

太湖地区不同土地利用影响下水稻土重金属有效性库变化

李恋卿¹, 郑金伟¹, 潘根兴^{1*}, 田富强¹, 丘多生², 徐向东², 储秋华² (1. 南京农业大学农业资源与生态环境研究所, 南京 210095; 2. 江苏省吴江市农业局农业生态办公室, 苏州 222300)

摘要: 在太湖地区调查选择了乡镇工业环境、集约化农业丰产方及长期肥料试验地等几种人类农业利用类型和环境影响的地块, 采集水稻土耕层样本作若干重金属的有效性库分析。结果表明, 各种环境和利用影响下太湖地区水稻土重金属有效性库都存在升高的趋势, 其程度介于 30 % 至 200 %, 且以表层最为突出。近工业区环境和长期单施化肥下这种有效性库变化最为剧烈, 其土壤 Cu、Pb 有效性库分别达到 $7.96 \sim 2.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $24.7 \sim 3.47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $8.34 \sim 4.42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $9.01 \sim 4.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。这种有效性升高伴随着总量的积累趋势可能是太湖地区土壤环境质量演变的当前特点, 这必须在本地区农业与食物安全中备加关注。

关键词: 太湖地区; 水稻土; 重金属; 有效性库; 土地利用类型

中图分类号: X132 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)03-04-0101

Change of Available Pool of Heavy Metals in Paddy Soils Under Human Land Use Impacts from the Taihu Lake Region, Jiangsu Province, China

Li Lianqing¹, Zheng Jinwei¹, Pan Genxing¹, Tian Fuqiang¹, Qiu Duosheng², Xu Xiangdong², Chu Qihua² (1. Institute of Resources, Ecosystem and Environment of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China. E-mail: lianqingli1@hotmail.com; 2. Bureau of Agricultural Ecology, Wujiang Municipality, Suzhou City 222300, China)

Abstract: A number of representative farms under various human land uses were selected through a general survey in the Taihu Lake region, Jiangsu Province, China. The land uses covered vicinity of smelt industry and township industry, long history of high yielding performance, long term fertilization treatments. Top layers of the paddy soils were sampled for analysis of available pool of heavy metals. A prevalent trend of increasing availability was observed of heavy metals by a degree of 30 % up to 200 % in the soils under these human impacts as compared with that under relative conserved conditions. This increasing trend was most remarkably exhibited in the top sub-layer of the paddy soils. The highest rise of the available pool largest was found in those under smelt industry impact and under long term chemical fertilization alone. The result showed that available pool of surface soil Cu and Pb under these impacts were $7.96 \sim 2.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $24.7 \sim 3.47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $8.34 \sim 4.42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $9.01 \sim 4.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectively. The dramatic rise of the availability with the increasing trend of the total (as previously reported) might stand for contemporary soil environmental quality and, thus, require severe concerns for agriculture and food security in this rapidly developing region.

Keywords: Taihu Lake region; paddy soil; heavy metals; available pool; land use type

土壤环境中的污染物积累及其在食物链中的迁移转化是影响食物安全的重大科学问题^[1]。重金属是农田土壤和农产品中最为普遍、滞留最为持久的一类污染物。20 世纪 90 年代以来,国际上对于重金属元素尤其是 Pb、Cd、As 的土壤环境浓度限量标准日益严格^[2]。我国土壤环境重金属污染已十分普遍,估计重金属污染面积在 2000 万 hm^2 。我国东南沿海是经济发展十分活跃的地区,但土壤污染问题十分严

重^[3]。80 年代以来,太湖地区水稻土重金属无论在总量还是可浸提态含量都存在快速而明显的积累^[4,5]。通常认为, 0.1 mol/L HCl 和

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(49831070); 江苏省自然科学基金重点项目(BK99196); 教育部骨干教师研究基金联合资助项目。

作者简介: 李恋卿(1965~), 女, 博士, 副教授, 主要从事土壤环境质量研究。

收稿日期: 2002-12-11; 修订日期: 2003-01-03

* 通讯联系人

0.005 mol/L DTPA 浸提的重金属是对植物吸收有效的潜在库,在环境化学和生态毒理学中常用来表示土壤环境中重金属的食物链迁移与健康风险^[1]. 本文报道对江苏省太湖地区水稻土及有关土壤的重金属 DTPA 可提取的有效性库的分析结果,讨论重金属有效性库变化与人为利用和管理的关系,为了解经济发达地区土壤环境重金属环境行为与潜在风险提供依据.

1 材料与方法

1.1 样区选择和土壤样品采集

供试土壤均采自太湖地区的水稻土. 选择土地利用类型: ①乡镇工业环境下非点源污染影响. 其中,以苏州市吴中区木渎镇和角直镇为非点源污染影响的农田采样区(木渎镇为 60 年代末发展起来的典型工业乡镇,角直镇为 80 年代末发展起来的工业乡镇,以光福镇的生态农业乡镇为对照),并与苏州钢铁厂附近农田的点源污染区比较; ②农业土地利用和农业生产管理类型影响. 其中,集约化高投入农田样品采自太湖地区的 8 个省级农业高产方,不同农地利用类型的土壤样品采自苏州市吴江市平八镇; ③农田长期施肥管理类型,采自苏州市属吴江市金家坝镇一个始于 1989 年的水稻土长期肥料试验地(土壤为黄泥土). 该试验设 3 个施肥处理,纯化肥区为施纯氮 427.5 kg/hm²、P₂O₅ 45.0 kg/hm²、KCl 54.0 kg/hm². 在此基础上秸秆区还田秸秆 4500 kg/hm². 常规区增施猪粪 16800 kg/hm². 采样在 2000 ~ 2001 年完成. 供试样品均采自耕层 0 ~ 20cm 深度,土壤的基本

性质归纳于表 1.

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of the soils studied			
环境影响类型	pH	SOC/g·kg ⁻¹	CEC/c mol·kg ⁻¹
乡镇工业环境	5.31 ~ 6.58	12.0 ~ 19.3	15.0 ~ 23.6
集约化农业丰产方	4.26 ~ 5.74	10.1 ~ 11.6	14.3 ~ 21.6
农业长期肥料施用	5.74 ~ 6.79	16.5 ~ 17.8	18.4 ~ 20.2

1.2 分析方法

土壤重金属有效性浸提用 0.005 mol/L DTPA 浸提剂,并用 HCl-HNO₃-HClO₄ 混合液消化作全量分析. 所用仪器为原子吸收分光光谱仪(北京普析 TAS-986,2001). 分析中用国家地球化学标准样品(GSS-1,GSS-2)内插法控制分析质量,分析结果进行平均值和标准差统计.

2 结果与讨论

2.1 乡镇工业影响下土壤环境重金属有效性库的变化

表 2 表明,采于不同工业开发影响下的农田耕层土壤的有效态 Pb、Cu 库显著高于相对的生态保护农业区土壤. 以点源污染的农田中最高,工业开发历史较长的环境中高于开发较短的环境下农田. 苏钢周围的农田有效性 Cu 和 Pb 库分别比农业生态区光福镇土壤提高 2.3 和 4.0 倍,而工业开发区木渎和角直镇有效态 Cu 和 Pb 分别比光福镇提高 1.2 和 1.4 倍. 工业环境对土壤重金属有效性库的影响可能主要通过地表水、废气和飞灰空气等途径的迁移. 据报道,苏州钢铁厂废水流经河段底泥中 Cu 和 Pb 含量分别达到 119 mg/kg 和 229 mg/kg,为限制标准的 4.5 和 7 倍^[5].

表 2 几个工业环境影响下农田耕层土壤 Cu、Pb 有效性库量/mg·kg⁻¹

项目	Cu				Pb			
	苏钢(点源)	木渎镇	角直镇	光福镇	苏钢(点源)	木渎镇	角直镇	光福镇
范围	6.77 ~ 7.96	2.15 ~ 5.82	2.66 ~ 5.10	1.92 ~ 4.64	24.7 ~ 7.37	4.45 ~ 7.76	3.47 ~ 5.03	2.69 ~ 4.57
平均值	7.29 ± 0.64	4.47 ± 1.17	3.44 ± 1.04	3.23 ± 1.18	13.6 ± 9.57	6.17 ± 1.17	3.77 ± 0.76	3.45 ± 0.86
样本数	3	6	10	8	3	6	10	8

2.2 集约化高投入农田环境中的重金属有效性库

高投入、高产出是农业集约化生产的特点,这种高度集约化农业管理表现为化肥、除草剂等化学品的大量使用和机械的频繁进入农

田,使农业带入农田的重金属增加. 表 3 是太湖地区云亭、辛庄、藕渠、渭塘等 8 个江苏省级农业丰产方土壤的重金属有效性库的分析结果. 可见,耕层土壤 Cu、Pb 的有效性库量高于上述长期乡镇工业影响的环境,并且表层显著高于

亚表层.同时,重金属活化率表明有效性 Pb 库达到其全量的 1/5 ~ 1/4^[6].这种较大的有效性库可能还与长期大量施用化肥后土壤发生酸化有关^[7].

表 3 苏南地区典型农业丰产方土壤重金属 DTPA 提取态 Cu、Pb 含量变化/ mg·kg⁻¹

Table 3 DTPA-extractable Cu and Pb in soils from some high yielding farms in southern Jiangsu Province/ mg·kg⁻¹

土壤深度 /cm	Cu		Pb	
	含量范围	平均值	含量范围	平均值
0~15	4.42~8.34	6.39±0.61a	4.95~9.01	6.74±1.7a
15~40	3.88~5.00	4.13±0.92b	3.49~8.36	5.14±1.87b

近年来太湖地区设施农业发展较快,大棚蔬菜、瓜果地和温室保护地不断扩展.图 1 和图 2 是采于苏州市属的吴江市平八镇的黄泥土大棚蔬菜地(5 年以上)重金属有效性库与水旱农地的比较结果.设施地表层土壤有效性 Pb 和 Cu 库都在 6 ~ 7 mg/kg 以上,高于水稻田,更大大高于旱作的玉米地.同时设施地土壤重金属有效性库的表聚性非常显著.

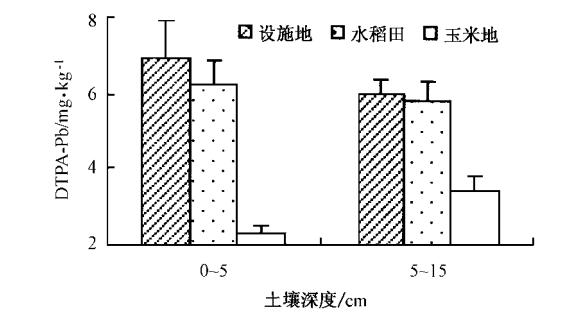


图 1 设施地与常规农地土壤 Pb 有效性库比较

Fig.1 Comparison of available Pb pool between greenhouse and conventional production

2.3 不同施肥管理影响下土壤重金属有效性库的变化

肥料是农业中主要的化学品投入,化肥施用常常带入土壤一定的重金属.同一种黄泥土上不同施肥结构的长期处理使农田土壤重金属的有效性库发生分异.由图 3 和图 4 可见,不同肥料施用下重金属有效性库显著不同.表层 5cm 深度的有效性库都高于亚表层.对于 Cu 来说,在化肥与猪粪肥混施的土壤中有有效性库显著高于其他处理.而对于 Pb 来说,纯化肥区高

于有机无机混合施肥区,但无肥区的有效性 Pb 库最低(4.5 mg/kg).这里,长期单施化肥下 Pb 的有效性库达到约 7.5 mg/kg,而长期混施猪粪肥下 Cu 的有效性库接近 10 mg/kg,是水稻土所测到的最高值.施猪粪下土壤有效性 Cu 库比不

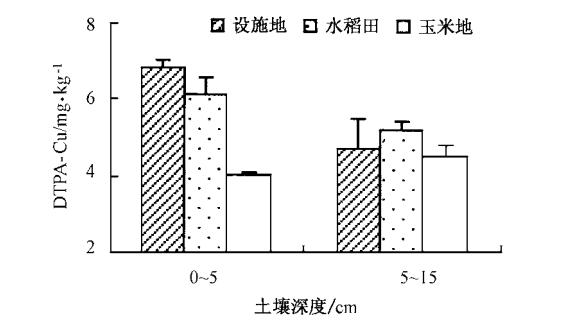


图 2 设施地与常规农地土壤 Cu 有效性库比较

Fig.2 Comparison of available Cu pool between greenhouse and conventional production

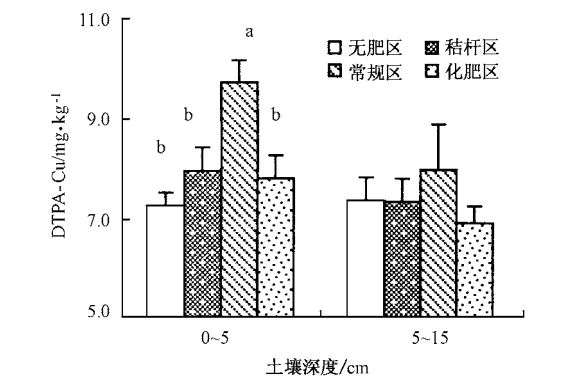


图 3 不同施肥处理下土壤 DTPA 提取态 Cu 的变化

Fig.3 DTPA extractable soil Cu under different fertilization practices

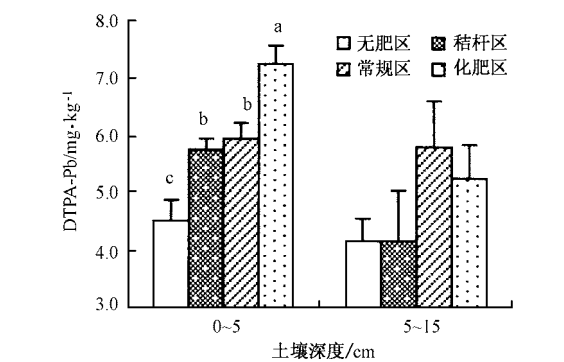


图 4 不同施肥处理下土壤 DTPA 提取态 Pb 的变化

Fig.4 DTPA extractable soil Pb under different fertilization practices

施肥土壤提高了 34.5%,而化肥区有效性 Pb 库比不施肥土壤提高了 60.0%。

长期施用猪粪使土壤 Cu 含量提高可能是与猪粪中含有一定量 Cu 有关。Payne 研究了连续 8 年施用富 Cu 猪粪,增加了玉米叶中 Cu 的含量^[8]。据资料表明我国农业生产中常用的磷肥中 Pb 的含量在 41~876 mg/kg^[9]。同时,长期单施化肥下,该小区土壤 pH 明显降低。成杰民等曾报道了宜兴市水稻土酸化与重金属有效性变化的研究^[7]。因此,长期的高强度化肥施用是土壤有效性 Pb 库增加和富集的重要原因之一。同样化肥施用量下,显示秸秆区、常规区土壤有效性 Pb 库较化肥区小,可能是由于添加的外源

有机物与土壤中的 Pb 相互作用而改变其在土壤中的存在形态。王果等研究显示施用紫云英、猪粪和稻草改变了土壤中重金属化学形态的分布,提高了土壤结合有机态 Cu 和 Cd 的含量,并抑制水稻的吸收^[10]。但也有资料显示土壤中有机的增加改变土壤中重金属元素的化学形态分布,从而增加了重金属的移动性。

重金属的活化率是指示土壤环境重金属冲击的有效指标^[6]。表 4 计算表明,不同的肥料处理下土壤 Cu、Pb 的活化率在 20%~30%。显然,Cu 的活化率在常规区土壤最高,Pb 则在化肥区最高。说明重金属的化学有效性与环境移动性和农业管理措施有关。

表 4 不同施肥处理下土壤 Pb、Cu 活化率的变化/%

Table 4 Change of activity index of soil Pb and Cu under different fertilization practices/%

土壤深度 /cm	Cu				Pb			
	无肥区	秸秆区	常规区	化肥区	无肥区	秸秆区	常规区	化肥区
0~5	25.16	26.24	29.73	26.47	13.65	22.39	22.74	27.66
5~15	24.89	24.78	25.75	23.30	16.95	16.61	22.15	20.02

太湖地区不同环境影响下的土壤重金属有效性库的差异是明显的。尽管点源污染得到了控制,但农田土壤的重金属有效性库在各种环境压力下趋于升高。不仅是工业发展,而且农业生产管理本身也在增加着土壤中重金属的有效性库,高强度的农业开发,长期单施化肥和混施含重金属的农业废弃物都可以使这种有效性库升高。对宜兴市的县域土壤的若干重金属有效性库的分析已表明这种现象的区域性发生^[7]。水稻土中土壤重金属总量的积累提高^[11]与这种有效性库的升高可能造成水稻等作物对重金属吸收的增加。因而,本地区作物-食物间重金属迁移与人类食品安全风险问题必须引起高度关注。

3 结论

太湖地区水稻土在不同环境影响因素作用下重金属有效性库具有升高的现象,且表层最为突出。近工业区和长期单施化肥下这种有效性库增加最为剧烈。可见土壤环境的重金属有效性库对于短尺度的人类影响十分敏感,鉴于以前研究已经认识到的重金属全量的积累趋势,笔者认为当前太湖地区土壤环境质量正发

生着快速而大幅度地变化,对本地区作物的重金属吸收效应与潜在食品安全风险应予以密切关注和深入研究。

参考文献:

1 潘根兴, Chang A C, Page A L. 土壤-作物污染物迁移分配与食品安全的评价模型及其应用. 应用生态学报, 2002, 13(7): 854~858.

2 Chang A C, Pan G et al. Developing health-related chemical guidelines for reclaimed waste and sewage sludge applications in agriculture. Division of Water Sanitary, World Health Organization, Geneva, Switzerland: 2002, 20~40.

3 赵其国等. 开展我国东南沿海经济快速发展地区资源与环境质量问题研究建议. 土壤, 2000, (4): 169~187.

4 蒋定安, 成杰民. 宜兴市水稻土 Cu、Zn、Mn 有效态含量的变化. 南京农业大学学报, 1997, 20(4): 111~113.

5 汪祖强, 张桂英等. 大运河苏州段底泥中重金属的污染状况及评价. 环境科学, 1987, 8(1): 2~7.

6 潘根兴, 高建琴等. 活化率指示土壤环境中重金属污染冲击初探. 南京农业大学学报, 1999, 22(2): 46~49.

7 成杰民, 潘根兴等. 太湖地区水稻土 pH 及重金属元素有效性含量变化影响因素初探. 农业环境保护, 2001, 20(3): 141~144.

8 Payne G G et al. Availability and the form copper in three soils following eight annual applications of copper-enriched swine manure. J Environ Qual., 1988, 17: 740~746.

9 张夫道. 肥料中的有害成分. 农业环境保护, 1985, 19: 17~19.

10 王果, 陈建斌, 高山等. 稻草、紫云英对土壤外源铜的形态及生态效应的影响. 生态学报, 1999, 19(4): 551~556.

11 潘根兴等. 太湖地区水稻土表层土壤 10 年尺度重金属积累速率的估计. 环境科学, 2002, 23(2): 119~123.