

苏南太湖下游地区土壤中若干 元素的自然水平及含量评述

江苏省环境科学研究所

一九八二年一月

苏南太湖下游地区土壤中若干元
素的自然水平及含量评述
江苏省环境科学研究所（注）

本文述及的太湖下游地区，主要包括苏州专区的八个县及二个市郊。鉴于该地区是个古老农业区，解放后工农业迅速发展，随之也带来了环境保护问题，土壤是人类获得食物的生产资料，也是环境中有害物^个进入、迁移、转化、积累的重要场所，所以在这一地区研究环境中各解质，特别是土壤若干元素的区域背景，已成为刻不容缓之事。我所于1980年接受了江苏省农业环境保护区划的任务，首先在这地区开展了调查研究工作，从1980—1981二年中共进行了三次野外调查，并陆续采集了土壤、粮食共422个样品，由于样品的分析结果逐步完善，我们终结了这两年来所有的数据及资料，从而获得这一地区土壤中若干元素的自然水平，并对其含量加以评述。

一、方法

1. 采样点选择

一个地区的农业环境保护区划，既要考虑该地区各解质^个的区域背景值，同时又要考虑该地区的污染状况，因此，采样点的选择，主要从两方面考虑，从研究背景值角度考虑了三个因素，即(1)当地的主要土类(2)当地的主要成土母质(3)尽可能远离已知污染源，而从研究污染状况，考虑了两个因素(1)城市附近，多年来工农业生产对土壤的污染，(2)已知污染源对土壤的污染，因而土壤采样点包括了非污染点及污染点两种类型。

2. 样品采集方法

土壤采样分主点及对照点。每个土壤类型设若干个主点。土壤采样用铁铲挖掘土壤剖面。按野外观察划分自然发生层。取土若干公斤。用布袋或塑料袋分层盛放。每个土壤类型又有若干个对照点。土壤采样方法与主点相同。只是取土层次减少。取耕层及心土层 水稻土以耕层及渗积层为主。

3. 采样范围

它包括太湖平原的黄泥土类型（黄泥土、黄泥白土、白土）等；平原中洼地部分的青泥土、灰罗土等；吴县丘陵部分的果园黄土，各地残丘上发育于砂岩、花岗岩、石灰岩等的黄棕壤，阳澄湖圩田的青紫泥 乌山土，长江冲积平原的灰潮土等共167剖面285层次。其范围涉及八个县二个市郊。

4. 样品的测定

土壤测定项目包括Cu、Zn、Pb、Cd、Co、Ni、Cr、As、F、Hg等十种元素及BHC、DDT二种有机氯

Cu、Zn、Pb、Co、Ni用王水高氯酸消化土样。用火焰原子吸收法测定。其中Pb、Co用氘灯扣除背景；Cd用王水—过氯酸消化土样后。用KI—NI BK萃取后。用火焰原子吸收法测定；砷在聚四氟乙烯坩埚内。用硫酸—高氯酸法高压熔样。消化土样后用锌粒还原。产生砷化氢。经二氯乙烷—二乙基二硫代氨基甲酸银吸收后。用比色法测定；汞用硝酸、硫酸湿化消化后。高锰酸钾氧化。盐酸羟胺还原后用测汞仪进行冷蒸气测定；氟经NaOH熔融。用离子选择性电极测定；铬用硫酸、磷酸在聚四氟乙烯坩埚中高压熔样后。用比色法测定。

二、苏南太湖下游地区土壤中若干元素含量

众所周知，土壤中各种元素含量受成土母质的制约，不同母质发育的土壤，元素含量差异很大，如南京地区发育于玄武岩、灰岩的黄棕壤，其元素含量，除钨和铋外，显著高于页岩及花岗岩、砂岩等。同时，它又与土壤类型有关，由于成土过程的差异，土壤中各种元素迁移转化规律有所不同，因而也会造成土壤中若干元素含量的差异。而在城郊及工厂附近，耕地土壤还受工农业生产的污染。

据研究，南京地区的黄刚土及灰潮土中若干元素含量有显著性差异，而上海农科院研究上海地区土壤发现，上海土壤中诸元素的含量与土壤类型没有关系。本文就这一地区土壤中若干元素含量及其与土壤类型、母质等关系进行如下讨论

(一)太湖下游地区土壤中若干元素的一般含量

这一地区土壤中各元素含量出现频率可分述如下，As在5—15 PPM范围内，频率为93.42%，镉在0.3 PPM值以下者，频率为81.68%；汞含量在100—600 PPM范围内，频率为96.06%，其中在300—600 PPM内，占86.26%；铜在10—40 PPM范围，占93.58%；Co在5—10 PPM，频率达91.59%；Pb在10—50 PPM范围，占90.1%；锌在60—90 PPM范围，占57.42%，而在20—90 PPM范围，占75.26%；镍在20—40 PPM范围内，占85.03%，铬在40—80 PPM范围，占91.33%，而在50—70 PPM内占64.74%；汞在小于0.5 PPM范围内样品，占71.98%，在0.5—0.7 PPM范围内，占9.91%，在1.0—2.0范围，占2.76%。

表一、苏州地区土壤中各元素的含量范围

	范围(全距)	算术 平均值	标准差	样品数	变异系数	世界 范围值	土壤 平均值
铜	5.09~1165	24.92	10.20	202	40.93%	2—200	15—40
锌	25.53~393	82.16	38.44	197	46.79%	10—300	50—100
铅	5.0~545	35.67	42.57	201	119.34%	2—200	15—25
钴	3.75~24	10.89	2.84	202	26.08%	1—40	10—15
镍	9.7~60.69	29.13	8.60	202	29.52%	5—50	40
镉	0.014~1763	0.348	1.38	171	396.55%	0.01~0.7	0.5
汞	0.038~4.04	0.497	0.532	232	107.04%	0.03— 0.3	0.03— 0.1
氟	168.8~750	432.99	99.2	257	22.91%		
砷	3.1~87.25	9.86	5.75	243	58.32%	1—50	5
铬	21~240.5	61.55	22.29	173	36.21%	5— 1000	100— 300

从这些元素在不同浓度范围内出现频率的高低及表一提供的数值，可大致判断出该地区土壤元素含量有如下若干特点。

(1)大部分元素在大部分样点中，含量集中在世界土壤常见含量范围围以内

表二 苏州地区土壤中元素含量常见范围

元 素	常见范围	北京 南京土壤 常见范围
As	5—15	10—50
Cd	<1	1 < 1
Cu	10~40	10—50
Co	5—10	10—50
Hg	<1	<1
Ni	20—40	10—50
Cr	40—80	50—100
Zn	40—100	50—100
Pb	10—50	10—50
F	100—600	

(2)有些元素在若干样点中显然超过了世界土壤及国内土壤的常见含量范围，如汞、铅、镉、砷、锌，这证明在这一地区某些土壤确实受到了污染。

(3)汞的频率分布比较离散，大于1 PPM的样品，其频率达到10%，这证明这一地区土壤普遍受到汞的面源污染。

(二)蔬菜区的元素含量状况

城郊土壤因受城市工农业生产活动的影响其元素含量，有的显著高于广大农村的粮棉区土壤，我们以苏州市郊蔬菜区为例

表三、蔬菜区的元素含量及粮田土壤的均值检验

元 素 项 目	Cu	Pb	Co	Zn	Ni	Cd	Hg	As	F
平均值	29.63	44.51	7.65	118.46	27.96	0.184	1.17	11.72	375.3
标准差	4.87	15.95	2.07	72.49	4.08	0.0889	0.99	2.64	49.53
变异系数	16.43%	35.83	27.06	61.19	14.59	48.32	84.55%	22.53	13.2%
同粮田 土的t 检验	$t=3.405$ $P<0.01$	$t=3.004$ $P<0.01$	$t=2.186$	$t=2.213$ $P<0.05$	$t=0.529$ $P<0.6$	$t=1.116$ $P<0.1$	$t=3.445$ $P<0.01$	$t=1.882$ $P<0.1$	$t=0.335$ $P<0.8$

蔬菜区土壤若干元素含量中，除钴低于同类粮田土壤，F、Ni无显著性差异外，其余元素Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As等皆超过同类粮棉土壤，其显著水平皆达到 $P<0.1$ ，其中Cu、Pb、Zn、Hg皆达到 $P<0.01$ ，可见近郊蔬菜区已显然受到多种元素污染。

(三) 土壤中若干元素之间相关性

表四、元素之间相关系数

Cu—Pb 0.3593	Cd—Ni 0.2886	Cu—Zn 0.5272		Cu—Hg 0.2329
Pb—Cd 0.9442	Ni—F 0.2597	Pb—Co 0.4458	Ni—Cr 0.4870	Pb—Zn 0.3256
Co—Cd 0.4974	F—Hg -0.2647	Co—F 0.4621		
Zn—As 0.3125	As—Hg 0.2397	Zn—F -0.2330	As—Cr 0.2403	$r_{0.05} = 0.2319$

从上表可看出，这一地区土壤耕层中 Pb 与 Cd 相关性极为显著，而其它元素之间的相关性都达到了 $r_{0.05}$ 的水平，这种元素结合情况既反映了在成土过程中各种元素积累组合的程度，也反映了外来污染元素之间关系，就某个污染点来说，其污染元素往往不是单一的，而是由若干种元素同时污染，其中铅与镉、铜与锌的相关最为特出。

(四) 土壤中元素的垂直变化

这一地区土壤元素的垂直分布与两个因素有关，一是耕层因受生物富集及工农业的污染影响，重金属常滞留在耕层，二是元素在土壤中（尤其是水稻土）随下行水流，又会在土体中迁移，所以它在土壤的垂直分布特点，各有不同。有的元素如汞不仅在耕层滞留，而且会往下移动，以至在 40—50 公分以上土层，基本已被污染，见图一，

有的仅仅滞留在耕层，有的尚保持其自然水平，耕层与底层无显著差异（见图二）。

有的元素在层次中含量，显然与土壤发生层次密切相关，我们仅以以黄泥土中白土为例

表五 白土中表土与白土层的各元素含量

地点	土壤	层次	Cu	Pb	Co	Zn	Cd	Ni	F	As	Hg	Cr
无夕 港下	白土心	表土	21.0	24.2	14.0	65.4	0.124	25.84	481.3	9.06	0.293	55.3
		白土层	11.0	16.7	9.67	25.5	0.088	17.5		9.06	0.048	45.0
吴江 八都	白土	表土	19.0	20.0	9.00	55.8	0.092	30.2	300	7.05	0.395	61.8
		白土层	5.0	10.0	14.7	39.7	0.088	14.8	231.3	7.85	0.038	48.3
吴县 金山	白土	表土	17.2	21.7	9.83	49.0	0.083	22.5	356.3	7.88	0.306	41.5
		白土层	15.7	18.3	14.7	22.5	0.035	12.5	293.8	8.68	0.042	50.2

白土中表土与白土层相比，有几种元素如 Cu、Pb、Zn、Cd、Ni、F、Hg 的含量表土层显著高于白土层，这说明白土层在还原条件下，这样一些元素伴随着铁锰一起被水淋洗，而另一些元素 Co 与 As 无显著性差异。

图 2 为白土中各元素在剖面中垂直分布图，它表明 Cu、Pb、Cd 有相似分布，即耕层低于犁底层，白土层低于下面淀积层，这反映了这类元素在土壤中有两个淋洗层和两个淀积层。Ni 与 Zn 有相似分布 Rp 耕层略高于犁底层，但白土层含量显著减少，至下面淀积层又显著增大，As、F、Cr 有相似分布，其特点是耕层比犁底层略高，往下又逐渐升高，这反映这类元素虽也随水分下行有所移动，但其移动量不如 Cu、Zn、Cd 等这类元素明显；Hg 在土层中明显表现出在上层滞留积累的趋势，Co 在土壤中比较稳定，上下层差异不大。

五、土壤中元素与质地的关系

表六 潮土中粘土与沙土的含量

地点	土壤	Cu	Pb	Co	Zn	Cd	Ni	F	As	Cr	Hg
太仓 岳王	坭泥	21.4	36.9	12.55	91.4	0.399	30.0	534.4	8.72	69.8	0.216
常熟 珍珠门	沙土	14.5	17.49	8.67	68.1	0.137	23.33	387.5	6.62	53.0	0.168

表六说明，发育于长江冲积物的土壤，由于质地不同，其元素含量显著不同，这十种元素含量皆是粘土大于沙土，这反映了粘粒多少及粘土矿物的多寡对这些元素吸附的量有重要的关系。

六、土壤中元素含量与土壤类型的关系

表七为这一地区五种主要农业土壤类型（黄泥土、青紫泥、乌山土、潮土、果园黄土）的各种元素的方差分析。

表七 主要土类中各元素平均值的F检验

项目元素	Zn	CO	Pb	Ni	Cd	Hg	F	As	Cu
F值	3.832	3.81	1.43	11.41	7.59	6.16	28.1	8.50	19.49
f_1	4	4	4	4	4	4	4	4	4
f_2	189	197	177	196	154	183	252	236	184
$\alpha_{0.05}$	2.43	2.43	2.43	2.42	2.43	2.43	2.42	2.42	2.42

这一地区五种主要土壤类型平均值的方差分析表明，除铅以外，其余都有显著性差异。因而为了确切了解这一地区各种土壤中各元素的含量状况及其自然水平，将分别对它们进行讨论。

二、五种主要土壤类型的元素含量

(一)含量特点

表八 苏州地区主要土壤中若干元素的范围值

土	黄泥土	果园黄土	青紫泥	乌山土	湖土
铜	5.09~116.5	12.0~58.22	17.5~41	18.2~52.17	11.0~30.84
铅	10.0~236.67	20.0~105	11.67~39.16	5.0~545	13.33~38.4
锌	22.53~282.7	32.7~393	66.0~151.9	54.98~150.3	52.07~104.8
钴	4.25~15.75	3.75~15.06	3.17~17.6	6.02~24.0	7.63~15.17
镍	1041~52.5	9.7~45.41	13.33~45.0	26.03~60.69	16.67~42.4
镉	0.033~1.73	0.059~2.52	0.0325~0.378	0.0327~17.63	0.069~0.442
汞	0.038~2.98	0.101~4.04	0.049~1.09	0.042~2.29	0.075~1.99
氟	218.8~700	168.8~587.5	312.5~437.5	343.8~600	163.8~750
	4.4~20.8	9.27~37.25	3.1~11.87	6.91~15.9	5.4~21.99
铬	34.0~240.5	40.3~60.4	21.0~80.2	42.0~93.5	45.5~74

表九 元素的最高值与最低值之比

元素	黄泥土	果园黄土	青紫泥	乌山土	潮土
铜	22.89	4.85	2.34	2.87	2.80
铅	23.67	5.25	3.36	10.9	2.88
锌	12.55	12.01	2.30	2.73	2.01
钴	3.71	4.02	2.15	3.99	1.99
镍	5.04	4.68	2.45	2.33	2.54
镉	52.42	42.71	11.63	539.14	6.41
汞	78.42	40	22.24	54.52	26.53
氟	3.199	3.48	2.36	1.75	4.46
砷	4.73	9.41	3.83	2.30	4.07
铬	7.07	1.50	3.82	2.23	1.63

表八与表九说明黄泥土中汞、镉、铜、铅、锌、铬、等皆存在污染点；果园黄土中镉、汞、锌、铅、铜存在着污染点；青紫泥中汞、锌、氟存在污染点；乌山土中铜、铅、锌、镉、汞、镍等存在污染点；潮土中汞、氟存在污染点；

表十. 五种主要土壤的表土与底土中若干元素的t检验

地区	元素	土壤	均值 (ppm)		差值	t 值	概 率 (P)	
			表 土	底 土				
苏 南 太 湖 下 游 地 区	Hg	黄泥土	0.6839	0.5102	0.1737	1.388	0.2 > P > 0.1	
		果园黄土	1.0674	0.4717	0.5957	2.4351	0.05 > P > 0.02	
		表紫泥	0.5345	0.2758	0.2588	2.4281	0.05 > P > 0.02	
		乌山土	0.5611	0.4861	0.07503	0.5225	0.7 > P > 0.6	
		潮 土	0.3283	0.3117	0.01655	0.1968	0.9 > P > 0.8	
	Zn	黄泥土	73.79	54.51	19.28	0.852	0.4 > P > 0.3	
		果园黄土	50.14	51.65	1.512	0.431	0.8 > P > 0.7	
		表紫泥	76.46	70.08	6.38	1.486	0.2 > P > 0.1	
		乌山土	82.15	79.55	2.6	0.820	0.5 > P > 0.4	
		潮 土	80.26	74.94	5.32	1.372	0.2 > P > 0.1	
	Cd	黄泥土	0.1786	0.1202	0.059	1.400	0.2 > P > 0.1	
		果园黄土	0.6691	0.2057	0.4634	1.7627	0.1 > P > 0.05	
		表紫泥	0.1589	0.1674	0.0085	0.243	0.9 > P > 0.8	
		乌山土	1.6476	0.4272	1.2205	0.978	0.4 > P > 0.3	
		潮 土	0.2182	0.2628	0.1543	3.527	0.01 > P > 0.001	

表十一. 五种主要土壤的表土与底土中若干元素的t检验

地区	元素	土壤	均值 (PPm)		差值	t 值	概 率 (P)	
			表 土	底 土				
苏 南 太 湖 下 游 地 区	Pb	黄 泥 土	30.25	27.21	3.04	1.282	0.3 > P > 0.2	
		果园黄土	29.54	27.05	2.49	0.744	0.5 > P > 0.4	
		青 紫 泥	28.12	26.66	1.46	0.546	0.6 > P > 0.5	
		乌 山 土	30.01	29.07	0.94	0.288	0.8 > P > 0.7	
		湖 土	25.36	26.09	0.71	0.311	0.8 > P > 0.7	
	As	黄 泥 土	10.32	10.02	0.30	0.519	0.8 > P > 0.6	
		果园黄土	12.33	14.67	2.336	1.1415	0.3 > P > 0.2	
		青 紫 泥	8.0818	7.9333	0.1485	0.2461	0.9 > P > 0.8	
		乌 山 土	9.05	9.43	0.3756	0.5397	0.6 > P > 0.5	
		湖 土	8.2923	8.3874	0.095	0.2018	0.9 > P > 0.8	
	F	黄 泥 土	272.68	369.25	3.43	0.2049	0.9 > P > 0.8	
		果园黄土	326.4	326.806	0.467	0.0097	P > 0.9	
		青 紫 泥	455.66	479.78	24.18	0.9216	0.4 > P > 0.3	
		乌 山 土	478.795	472.824	5.971	0.326	0.8 > P > 0.7	
		湖 土	467.437	464.159	3.28	0.168	0.9 > P > 0.8	

表十二. 五种主要土壤的表土与底土中若干元素的t检验

地区	元素	土壤	均 值		差 值	t 值	概 率
			表 土	底 土			
苏 南 太 湖 下 游 地 区	Ni	黄泥土	28.67	26.38	2.29	0.989	$0.4 > P > 0.3$
		果园黄泥	24.98	16.95	8.03	1.782	$0.1 > P > 0.05$
		青紫泥	29.05	30.18	1.13	0.541	$0.6 > P > 0.5$
		乌山土	36.28	34.72	1.56	0.651	$0.6 > P > 0.5$
		湖 土	28.50	30.65	2.15	1.2246	$0.3 > P > 0.2$
	Co	黄泥土	10.18	10.45	0.27	0.422	$0.7 > P > 0.6$
		果园黄泥	8.24	10.39	2.15	1.333	$0.3 > P > 0.2$
		青紫泥	11.92	11.71	0.24	0.265	$0.8 > P > 0.7$
		乌山土	12.14	11.57	0.57	0.516	$0.7 > P > 0.6$
		湖 土	11.76	10.57	1.19	2.236	$0.05 > P > 0.02$
	Cr	黄泥土	61.91	61.47	0.44	0.123	$P > 0.9$
		果园黄泥	52.70	46.13	6.57	0.725	$0.6 > P > 0.5$
		青紫泥	60.50	56.18	4.32	1.069	$0.3 > P > 0.2$
		乌山土	65.75	60.9	4.85	1.256	$0.3 > P > 0.2$
		湖 土	56.37	56.60	0.23	0.105	$P > 0.9$
	Cu	黄泥土	26.46	23.40	3.06	1.510	$0.2 > P > 0.1$
		果园黄泥	26.68	19.22	7.46	1.341	$0.2 > P > 0.1$
		青紫泥	25.48	24.48	1.00	0.459	$0.7 > P > 0.6$
		乌山土	28.29	28.02	0.27	0.115	$P > 0.9$
		湖 土	20.89	20.26	0.63	0.417	$0.7 > P > 0.6$

(二) 五种土壤类型的表土与底土含量

从表十一表十二可看出、除汞以外，其它元等在剔除污染点后，用 Fisher 对比法，对表土与底土进行七检验，若选用显著性水平 $P < 0.1$ 则只有果园黄土的 Ni、Cd，潮土中 Cd、Co 差异显著，而这一地区，无论哪一种土壤类型其表土与底土的含汞平均值，均超过一般背景值含量范围，如南京黄刚土含汞量为 0.043 ± 0.014 ，南京灰潮土含汞量为 0.12 ± 0.077 ，而太湖下游地区土壤含汞量，底土平均含量为 $0.28 \sim 0.51$ 表土含汞量平均为 $0.34 \sim 1.07$ 这进一步证明这一地区汞对土壤污染的普遍，以及污染深度已达到 50 公分左右，至于其它元素在剔除污染点后，就总体而言、尚没有造成污染，所以测得的元素含量，可以作为背景值使用，而汞的背景值，只能采取 50 公分以下土层求得。

(三) 太湖下游地区各种土壤类型中元素的背景值

目前，国内外并没有统一的规定，地学上为了分辨背景值与异常值，通常的做法是取测定值的对数平均值与标准差，然后确定在平均数以上两个标准差的数值，为可能异常，在平均数以上三个标准差的数值，为必然异常，Connor 等在“美国大陆若干岩石，土壤及蔬菜的地球化学背景”一书中汇集了美国土壤的大量分析数据，它的本底值表示法采用几何平均值加减一个标准差，中国科学院南京土壤所本底组，采用平均值加减一个标准差，给出北京及南京两地区的本底值，同时，给出两地区主要土类的背景值，上海农科院土肥所环保室采用平均值加减标准差，作背景值，我们根据这一地区的具体情况，采用平均值加减标准差，表示区域背景值。（见表 13）。