

太湖地区水稻土 pH 及重金属元素有效态含量变化影响因素初探

成杰民 , 潘根兴 , 郑金伟

(南京农业大学资源与环境科学学院,江苏 南京 210095)

摘 要: 通过调查研究及现场采样分析,探讨了太湖地区水稻土 pH 和重金属有效态含量的变化趋势及影响因素。结果表明,基于经济快速发展影响下,太湖地区水稻土近十几年间发生了土壤 pH 降低、重金属元素有效态含量升高的明显变化,指出近十几年间该地区化肥投入水平和结构的变化,酸雨强度和频率逐年增加,是导致上述变化的主要原因。土壤地球化学性质的不同是导致变化幅度差异的内在因素。

关键词: 水稻土; pH; 重金属

中图分类号: X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 0267(2001)03 - 0141 - 04

Factors Affecting pH and Availability of Heavy Metals in Paddy Soils in Taihu Lake Area

CHENG Jie-min , PAN Gen-xing , ZHENG Jin-wei

(College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095 China)

Abstract: Under impact of accelerated economic development, paddy soils in Taihu Lake area have undergone decreasing pH and increasing availability of heavy metals in last decade. Data presented in this paper indicated that increasing fertilizer input and intensity and frequency of acid rain deposition are two main reasons responsible for decreasing pH and increasing availability of microelements.

Keywords: paddy soil; pH; heavy metals

经济快速发展影响下的土壤环境质量变化成为土壤学及环境科学的研究热点^[1-3]。80 年代以来,太湖地区高强度经济开发,伴随着土壤质量严重恶化已引起人们的重视^[4-6]。工业化程度的不断提高,排放的“三废”物质通过各种途径进入土体,在土体中积累,从而引起土壤的组成、结构、性质和功能的变劣。同时,随着工业化,特别是农村工业化进程的加速,农业生产的投入水平与投入结构都发生了很大的变化,这种变化一方面促进了农业的发展,一方面也不可避免地对土壤变化起到一定的促进作用^[7-12]。

1 太湖地区水稻土 pH 和重金属有效态含量变化趋势

以西太湖地区宜兴市为例,分别在 1982 年采集

耕层(0—15 cm)和亚耕层(15—30 cm)水稻土样本 108 个,进行了 pH 及重金属元素有效态含量的分析。1995 年又采集相应 76 个样本,分析相同项目,以研究近十几年来太湖地区水稻土 pH 和微量元素有效态含量变化。1997 年选择东太湖地区吴县市三个典型乡镇分别采集耕层和亚耕层水稻土样本 56 个,以研究不同工业化程度下 pH 和重金属元素有效态含量的特征。研究结果^[4,5]归纳如下。

1.1 太湖地区水稻土近十几年来,出现了 pH 下降,Cu、Zn、Mn 微量元素有效态含量升高的明显趋势。土壤 pH 值平均下降了 0.38,而 Cu、Zn、Mn 的有效态含量分别平均上升了 1.95、3.13、6.83 mg·kg⁻¹,其上升幅度分别达 61.51%、386.4%、183.1%(表 1)。

1.2 Cu、Zn、Mn 有效态含量的上升与 pH 的下降呈明显的负相关。Cu、Zn、Mn 的相关系数分别为 -0.970 0、-0.814 9、-0.911 8。这喻示着太湖地区水稻土 pH 下降是重金属元素有效态含量升高的主要原因之一。

收稿日期: 2000 - 10 - 29

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(49831070)

作者简介: 成杰民(1958—),南京农业大学资源与环境科学学院环境工程系副教授,博士。主要研究方向为环境污染化学与污染控制,环境监测与环境质量评价。

表 1 宜兴市水稻土表层土壤 pH 和重金属元素有效态含量变化* (mg·kg⁻¹, x±SD)

Table 1 pH values and availability of heavy metals in top paddy soil in Yixing city (mg·kg⁻¹, x±SD)

元素	1982 年样本 (n=108)	1995 年样本 (n=76)	上升量 /mg·kg ⁻¹	上升幅度 /%
Cu	3.17±1.63	5.12±2.20	1.95	61.51
Zn	0.81±1.39	3.94±3.03	3.13	386.4
Mn	3.73±7.10	10.56±11.30	6.83	183.1
pH	6.59±0.81	6.21±0.71	-0.38	-5.766

* 摘自参考文献[4]

1.3 不同的水稻土之间 pH 下降和 Zn、Mn 微量元素有效态含量上升幅度有明显差异。肥力较高的马肝土、小粉土中没有观察到显著的变化,而湖白土、白土等低产水稻土中上述变化则十分强烈(表 2)。说明这种变化受到土壤环境地球化学性质的制约。

1.4 选择太湖地区经济发展较快的吴县市三个工业化进程不同的乡镇,研究重金属全量和有效态含量在

表 2 不同水稻土十几年间 pH 和重金属元素有效态含量绝对变化量* (mg·kg⁻¹)

Table 2 pH values and availability of heavy metals in various paddy soils in last dozen years (mg·kg⁻¹)

土样	ΔpH	ΔCu	ΔZn	ΔMn
马肝土	-0.12	1.41	0.19	2.91
小粉土	0.51	0.65	0.41	-4.32
白土	-0.73	2.60	1.93	8.59
黄泥土	-0.67	2.46	2.16	13.05
乌泥土	-0.33	1.42	3.46	5.16
夜潮土	-0.01	4.05	1.56	-0.60
湖白土	-1.35	4.00	5.28	18.73

* 摘自参考文献[4]。

不同的工业化程度和工业结构的乡镇间的分异。其中木渎镇是 60 年代末发展起来的典型的工业乡镇,主要以化工厂、电镀厂、钢铁厂、水泥厂、农药厂等为主;用直镇是 80 年代发展起来的工业乡镇,主要以化学工业为主;光福镇现仍为典型的农业乡镇,整个乡镇仅有一个采石厂。研究结果表明(表 3),Cu、Zn 两元

表 3 不同工业化程度下耕层土壤中重金属元素全量与有效态含量的统计值*

Table 3 The contents of both heavy metals and their availability in cultivated soils at various towns

项目	Zn			Cu			Pb		
	木渎镇	用直镇	光福镇	木渎镇	用直镇	光福镇	木渎镇	用直镇	光福镇
全量									
范围/mg·kg ⁻¹	53.93 - 82.72	41.63 - 76.73	52.13 - 73.03	22.67 - 31.19	22.88 - 31.38	24.63 - 30.40	32.67 - 43.10	27.08 - 39.08	29.08 - 37.58
x/mg·kg ⁻¹	64.61 ^a	68.93 ^a	61.92 ^a	26.64 ^a	26.56 ^a	27.28 ^a	37.46 ^a	31.69 ^b	33.48 ^b
s	10.56	10.65	7.35	3.55	2.76	2.16	4.83	3.92	3.92
n	6	10	10	6	10	10	6	10	10
有效态									
范围/mg·kg ⁻¹	ND - 2.25	ND - 0.43	ND - 1.81	2.15 - 5.82	2.66 - 5.10	1.92 - 4.64	4.45 - 7.76	3.47 - 5.03	2.69 - 4.57
x/mg·kg ⁻¹	1.47 ^a	0.17 ^c	0.82 ^b	4.47 ^a	3.44 ^b	3.23 ^b	6.17 ^a	3.77 ^b	3.45 ^b
s	0.77	0.26	0.99	1.17	1.04	1.18	1.16	0.76	0.86
n	6	10	10	6	10	10	6	10	10

* 摘自参考文献[5]

素全量在工业化进程及工业结构不同的三个乡镇,没有表现出明显差异,而有效态含量则随乡镇工业化年限增长含量显著增大。Pb 元素无论是全量还是有效态含量均与乡镇的工业化进程与结构有关。这不仅反映出不同的工业化结构对土壤环境带来的重金属污染的环境冲击不同,同时反映出这种冲击在 20—30 年度内使土壤环境中重金属元素的含量尤其是有效态含量发生着快速的变化。

2 影响太湖地区水稻土 pH 及重金属元素有效态含量变化的因素

2.1 施肥

太湖地区宜兴市自 1980 年—1995 年 16 年间,公顷均化肥用量逐年增加,肥料结构发生了明显变化。

2.1.1 公顷均化肥氮用量逐年增加趋势明显(图 1),尤其是源于低浓度复混肥占总氮量的比例逐年增加,由 1980 年的 0% 增加到 1995 年的 8% 左右,而低浓度复混肥的氮主要是由 NH₄Cl 提供。在等氮量的条件下,NH₄Cl 对土壤的酸化能力比尿素高出 2 倍^[13]。

2.1.2 化肥磷公顷均用量变化不大(图 2),主要施用普通过磷酸钙,但近年来有被磷铵部分代替的趋势,而后者酸化能力远高于前者^[13]。

2.1.3 化肥钾用量逐年增加(图 3)。近几年已达公顷

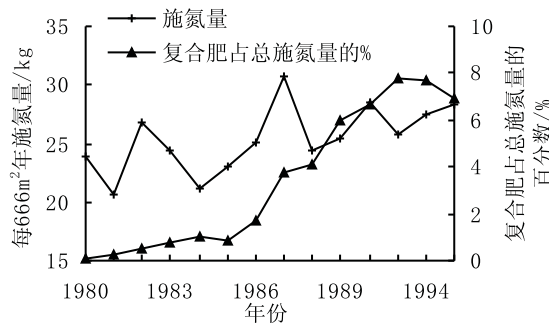


图1 宜兴市14年间666m²施氮肥动态变化曲线

Figure 1 Application of Nitrogen - Fertilizers in Yixing City in Last 14 Years (kg · 666m⁻²)

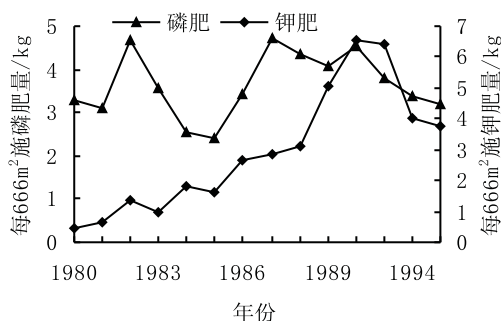


图2 宜兴市14年间666m²施磷、钾肥动态变化曲线

Figure 2 Application of phosphorous - and potassium - fertilizers in Yixing city in last 14 years (kg · 666m⁻²)

施量60—105 kg。其品种主要是KCl,它与NH₄Cl同属生理酸性肥料,对土壤有较强的酸化作用。

2.2 酸雨

调查近十几年间太湖地区苏、锡、常三市酸雨出现频率、降水pH最小值及降水pH年均值发现,太湖地区经济高速发展,污染日益加重,酸雨强度和频率逐年增加,土壤环境承受着强烈地酸雨冲击。

2.2.1 近十年间苏锡常三市每年均有酸雨发生(图3),无锡市酸雨率近十几年间在43.5%—62.0%,均高于全省平均值,常州市酸雨率呈逐年上升的趋势,自1995年后明显高于全省平均值,苏州市1993年前酸雨率大于45%,近几年略有下降。

2.2.2 历年降水pH最小值(图4)无锡市为3.20—3.84,其变化曲线与全省基本一致(1994年除外),说明江苏省历年降水pH最小值均出现在无锡市;常州市为3.78—4.74,但逐年呈明显的下降趋势,苏州市变幅较小,维持在4.61—5.74范围内。

2.2.3 降水pH年均值(图5)苏州市和常州市除个别年份大于5.6外,其他年份均小于5.6,无锡市历年均小于5.6,与全省降水pH年均值比较,无锡市低于全省平均值,常州市自1996年以来有明显下降趋势,

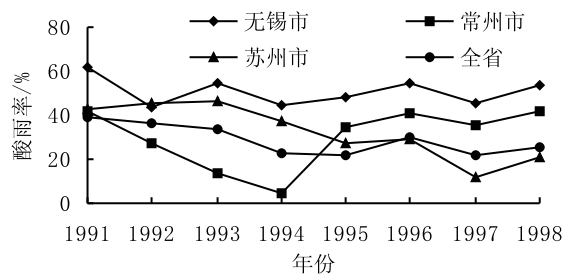


图3 近10年间苏、锡、常三市酸雨频率变化曲线

Figure 3 Curves of acid rain frequency in Suzhou, Wuxi and Changzhou cities in last 10 years

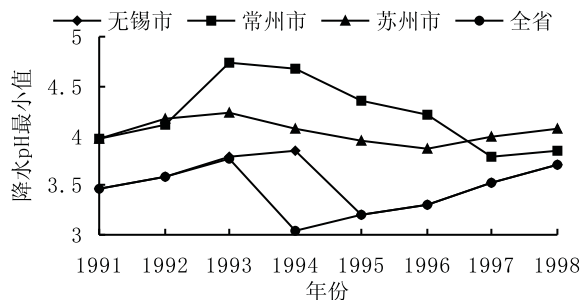


图4 近10年间苏、锡、常三市降水pH最小值变化曲线

Figure 4 Curves of minimum pH values of acid rain in Suzhou, Wuxi and Changzhou cities in last 10 years

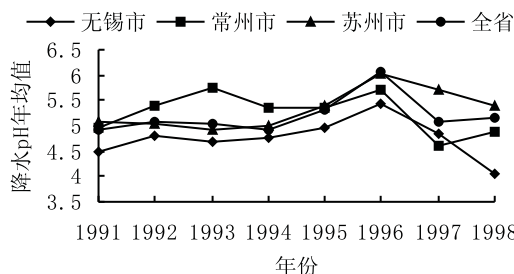


图5 近10年间苏、锡、常三市降水pH年均值变化曲线

Figure 5 Curves of mean pH values of acid rain in Suzhou, Wuxi and Changzhou cities in last 10 years

且低于全省年均值,苏州市1993年前近似于全省平均值,1996年后略有提高。

2.3 土壤的性质

研究了太湖地区几种地球化学性质不同的典型水稻土(黄泥土、白土、乌泥土)发现,3种土壤酸碱缓冲能力、重金属的吸附解吸特性等有明显的差异,这种差异是导致pH及重金属元素有效态含量变化幅度差异的内在原因。研究方法与分析方法见参考文献^[14]。研究结果归纳如下。

2.3.1 土壤的酸碱缓冲能力

用酸碱滴定曲线和β值反映土壤酸碱缓冲能力^[15],β值越大土壤对酸的缓冲能力越强。3种土壤滴定曲线呈S形,曲线形状相似,斜率趋于一致,说明其缓冲

机理类似。利用酸碱滴定曲线计算出 3 种土壤的 β 值定量的说明土壤酸碱缓冲能力的大小依次为黄泥土(3.25)、乌泥土(3.00)、白土(1.58)。影响土壤酸碱缓冲能力的主要因素是土壤有机质、盐基离子和碳酸钙、粘粒等组分的含量,黄泥土与乌泥土中上述组分含量差异不大,而白土 β 值低归结于粘粒及有机质缺乏。这支持了白土酸化明显、重金属有效态积累强烈的研究结果。

2.3.2 土壤对重金属的吸附解吸能力

土壤的吸附与解吸过程被认为是控制土壤中重金属离子浓度的最重要的化学反应过程之一。3 种供试土壤对 Cu^{2+} 的吸附量均随初始浓度的增高而增大。用 Langmuir 方程拟合均达极显著水平,且供试土壤最大吸附量依次为黄泥土($1\,195\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、乌泥土($976.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、白土($529.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[15]。已有大量研究表明土壤 pH、有机质、粘粒含量、活性铁、铝、锰、硅等与土壤吸附量呈正相关。这里的结果同样表明土壤环境地球化学组分的含量是这 3 种土壤对铜吸附量差异的原因所在。

3 结语

太湖地区水稻土近十几年间土壤环境质量发生了明显的变化。主要是由于该地区经济高速发展,引起了化肥投入水平和结构的明显变化和工业废气的排放使得该地区酸雨袭击势头有增无减所至。土壤地球化学性质差异是导致变化幅度不同的内在因素。因此,提倡化肥-有机肥并重,科学合理的施用化肥,采取有效措施控制 SO_2 的排放,防止酸雨进一步发展。尤其要重视低环境容量土壤的环境保护。同时在科学上需要深入研究上述变化的土壤学机理及环境学过程。

参考文献:

- [1] Plontinga A J. The effect of agricultural policies on land use and environmental quality[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1996, **78**(4): 1 082 – 1 091.
- [2] Gupta S R. Soil ecology and sustainability[J]. *Tropical Ecology*, 1996, **37**(1): 43 – 55.
- [3] Yaalon D H. Soil science in transition: soil awareness and soil care research strategies[J]. *Soil Science*, 1996, **161**(1): 3 – 8.
- [4] 蒋定安,成杰民. 近 10 年来宜兴市水稻土表层土壤 pH 及 B、Cu、Zn、Mn 有效态含量的变化[J],南京农业大学学报,1997,**20**(4): 111 – 113.
- [5] 潘根兴,成杰民,高建琴. 活化率作为苏南土壤环境重金属污染冲击的指标[J]. 南京农业大学学报,1999,**27**(2):46 – 49.
- [6] 赵其国. 九十年代的土壤科学[J]. 土壤通报,1992, **23**(1):17 – 20.
- [7] Fustic B. Liming and fertilization influence on the change of acid soil chemical properties, yields and hay quality. Review of Research Work at the Faculty of Agriculture, Belgrade, 1994, **39**(2): 97 – 112.
- [8] Lal R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability[J]. *Soil and Tillage Research*, 1993, **27**: 1 – 8.
- [9] 赵其国. 从现代土壤学看江苏农业持续发展中的问题[J]. 土壤, 1996, (4):169 – 175.
- [10] 曹 谦. 我国化肥和农药非点源污染状况综述[J]. 农村生态环境, 1996, **12**(2):39 – 43.
- [11] 黄 彬. 近 10 年江苏农田土壤肥力演变状况和特点[J]. 土壤, 1994, **26**(3):119 – 121.
- [12] 欧名豪. 论工业化对土地退化的影响[A]. 中国土地退化防治研究[C]. 北京:中国科学技术出版社,1990. 54 – 58.
- [13] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理与施肥[M]. 北京:化学工业出版社,1998.
- [14] 成杰民,潘根兴,郑金伟,等. 太湖地区水稻土重金属缓冲能力的初探[J]. 农业环境保护,2000, **19**(2):21 – 24.
- [15] 潘根兴. 改进的酸碱滴定法应用与研究土壤对酸碱的反应[J]. 南京农业大学学报,1991, **14**(40):128 – 132.

农业部召开纪念“六·五”世界环境日座谈会

为纪念新世纪的第一个世界环境日,农业部邀请了国家有关部委的同志、部分专家和新闻单位的记者,于 2001 年 6 月 4 日在人民大会堂召开了“农业部纪念‘六·五’世界环境日座谈会”。江苏省农业厅、黑龙江省拜泉县和四川省绵竹市的领导也专程来京参加座谈。这次会议的主题是“积极发展生态农业,努力防治面源污染”。座谈会期间,农业部还宣布成立了农业部野生植物保护领导小组,并提出了近期工作计划。