬菜基地土壤综合污染指数最大值居然高达 4.03, 远远 > 1, 为严重污染。试区约有 20% 以上土壤综合污染指数超过 1, 而综合污染指数超过 1 时, 表明土壤受到轻度污染, 这是需要引起关注的。

表 5 所列为典型污染因子对综合污染指数的分担率。分担率反映了各污染因子在综合污染指数中的份额。表 5 数据表明: 在所有类型土壤中, 六六六类残留物对综合污染指数的贡献最小, 仅占 1% 左右; 重金属 Cd 在综合污染指数中所占份额最大, 近 1/3; Hg 对综合污染指数的贡献也很突出,

表 5 典型污染因子对综合污染指数的分担率 (%)

Table 5 Contributions of some typical pollution factors (p_i) to the combined pollution indices (Q)

	ÖHCH	ÖDDT	Hg	As	Pb	Cd	Cr	Cu
总体 (n=89)	0.85	10.96	15.41	9.62	6.93	29.9	12.75	13.58
水稻田 (n=12)	1.01	11.97	13.72	11.65	5.93	27.15	13.36	15.22
传统菜地 (n=50)	0.84	12.24	15.11	10.65	8.01	27.66	12.88	12.61
蔬菜基地 (n=14)	0.83	10.53	13.48	9.92	6.09	31.41	13.31	14.42
大棚蔬菜地 (n=13)	0.71	9.1	19.34	6.28	7.66	33.39	11.45	12.08

尤其在蔬菜基地土壤中 Hg 的污染状况值得关注; 持久性有机污染物 (POPs) DDT 类残留物对综合污染指数的贡献也不可忽视。

2.4 试区土壤环境质量分级

按照综合污染指数的值可将土壤分为安全、警戒限、轻污染、中污染和重污染 4 个级别 (表 6)。从总体来看, 供试区土壤仅 48.3 % 是安全的, 处于

警戒限的为 24.7 %, 轻度污染占 35.8 %, 中度污染占 1.1 %, 重度污染占 1.1 %。除水稻田土壤安全级所占比率较高 (超过 60 %) 外, 其他利用类型土壤的分级结果不容乐观: 传统菜地安全级占 48 %, 轻污染占 28 %, 蔬菜基地安全级占 50 %, 轻污染占 14 %, 重污染占 7.14 %; 大棚蔬菜地安全级仅占 30.77 %, 轻污染和中污染土壤所占比例超过 50 %。

表 6 不同等级土壤所占份额 (%)

Table 6 Share of each grade of soils in total

等 级	总体 (n=89)	水稻田 (n=12)	传统菜地 (n=50)	蔬菜基地 (n=14)	大棚蔬菜地 (n=13)
Q 0.7 安全	48.31	66.67	48.00	50.00	30.77
0.7 < Q 1.0 警戒限	24.72	25.00	24.00	28.57	23.08
1.0 < Q 2.0 轻污染	25.84	8.33	28.00	14.29	46.15
2.0 < Q 3.0 中污染	1.12	0.00	0.00	0.00	7.69
Q > 3.0 重污染	1.12	0.00	0.00	7.14	0.00

3 小 结

试区为我国经济发达的农业地区, 农用化学品 (包括农药、化肥) 投入一直很高, 农村工业发展迅速, 因此农田土壤中有机氯农药残留量及有毒有害元素的含量较高, 土壤环境质量处于安全的仅为

48.3 %, 近 1/4 的土壤处于警戒限, 其余的农业土壤处于不同程度的污染状况。大棚蔬菜地的情况更令人担忧, 受到污染的土壤 > 50%。随着我国进入 WTO, 农产品输入国对进口农产品标准有所提高, 同时, 我国人民生活水平的日益提高, 国内市场对

农产品品质也有了更高的要求,我国的土壤环境质量标准进一步严格并与国际接轨是发展的必然趋势。例如 DDT 类持久性有机污染物 (POPs) 的农田土壤标准,欧盟国家为 $100 \mu\text{g/kg}$,我国上海地方标准也定为 $100 \mu\text{g/kg}$,仅为我国现行标准的 1/5。因此,为了保障农产品品质,必须建立健全土壤环境质量这道安全防线,对一些污染严重的点位,应采取适当的技术修复污染土壤,并通过农业产业化调整,改变种植习惯,以防止污染物通过食物链进入人体。

参考文献

- 1 董元华,张桃林.基于农产品质量安全的土壤资源管理与可持续利用.土壤,2003,35(3):182~186
- 2 中华人民共和国国家标准.土壤质量-铅、镉的测定:石墨炉原子吸收分光光度法(GB/T17141-1997).北京:中国标准出版社,1997
- 3 中华人民共和国国家标准.土壤质量-总铬的测定:火焰原子吸收分光光度法(GB/T17137-1997).北京:中国标准出版社,1997
- 4 中华人民共和国国家标准.土壤质量-镍的测定:火焰原子吸收分光光度法(GB/T17139-1997).北京:中国标准出版社,1997
- 5 中华人民共和国国家标准.土壤质量-总汞的测定:冷原子吸收分光光度法(GB/T17136-1997).北京:中国标准出版社,1997
- 6 中华人民共和国国家标准.土壤质量-总砷的测定:硼氢化钾-硝酸银分光光度法(GB/T17135-1997).北京:中国标准出版社,1997
- 7 中华人民共和国国家标准.土壤质量-铜、锌的测定:火焰原子吸收分光光度法(GB/T17138-1997).北京:中国标准出版社,1997
- 8 赵玲,马永军.有机氯农药对土壤环境的影响,土壤,2001,33(6):309~311
- 9 中华人民共和国国家标准.土壤质量-六六六和 DDT 的测定:气相色谱法(GB/T14550-1993).北京:中国标准出版社,1993
- 10 中华人民共和国国家标准.农产品质量安全: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
- 11 张民,龚子同.我国菜园土壤中某些重金属元素的含量与分布.土壤学报,1996,33(1):85~93

EVALUATION AND GRADING OF SOIL ENVIRONMENTAL QUALITY OF FARMLANDS SOMEWHERE IN SOUTH JIANGSU

AN Zhong-hua¹ DONG Yuan-hua² AN Qiong² WANG Hui²

(¹ Math. Department, Hubei Institute of Education, Wuhan 430060;

² Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract Results of the investigation and analysis of the soil in a well-industrialized and urbanized city in South Jiangsu showed that the single-factor pollution index with HCH was the lowest, and followed by that with Pb and Cr whereas that with Cd was the highest; however, in some traditional vegetable fields and vegetable fields in greenhouse, the single-factor pollution index with DDT came close to or over 1, indicating DDT residues exceeded the criteria in some of the soils. In regard to combined pollution index, except paddy soil with the value being 0.57, below the threshold value of 0.7, all the soils ranged between 0.72 and 0.95, all beyond the threshold value for warning. In the studied area, over 20% of the soils had their combined pollution indices beyond 1, suggesting that the soils are slightly polluted, which should arouse attention from competent authorities.

Key words Soil environment quality, Heavy metals, Organochlorine pesticide, Evaluation, Grading