

土壤环境容量及其 信息系统

夏 增 禄 等著

气 象 出 版 社

1991 年

土壤环境容量及其 信息系统

夏 增 禄 等著

气 象 出 版 社

1991 年

内 容 简 介

本书介绍了七五期间的研究成果, 主要涉及我国若干土壤中重金属的生态效应、环境效应、形态特征、有效态测定方法、以及区域土壤环境容量信息系统与 18 种土壤的临界含量和分类系列。

本书可供环境、土壤、农业、林业、生物、地学等有关科技工作者、技术的管理人员以及大专院校有关专业的师生参考。

土壤环境容量及其信息系统

夏 增 禄 等著

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路 46 号)

北京海淀区三环快速印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 字数 190 千字

1991 年 10 月第一版 1991 年 10 月第一次印刷

印数: 700 本

定价: 6.90 元

ISBN7-5029-0742-4/S · 0088

目 录

1. 黄棕壤砷的作物效应及其临界含量	(1)	李勋光等
2. 黄棕壤镉的临界含量探讨	(9)	孙汉中等
3. 黑土镉的环境容量	(15)	张学询等
4. 黑土砷的环境容量及其物质平衡模型的研究	(21)	熊先哲等
5. 黑土铜的环境容量	(28)	张学询等
6. 黑土铅的环境容量	(34)	宋胜焕等
7. 自然地理过程对灰钙土中铜容量的影响	(40)	许嘉琳等
8. 灰钙土中砷的环境容量研究	(45)	殷宗慧等
9. 紫色土砷临界含量的确定	(52)	夏增禄等
10. 黄棕壤中铅的植物效应	(56)	郑春荣等
11. 黄棕壤添加金属毒性的评价及其临界浓度确定	(63)	顾宗廉等
12. 黄棕壤重金属的生化效应研究	(70)	谢思琴等
13. 铜、砷、铅、镉对土壤微生物生态的影响 及其临界毒害浓度的确定	(75)	王淑芳等
14. 土壤重金属污染指示菌的研究	(81)	张美庆等
15. 紫色土中有效态镉的研究	(85)	夏增禄等
16. 有色金属矿区农田生态系统中镉的循环与调控	(93)	杨居荣等
17. 褐色土区几种类型土壤中铜的形态特征	(99)	孟维奇等
18. 我国若干类型土壤中铅的非残渣形态特征	(102)	罗金发等
19. 紫色土中镉的生态效应及其临界含量的确定	(105)	李森照等
20. 中国主要类型土壤中 Cd、Pb、Cu、As 的主要生物学指标和临界含量	(108)	土壤环境容量协作组
21. 区域土壤环境容量信息系统的建立与应用	(115)	蒙 宇等

黄棕壤砷的作物效应及其临界含量的研究

李勋光 李小平

(中国科学院南京土壤研究所)

土壤污染物的作物效应及其临界含量,是制定和确定土壤环境标准和环境容量的重要依据,因此有关研究引起了人们的兴趣和关注。

黄棕壤是亚热带地区的地带性土壤,地处我国南北过渡地区,集中分布在长江中下游两岸呈带状区域,它具有独特的土壤性质。本文主要报导该区域黄棕壤砷的作物效应及其临界含量的研究。

一、材料与调查试验方法

(一) 农田污染调查:调查农田区主要受砷污染,且有十多年污染史。按污染水平采集样品。

(二) 盆栽试验:供试土壤采自江苏及湖北的黄棕壤,江西红壤和广东的砖红壤,土壤性质见表1。供试作物是以本区域轮作制主要作物,即早稻、中稻和小麦。试验分两组:

(1) 黄棕壤、红壤和砖红壤的毒性比较试验;用瓷钵装土 3Kg,砷处理后渍水平衡 20 天。

(2) 黄棕壤砷临界试验;装土 6Kg,砷处理后渍水平衡 3 个月以上。所有处理采用添加法加入不同量级的砷酸氢二钠溶液,拌匀,放置平衡,各处理均 3 次重复。

表1 土壤理化特性

土 号	土壤 类型	采集地点 (母 质)	pH (1: 5)	有 机 质 (%)	全 As (mg/kg)	全 N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	代换量 (me/100g)	粘粒 <0.001 (mm)
Yh	黄棕壤	湖北孝感 (下蜀黄土)	7.6	0.65	13.9	0.05	1.68	2.13	0.24*	/	22.7	28.1
Ys	黄棕壤	江苏盱眙 (下蜀黄土)	7.2	1.13	11.3	0.08	0.06	1.53	0.21*	/	18.1	30.7
Y	黄棕壤	江苏下蜀 (下蜀黄土)	6.9	0.45	10.7	0.04	0.14	2.05	4.49	11.52	17.9	24.9
R ₄	红壤	江西刘家站 (第四纪红色粘土)	4.9	0.39	2.8	0.04	0.04	1.40	6.17	15.87	13.45	42.1
L	砖红壤	广东徐文 (玄武岩)	4.7	1.86	4.3	0.09	0.11	0.42	18.73	30.49	10.67	33.9

(三) 土壤有效砷提取: 分别用 1NHCl 、 0.1NHCl 和 $0.5\text{NNa}_2\text{CO}_3$ 溶液, 在 $25^\circ\text{C}\pm 0.5$ 恒温下, 振荡半小时, 离心, 取清液并测其 As 浓度。

(四) 砷分析法:

土样和植物样的预处理分别用王水消煮法和混合酸 (硝酸+高氯酸) 消化法。As 测定系用氢化物——原子荧光法。

二、结果与讨论

(一) 黄棕壤砷的植物毒性

黄棕壤砷的植物毒性试验, 采用与红壤及砖红壤相比较的方法。三种类型土 (Y、Rs、L) 的理化特性差别较大, 但肥力较低且相近 (表 1)。

表 2 为试验结果, 可看出在对照处理上, 黄棕壤、红壤和砖红壤的稻谷产量之比为 3.2: 1.9: 1.0; 地上部分干物质重之比为 1.4: 1.0: 1.1。当砷处理后, 三种土之间的水稻毒害程度: 砖红壤出现水稻生长异常, 植株矮化且畸型, 并随砷浓度增加, 毒害加剧, 籽实产量比黄棕壤减少 6.6—52.5 倍, 其毒害严重; 红壤虽无畸型, 但生长受阻, 籽实产量比黄棕壤减少 1.2—2.7 倍, 其毒害较重; 黄棕壤出现水稻长势良好, 毒害较轻。当砷处理的与各自对照比

表 2 黄棕壤砷的植物毒性试验 (盆栽)

盆栽号	土壤类型	加 As 浓度 (mg/kg)	稻谷产量		地上部分干物质重	
			克/盆	%	克/盆	%
y-0	黄棕壤	0	21.3	100	66.0	100
y-4020		40	15.2	71.4	50.4	76.4
y-8020		80	14.2	61.7	45.0	68.8
y-16020		160	10.7	50.2	42.7	63.6
Rs-0	红壤	0	12.7	100	47.7	100
Rs-4020		40	6.9	55.2	34.2	72.7
Rs-8020		80	4.5	36.0	28.5	59.7
Rs-16020		160	2.9	23.5	24.5	51.4
L-0	砖红壤	0	6.7	100	49.7	100
L-4020		40	2.0	29.9	30.7	61.8
L-8020		80	0.9	13.4	19.2	38.6
L-16020		160	0.2	3.0	11.3	22.7

* 水稻品种为晚 75-34-1。

较时, 砖红壤的稻谷减产幅度最大, 红壤次之, 黄棕壤最小, 即砷的植物毒性以砖红壤最大, 红壤次之, 黄棕壤最小。出现上述现象可能由于: (1) 水稻最适宜生长的 pH 值大约在 6.6, 而红壤、砖红壤的 pH 值低于 5, 即使在其它离子浓度较低的情况下, 氢离子本身对植

物就有毒害作用^[2]。(2) 红壤、砖红壤含有较高铁、铝等氧化物, 在 pH 值为 6.5 以下时, 渍水土壤可出现铁毒害浓度, pH 值低于 5 时, 可发生水稻锰中毒, 以及其它有害物质的转化^[2]。当一定浓度的砷酸离子存在时, 加剧了作物的毒害作用。(3) 黄棕壤的 pH 值近中性, 不仅适宜水稻生长, 减轻氢离子的毒害, 而且土壤有害物质的转化受到抑制, 减轻对作物的毒害作用, 提高产量。

由此表明, 在质地、肥力相近的情况下, 黄棕壤与红壤或砖红壤相比, 具有较小的砷植物毒性, 这就是说, 黄棕壤砷临界水平要高于其它两个土壤, 主要是因为前者比后两者具有抑制其它有害物质转化的化学特性。

(二) 黄棕壤砷浓度与作物产量的关系

试验表明, 供试三种黄棕壤的全 As 与 1N HCl、0.1N HCl 和 0.5N Na₂CO₃ 提取的有效 As 之间具有极显著的线性关系(表 3), 因此土壤 As 浓度可以全 As 或有效 As 表示。表 4 为黄棕壤砷浓度与作物产量变化的资料。可以看出, 在旱作条件下, 土壤全 As 为 400mg/kg 或它的有效 As 浓度范围, 对小麦生长无抑制作用, 相反, 还促进其增产, 与小麦产量之间没有明显关系。在淹水土壤条件下, 水稻受害明显, 其产量是随土壤砷浓度增加而下降。表 5—6 结果表明, 土壤砷浓度与水稻籽实或地上部分干物质的相对产量之间有良好的负相关关系, 它们之间呈极显著的线性或指数函数相关。但籽实减产幅度要大于地上部分干物质的减产幅度, 表明水稻生殖器官对砷毒性要比其它器官敏感。

表 3 土壤全砷与可提取砷的回归

茬 口	提取 As	回归方程	相关系数 (r)	自由度 (n-2)	显著 水平
* 早 稻 (盆栽试验)	1NHCl—As	$y=0.4514x-6.5651$	0.952	19	0.01
	0.5NNa ₂ CO ₃ —As	$y=0.2454x-0.8878$	0.968	19	0.01
* 中 稻 (盆栽试验)	1NHCl—As	$y=0.3556x-5.5209$	0.955	17	0.01
	0.1NHCl—As	$y=1.8030x-3.7820$	0.918	17	0.01
	0.5NNa ₂ CO ₃ —As	$y=0.3255x-6.3764$	0.973	17	0.01
中 稻 (污染大田)	1NHCl—As	$y=4.9264+0.4654x$	0.818	53	0.01
	0.5NNa ₂ CO ₃ —As	$y=0.1072x-1.1539$	0.961	53	0.01

* 供试土壤为 y, ys, yh 土。

表 4 土壤全砷浓度与作物产量的变化 (盆栽试验)

土 壤	小 麦 1)					早 稻 2)					中 稻 3)				
	土壤 As	籽 实	重	地上部分重		土壤 As	籽 实	重	地上部分重		土壤 As	籽 实	重	地上部分重	
	(mg/kg)	(克/盆)	(%)	(克/盆)	(%)	(mg/kg)	(克/盆)	(%)	(克/盆)	(%)	(mg/kg)	(克/盆)	(%)	(克/盆)	(%)
y	10.7	14.1	100	50.7	100	10.7	61.2	100	199.5	100	10.7	44.4	100	112.6	100
	60.7	14.5	102.8	46.6	91.9	51.1	57.1	93.3	130.6	65.5	40.7	42.0	94.6	111.3	98.8
	110.7	15.9	112.8	47.2	93.1	114.3	43.4	70.9	100.0	50.1	50.7	41.2	92.8	108.3	96.2
	160.7	16.2	114.9	49.9	98.4	162.4	31.3	51.1	75.4	27.8	70.7	38.3	86.3	105.6	92.0
	210.7	19.3	140.4	51.0	100.6	186.9	32.0	52.3	/	/	90.7	35.3	79.9	98.1	87.1
	260.7	20.4	144.7	54.3	107.6	240.2	14.3	23.4	39.5	19.8	130.7	31.9	71.9	81.9	72.4
	310.7	20.9	148.2	51.7	102.0	293.6	12.3	20.1	32.3	16.2	250.7	19.1	43.0	44.6	39.6
	410.7	20.4	144.7	41.9	82.6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
ys	11.3	19.3	100	55.5	100	11.3	59.7	100	154.7	100	11.3	43.5	100	118.5	100
	61.3	34.7	179.8	74.0	133.3	54.7	51.6	87.9	144.1	93.2	41.3	36.4	83.5	100.9	85.2
	111.3	32.5	168.4	70.5	127.0	108.7	43.3	73.8	130.0	84.0	51.3	36.0	82.8	105.0	88.6
	161.3	27.4	142.0	64.4	116.0	134.0	32.6	55.5	85.8	55.5	71.3	35.3	80.5	95.3	80.4
	211.3	25.0	129.5	65.4	117.8	262.0	11.0	18.7	47.9	31.0	91.3	35.3	81.2	95.3	80.4
	261.3	23.5	122.0	64.3	115.9	314.4	6.2	10.6	21.2	13.7	131.3	26.4	60.7	69.9	59.0
	311.3	22.2	115.0	64.3	115.9	/	/	/	/	/	251.3	4.5	10.3	12.5	10.6
	411.3	31.7	164.3	68.2	118.2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
yh	13.9	15.5	100	53.8	100	13.9	64.1	100	151.1	100	13.9	39.5	100	106.5	100
	63.9	15.3	98.7	52.6	97.8	57.1	54.5	85.0	125.2	82.9	43.9	38.5	97.5	102.0	95.8
	113.9	18.2	117.4	57.2	106.3	102.1	51.2	80.0	121.0	80.1	53.9	34.0	86.1	105.0	98.5
	163.9	23.2	149.7	57.5	106.9	161.5	40.5	63.2	98.0	64.9	93.9	31.5	79.8	96.5	90.6
	213.9	24.6	158.7	63.8	118.6	194.4	25.4	39.6	78.1	51.7	133.9	32.5	82.3	85.0	79.8
	263.9	26.7	172.3	66.3	123.2	263.0	22.3	34.8	51.8	34.4	253.9	25.0	63.3	73.3	68.8
	313.9	29.5	190.3	71.3	132.5	313.3	5.2	8.1	19.4	12.8	/	/	/	/	/
	413.9	31.4	202.6	70.5	131.0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

1) 品种为六合一 812 号。

2) 品种为湘早和 3 号。

3) 品种为中秈 2421 号。

(三) 黄棕壤砷浓度与作物砷吸收量的关系

作物吸收是土壤污染物进入食物链的重要途径,而作物吸收土壤砷的百分率是受各种因素的制约。不同器官对砷吸收率是:根>>茎叶>籽实,其中籽实的吸收量对人体健康影响具有重要意义

1. 作物砷吸收的特征

(1) 早稻:表 7 为土壤砷浓度对早稻砷吸收量的影响资料。为了直观起见,取部分资料加以作图说明。从图 1 结果看出,早稻籽实砷的吸收曲线是随土壤砷浓度增加而呈峰形变化,三种土的高峰值均大于 1mg/kg,出现高峰值的相应土壤全 As 浓度约在 100—140mg/kg 之间。当籽实砷为 0.7mg/kg,并横截吸收峰时,则出现高峰值前 (PSf) 和高峰值后 (PSb) 的吸收值,以及出现相应土壤砷浓度,即高峰值前土壤浓度 (PSf) 和峰值后土壤浓度 (PSb)。结果表明,三种土 (Y, Ys, Yh) 的 PSf 值为 56—76mg/kg, PSb 值为 180—280m

g/kg, 后者要比前者大得多, 说明在水稻砷害较重情况下, 仅根据植株砷吸收量作指标来评价

表 5 土壤全砷浓度与水稻相对产量的关系 (盆栽试验)

产 量	土 壤	相 关 方 程	相关系数 (r)	显著 水平
早 稻				
籽 实	y	$y=105.25-0.3075x$	-0.987	0.01
	ys	$y=105.15-0.3077x$	-0.993	0.01
	yh	$y=105.33-0.2955x$	0.983	0.01
地上部分 干物质	y	$y=\frac{100.7771}{e^{0.006389x}}$	-0.994	0.01
	ys	$y=\frac{116.2813}{e^{0.00426x}}$	-0.984	0.01
	yh	$y=104.63-0.2766x$	-0.990	0.01
中 稻				
籽 实	y	$y=103.53-0.2422x$	-0.998	0.01
	ys	$y=104.72-0.3606x$	-0.983	0.01
	yh	$y=99.50-0.1468x$	-0.948	0.01
地上部分 干物质	y	$y=108.48-0.2687x$	-0.990	0.01
	ys	$y=106.30-0.3696x$	-0.989	0.01
	yh	$y=102.55-0.1381x$	-0.978	0.01

表 6 土壤可提取砷浓度与水稻相对产量的关系 (盆栽试验)

茬 口	提 取 剂	相 关 方 程	相关系数 (r)	自由度 (n-2)	显著 水平
早稻谷产量	1N HCl	$y=97.1972-0.5925x$	-0.899	19	0.01
	0.5N Na ₂ CO ₃	$y=102.0979-1.1434x$	-0.927	19	0.01
中稻谷产量	1N HCl	$y=101.9349-0.8527x$	-0.960	17	0.01
	0.1N HCl	$y=99.1914-1.5874x$	-0.942	17	0.01
	0.5N Na ₂ CO ₃	$y=99.6012-0.8713x$	-0.880	17	0.01
早稻总干物 质产量	1N HCl	$y=96.5548-0.5673x$	-0.942	18	0.01
	0.5N Na ₂ CO ₃	$y=100.4153-1.0626x$	-0.949	18	0.01

* 供试土壤为 y, ys, yh

土壤污染程度是困难的。实际上, 较重砷污染农田, 水稻籽实砷吸收量并不高, 甚至比砷害较轻者还要低的现象, 这可能因出现 Pb 的吸收值的缘故。因此, 研究作物在不同条件下对污染吸收曲线的特征, 将有助于正确评价或判断问题。一般来说, 不出现明显作物砷害, 往往出现 Pf 的吸收值, 把 Pf 的吸收值作为卫生质量指标的依据是符合实际污染状况的。

表 7 土壤砷浓度对作物砷吸收量的影响 (盆栽试验)

土 壤 采 集 地 点	小 麦 1)			早 稻 2)			中 稻 3)		
	土壤 As (ppm)			籽实 As (ppm)			茎叶 As (ppm)		
江苏下蜀	10.7	0.028	0.175	10.7	0.214	2.933	10.7	0.214	2.183
	60.7	0.437	4.378	51.1	0.165	9.859	40.7	0.370	9.751
	110.7	0.567	6.564	114.3	1.007	13.729	50.7	0.430	9.704
	160.7	0.726	8.104	162.4	0.880	16.666	70.7	0.461	11.164
	210.7	0.733	9.534	186.9	0.637	17.311	90.7	0.465	11.402
	260.7	0.810	10.262	240.2	0.549	21.831	130.7	0.468	14.903
	310.7	0.846	10.718	293.6	0.470	26.014	250.7	0.504	17.903
	410.7	1.014	/	/	/	/	/	/	/
江苏盱眙	11.3	0.042	0.116	11.3	0.212	2.759	11.3	0.371	5.356
	61.3	0.560	3.704	54.7	0.547	10.905	41.3	0.439	7.356
	111.3	0.794	6.758	108.7	0.970	10.262	51.3	0.497	/
	161.3	0.870	8.613	134.0	1.115	14.800	71.3	0.717	10.205
	211.3	0.907	10.187	188.7	0.893	15.280	91.3	0.696	9.067
	261.3	0.956	10.519	262.0	0.858	18.506	131.3	0.634	8.609
	311.3	0.970	10.889	314.4	0.787	18.856	251.3	0.318	/
	411.3	1.011	11.079	/	/	/	/	/	/
湖北孝感	13.9	0.039	0.143	13.9	0.104	1.881	13.9	0.217	2.857
	63.9	0.404	1.589	57.1	0.579	11.106	43.9	0.307	4.189
	113.9	0.642	2.996	102.1	0.841	12.308	53.9	0.337	/
	163.9	0.680	5.775	161.5	1.026	14.021	73.9	0.376	9.057
	213.9	0.716	7.255	194.4	1.048	15.035	93.9	0.383	8.402
	263.9	0.842	8.737	263.6	0.766	16.009	133.9	0.372	10.025
	313.9	0.872	10.491	313.3	0.378	14.627	253.9	0.441	10.825
	413.9	0.971	10.546	/	/	/	/	/	/

1) 小麦品种为 812。

2) 水稻品种为湘早籼 3 号和 3421 中籼。

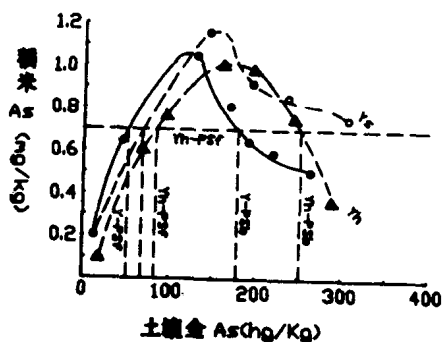


图 1 土壤全砷量对稻米中砷含量的影响 (早稻盆栽试验)

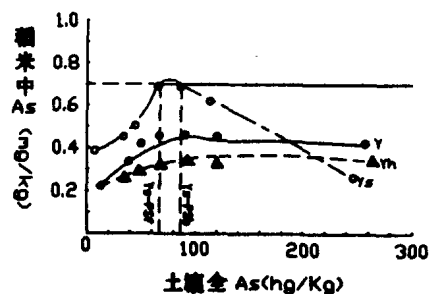


图 2 土壤砷浓度对中稻稻米砷含量的影响 (盆栽试验)

(2) 中稻: 中稻籽实砷吸收曲线如图 2, 吸收量均较低, Y 土和 Yh 土不出现吸收峰,

Ys 土出现吸收低峰。表 8 为农田污染砷与中稻砷吸收量关系,可以看出,在污染农田条件下,中稻砷吸收量的水平也较低,籽实砷为 $<0.713\text{mg/kg}$,茎叶 As 为 $<10.00\text{mg/kg}$,前者大部分低于卫生质量标准,这是因为中稻成熟期较晚,气温下降,作物吸收强度减弱所致。但早稻和中稻的茎叶砷,都不出现吸收峰,表明茎叶器官对砷毒性不如籽实器官敏感。

(3) 小麦: 在盆栽试验浓度为 400mg/kg 范围内,小麦籽实或茎叶砷吸收量是随土壤浓度增加而增加(表 7),表明在高砷浓度下,小麦砷吸收仍是 Pr 的吸收值,但在农田污染条件下,小麦砷吸收要低于盆栽试验的结果(表 8)。

2. 土壤砷浓度与作物砷吸收量的关系

调查表明,农田土壤污染砷浓度与中稻或小麦砷吸收量之间呈极显著相关性(表 8),而试验土壤砷浓度与早稻籽实砷吸收量之间却表现不显著或显著相关性(表 9),但与小麦籽实砷吸收量之间呈极显著相关性(表 10),无论与那种作物籽实 As 之间关系,都以 $0.5\text{N Na}_2\text{CO}_3\text{—As}$ 的相关性最好, 1N HCl—As 次之,全—As 较差。

表 8 污染大田土壤全砷浓度与作物砷含量的相关分析

作物	相关方程	相关系数 (r)	n	P	PS _r 值 (mg/kg)
水稻	糙米 $y=0.14888e^{0.00875x}$	0.738	42	0.01	177
	茎叶 $y=0.7503+0.0513x$	0.828	44	0.01	/
小麦	麦粒 $y=0.1186+0.0002x$	0.441	60	0.01	>200
	茎叶 $y=0.0083x-0.0768$	0.860	61	0.01	/

表 9 土壤砷与稻米砷的相关性 (盆栽试验)*

土壤	土壤砷	相关方程	相关系数 (r)	显著水平	PS _r 值 (mg/kg)
y	全—As	$y=0.1607x^{0.2743}$	0.625	>0.05	/
	1NHCl—As	$y=0.3820x^{0.1308}$	0.745	>0.05	/
	0.5NNa ₂ CO ₃ —As	$y=0.3300x^{0.2125}$	0.779	>0.05	/
Ys	全—As	$y=0.0916x^{0.4344}$	0.877	0.01	110.0
	1NHCl—As	$y=0.1856x^{0.3534}$	0.890	0.01	44.0
	0.5NNa ₂ CO ₃ —As	$y=0.3985x^{0.2023}$	0.921	0.01	17.0
Yn	全—As	$y=0.0413x^{0.5510}$	0.731	>0.05	170.0
	1NHCl—As	$y=0.1923x^{0.3407}$	0.815	0.05	45.0
	0.5NNa ₂ CO ₃ —As	$y=0.2056x^{0.3511}$	0.829	0.05	33.5

* 7 个处理。

(四) 黄棕壤砷的临界含量

在土壤—作物体系中,确定土壤临界含量的两个主要依据是:

(1) 作物减产幅度,规定籽实减产为 $\leq 10\%$ ^[1]。

(2) 作物可食部分卫生质量标准, 国家规定粮食卫生标准为 $\leq 0.7\text{mg/kg}$ (以 As 计)。土壤砷污染, 不仅能影响作物可食部分的卫生质量, 而且能引起大幅度作物减产, 因此必需依据上述指标, 选定其中一个作为主要依据。表 11 为黄棕壤—作物体系的临界含量, 可看出, 水稻确定的临界含量范围比小麦低, 其中以籽实减产 10% 时的土壤浓度最低。根据以最低值做为限制性因素的原则 [1], 把后者作为主要依据, 并采用三种土平均值为最后的确定值。结果表明, 黄棕壤临界含量: 全-As 为 50.9mg/kg , 1N HCl-As 为 12.6mg/kg , $0.5\text{N Na}_2\text{CO}_3\text{-As}$ 为 10.5mg/kg , 0.1N HCl-As 为 5.8mg/kg 。

表 10 土壤砷与小麦植株砷的相关性 (盆栽试验)*

土 壤	土 壤 As	相 关 方 程	相关系数 (r)	显著水平	PS _r 值 (mg/kg)
y	总 As	$y=0.0792x^{0.4202}$	0.989	0.01	179.0
	1NHCl 提取 As	$y=0.0607x^{0.5630}$	0.989	0.01	78.0
	0.5NNa ₂ CO ₃ 提取 As	$y=0.1339x^{0.4306}$	0.999	0.01	47.0
ys	总 As	$y=0.1831x^{0.2945}$	0.949	0.01	95.0
	1N HCl 提取 As	$y=0.0824x^{0.5434}$	0.981	0.01	52.0
	0.5NNa ₂ CO ₃ 提取 As	$y=0.1024x^{0.5631}$	0.982	0.01	31.0
yh	总 As	$y=0.0709x^{0.4391}$	0.973	0.01	185.0
	1N HCl 提取 As	$y=0.0805x^{0.5532}$	0.978	0.01	50.0
	0.5NNa ₂ CO ₃ 提取 As	$y=0.0901x^{0.5894}$	0.992	0.01	37.0

* 7 个处理。

表 11 黄棕壤砷的临界含量 (mg/kg)

作物	土壤 As 形态	籽实含 As 为 0.7mg/kg 时土壤 浓度的范围	籽实减产 10% 时 土壤浓度的范围	临界含量的 确定值
水稻	全-As	56.0-170.0	40.8-64.7	50.9
	1NHCl-As	44.0-45.0	12.1-14.0	12.6
	0.5NNa ₂ CO ₃ -As	17.0-33.5	10.6-11.0	10.5
	0.1NHCl-As	/	/	5.8
小麦	全-As	95.0->7200	/	/
	1NHCl-As	50.0-78.0	/	/
	0.5NNa ₂ CO ₃ -As	31.0-47.0	/	/

参考文献

- [1] 土壤环境容量研究组,《土壤环境容量研究》(夏增禄主编)。气象出版社,202—216 页,(1986 年)。
 [2] F.N. 彭拉姆帕鲁玛著名,热带水稻土特性 (庄卫民译)。国际水稻研究所,17—70 页 (1987 年)。

黄棕壤镉的临界含量探讨

孙汉中 王自强 林静慧

(中国科学院南京土壤研究所)

镉不仅是生物有机体不必需的元素,而且是有毒元素之一。它可引起人类的多种疾病,为了防止镉污染和危害,研究土壤中镉的临界含量制订土壤镉的标准就具有十分重要的意义。

一、材料和方法

1. 作物盆栽试验

供试土壤采自南京下蜀、江苏盱眙、湖北孝感等地区黄土上发育的黄棕壤,土壤理化性质见表1。供试作物有水稻和冬小麦,盆栽采用容6公斤土的瓷盆,每盆装土5公斤;添加镉浓度分别为0、0.5、1.0、2.5、5、10、25、50、100mg/kg,每一处理重覆三次,土壤、肥料和添加镉一次性充分拌匀而装入盆中,淹水培育两周后栽秧,水浆管理与大田相同,水稻收获后继种小麦。

2. 农田径流试验

选在南京郊区六合县农科所典型黄棕壤稻田上进行,设置对照和镉径流试验小区,每区各10平方米,镉投加量为6.75克(合耕层每公斤土3毫镉)。小区灌溉量和径流量均由进出水口安装的水表记录,田间管理与大田相同,种植水稻与小麦两茬,收获后分别进行作物和土壤含镉量测定。

表1

盆栽土壤的基本性质

地 点	pH	CEC me/100gt	OM %	全 N %	全 P P ₂ O ₅ %	全 K K ₂ O %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	CaO %	MgO %	粘 粘 <0.001mm
下 蜀	6.6	17.9	0.49	0.035	0.10	2.3	68.59	14.28	5.63	0.089	1.03	1.57	24.9
盱 眙	7.0	22.9	1.18	0.007	0.07	1.6	70.52	13.31	5.63	0.056	0.87	0.96	30.7
孝 感	7.5	18.1	0.68	0.043	0.07	1.7	70.16	14.21	5.75	0.105	0.61	1.01	28.1

3. 土柱淋溶模拟试验

共采用两种不同长度的土柱进行,(1)10×20厘米土柱,在作物正常生长条件下,定期采渗漏水测定镉含量;(2)10×100厘米土柱,上层20厘米土按容重1.2装入,下层80厘米土按容重1.4装入,其浓度梯度为2.5、5、10、25mg/kg。管壁进行特殊处理,管壁效应明显降低,渗漏速度接近田间水平,土面上维持5厘米水柱,定期采集渗漏水测定镉含量。

4. 土壤和植物中镉含量的分析

土壤镉的分析采用王水—HClO₄消化,植物样品采用HNO₃消化,消化液用180—80原子吸收分光光度计测定。

二、结果与讨论

(一)、镉的生态效应

镉对作物尽管不是生长发育所必需的元素,但它对作物的生物量和品质却起着很大的影响,这已为我们过去的研究工作^{[2][3]}和国内外许多作者的报导^{[4][5][6][7]}所证明了的事实。镉的作物效应因作物种类和土壤类型而异,故结合黄棕壤地区的特点,选择水稻和冬小麦来进行研究。

表2 盆栽土壤添加镉对水稻生长和产量的影响

供试土壤	添加镉形态	处理浓度 (毫克/公斤)	株数 (株)	株高 (厘米)	有效分 蘖数(个)	每穗实粒 数(粒)	稻谷产量 (克/盆)	茎叶产量 (克/盆)
江苏下蜀地区黄土上发育的黄棕壤	氯化镉	0	16.7	66.6	14.67	51.70	16.63	14.73
		0.5	16.0	67.1	13.0	48.65	14.03	14.73
		1.0	19.67	65.5	16.0	37.58	12.60	15.53
		2.5	17.33	67.5	15.3	50.78	17.37	16.04
		5.0	19.0	66.9	15.3	39.87	13.10	15.60
		10.0	15.3	71.4	14.0	53.73	16.93	14.82
		25.0	16.0	64.3	11.67	37.07	9.43	10.45
		50.0	8.5	54.6	5.67	32.72	3.73	6.04
		100.0	9.0	47.4	6.67	19.75	2.40	4.02
江苏盱眙地区下蜀黄土上发育的黄棕壤	氯化镉	0	18.33	69.97	17.33	58.58	25.20	20.40
		0.5	15.67	74.47	13.0	71.36	22.30	19.64
		1.0	18.67	69.37	17.67	65.62	27.23	21.59
		2.5	17.67	73.80	15.67	68.11	22.93	20.48
		5.0	17.0	71.23	14.67	54.88	18.10	17.18
		10.0	19.33	71.47	18.0	50.34	21.43	20.74
		25.0	18.33	73.37	18.0	49.11	20.80	19.31
		50.0	17.33	70.57	14.67	47.05	16.20	16.51
		100.0	15.33	65.70	12.67	52.65	13.30	13.84
湖北孝感地区下蜀黄土上发育的黄棕壤	氯化镉	0	16.67	68.63	14.67	51.36	15.23	16.50
		0.5	16.67	62.83	14.0	52.42	15.05	15.43
		1.0	16.33	64.03	11.67	47.37	13.33	13.84
		2.5	14.33	67.60	11.67	44.35	13.70	13.82
		5.0	18.67	62.70	14.67	44.26	13.27	14.51
		10.0	18.33	63.97	15.67	49.52	16.33	15.76
		25.0	16.33	62.17	12.33	46.72	10.80	13.47
		50.0	14.67	63.30	11.33	32.76	8.30	10.69
		100.0	13.67	59.83	7.33	26.06	4.07	8.48
江苏下蜀地区黄土上发育的黄棕壤	硫酸镉	0	16.3	72.5	16.3		20.64	21.26
		0.5	17.7	68.4	17.3		19.43	25.39
		1.0	20.0	69.5	20.0		22.50	23.46
		2.5	19.0	73.3	19.0		20.65	21.24
		5.0	17.3	72.3	16.3		19.24	21.77
		10.0	24.0	71.1	22.0		24.68	26.73
		25.0	17.0	66.5	15.7		14.36	16.53
		50.0	15.3	59.0	13.3		7.63	13.53
		80.0	10.0	61.2	9.0		7.35	8.73

1. 镉对作物农业性状的影响:从水稻、小麦与添加不同镉量的盆栽试验结果可以看出(见表2、3),土壤镉含量在0.5—200ppm范围内时,无论添加氯化镉或硫酸镉,水稻、小麦的籽实和茎叶产量、株数、有效分蘖数、每穗实粒数等均有随土壤镉浓度增大而减小的

趋势。我们若以作物籽实减产 10% 作为一个明显的指标, 那可获得表 4 的数值, 从中可以看出, 同一个土壤类型, 不同的作物, 其明显影响的指标是不同的; 甚至同一种作物, 同一个土类, 不同土种之间的差异其指标亦是不完全相同的, 有的可差异一倍以上。从水稻和小麦作物的受害浓度比较, 水稻受害的浓度低, 小麦受害的浓度高。

表 3 盆栽土壤添加镉对小麦生长和产量的影响

供试土壤	添加镉形态	处理浓度 (毫克/公斤)	株数 (株)	株高 (厘米)	有效分蘖数 (个)	小麦产量 (克/盆)
江苏下蜀地区黄土上发育的黄棕壤	氯化镉	0	45	68.3	15.7	19.54
		0.5	42.3	66.8	19.7	20.11
		1.0	37.3	67.4	20.0	20.97
		2.5	34	73.3	15.0	21.26
		5.0	32	70.9	15.0	20.26
		10.0	36.3	70.5	13.7	19.62
		25.0	27	75.5	12.0	17.41
		50.0	23.3	76.7	11.0	16.60
		100.0	11	62.7	10.0	3.03
江苏盱眙下蜀黄土上发育的黄棕壤	氯化镉	0	25	70.1	14.3	17.02
		0.5	31.3	60.6	19.3	17.01
		1.0	31.0	64.3	18.0	15.51
		2.5	30.3	66.5	14.7	18.85
		5.0	31.0	63.8	18.0	19.99
		10.0	29.0	65.4	15.3	17.93
		25.0	23.3	65.1	12.7	9.37
		50.0	16	71.3	10.7	11.43
		100.0	11.3	54.7	10.0	2.27
湖北孝感下蜀黄土上发育的黄棕壤	氯化镉	0	31.3	66.2	18.3	14.70
		0.5	30.0	74.6	15.0	20.77
		2.5	31.7	75.9	15.3	20.21
		5.0	33.7	72.1	16.0	21.27
		10.0	31.7	73.1	14.3	18.57
		25.0	29.3	69.0	13	15.57
		50.0	21	68.0	12	11.93
		100.0	16.3	72.9	10.7	10.64
			12.3	72.1	10.0	7.69
江苏下蜀地区黄土上发育的黄棕壤	硫酸镉	0	21	68.8	9.67	12.71
		0.5	21.3	71.8	7.67	11.71
		1.0	18.3	75.6	6.33	11.11
		2.5	19.7	73.8	7.67	10.79
		5.0	18.3	72.9	9.0	10.51
		10.0	17.0	72.8	7.67	8.99
		25.0	19.3	63.2	9.67	9.64
		50.0	14.7	66.7	7.33	9.80
		80.0	14.0	75.2	6.0	6.10

2. 作物对镉的吸收与累积: 表 5 是作物对镉的吸收, 从中可见, 下蜀、盱眙、孝感三个地区黄棕壤上的三种作物对镉的吸收累积是随土壤浓度的增高而增多, 经相关分析, 它们之间都具有极显著的相关关系。就作物而言, 水稻籽实中的镉量中稻比双季晚稻高, 茎叶亦是同样规律, 这与它们生育期的长短有关。再以小麦籽实中的含镉量和水稻作比较, 则小麦籽实中的镉量就明显高于水稻, 且以土壤含镉 25ppm 为转折点, 在此浓度以下, 麦粒中的含镉量随土壤添加镉量的浓度比值亦可看出: 中稻籽实的比值范围由 0.07—0.78;

表 4 作物籽实产量与土镉的相关系数、回归方程和产量减产 10% 时土镉的预测值

供试土样 采集地点	作物	样品数 (个)	相关系数 (r)	回 归 方 程	水稻减产 10% 时 土壤含镉量 (ppm)	小麦减产 10% 时 土壤含镉量 (ppm)
江苏下蜀	水稻	27	-0.8099	$Y=74.4074-4.4776X$	7.38	
	小麦	25	-0.9126	$Y=112.3437-5.1283X$		18.43
江苏盱眙	水稻	27	-0.6210	$Y=95.8646-3.5668X$	14.97	
	小麦	24	-0.8899	$Y=97.8476-5.1862X$		18.40
湖北孝感	水稻	27	-0.7023	$Y=76.5063-4.4924X$	14.92	
	小麦	25	-0.8139	$Y=104.5571-5.1150X$		25.99

表 5 作物籽实对 Cd 的吸收累积 (单位 ppm)

添加镉 浓度 (ppm)	江 苏 下 蜀			江 苏 盱 眙			湖 北 孝 感		
	中稻	双季 晚稻	冬小麦	中稻	双季 晚稻	冬小麦	中稻	双季 晚稻	冬小麦
0	0.05	0.02	0.03	0.04	0.01	0.03	0.04	0.01	0.04
0.5	0.18	0.20	0.44	0.28	0.04	0.38	0.39	0.03	0.56
1.0	0.65	0.36	0.97	0.41	0.09	0.76	0.49	0.17	1.28
2.5	1.21	1.03	1.70	1.35	0.17	1.84	1.22	0.21	2.31
5	2.80	1.30	3.30	1.33	0.37	3.25	1.88	0.33	4.80
10	2.71	1.65	5.17	2.16	0.40	4.60	2.33	0.59	6.59
25	4.22	2.42	6.73	3.20	0.56	5.33	3.56	1.80	7.97
50	6.03	2.06	6.60	4.83	1.99	5.73	7.09	2.30	8.19
100	7.56	2.66	6.68	6.91	2.21	7.83	9.00	2.86	8.21

表 6 作物籽实含 Cd 量与土壤添加 Cd 的比值

添加镉 浓度 (ppm)	江 苏 下 蜀			江 苏 盱 眙			湖 北 孝 感		
	中稻	双季 晚稻	冬小麦	中稻	双季 晚稻	冬小麦	中稻	双季 晚稻	冬小麦
0.5	0.35	0.40	0.88	0.56	0.08	0.76	0.78	0.06	1.12
1.0	0.65	0.36	0.97	0.41	0.09	0.76	0.49	0.17	1.28
2.5	0.48	0.41	0.68	0.54	0.07	0.74	0.49	0.08	0.92
5.0	0.56	0.26	0.66	0.27	0.07	0.65	0.38	0.07	0.96
10	0.27	0.17	0.52	0.22	0.04	0.46	0.23	0.06	0.66
25	0.17	0.10	0.27	0.13	0.02	0.21	0.14	0.07	0.32
50	0.12	0.04	0.13	0.10	0.04	0.12	0.14	0.05	0.16
100	0.08	0.03	0.07	0.07	0.02	0.08	0.09	0.03	0.08
平均值	0.34	0.22	0.52	0.29	0.05	0.47	0.34	0.07	0.69

双季晚稻的比值由 0.02—0.41, 小麦籽实的比值则由 0.07—1.28。同样亦以小麦籽实的比值为最高, 双季晚稻的比值为最低。

表 7 作物籽实对镉的吸收率 (%)

添加镉 浓度 (ppm)	江 苏 下 蜀			江 苏 盱 眈			湖 北 孝 感		
	中稻	双季 晚稻	冬小麦	中稻	双季 晚稻	冬小麦	中稻	双季 晚稻	冬小麦
0.5	0.19	0.22	0.35	0.43	0.07	0.26	0.53	0.04	0.47
1.0	0.38	0.18	0.41	0.28	0.10	0.24	0.30	0.09	0.52
2.5	0.34	0.29	0.29	0.41	0.06	0.28	0.41	0.05	0.39
5.0	0.37	0.14	0.27	0.19	0.05	0.26	0.27	0.04	0.36
10	0.17	0.11	0.20	0.22	0.03	0.16	0.20	0.04	0.21
25	0.10	0.04	0.09	0.10	0.02	0.10	0.12	0.03	0.08
50	0.06	0.01	0.04	0.07	0.02	0.03	0.08	0.02	0.03
100	0.02	0.003	0.004	0.04	0.01	0.004	0.02	0.01	0.01
平均值	0.20	0.12	0.21	0.22	0.05	0.17	0.21	0.04	0.26

再从表 7 不同作物对镉的吸收率可以看出, 中稻籽实的平均吸收率由 0.20%—0.22%, 双季晚稻由 0.04—0.12%, 小麦籽实的平均吸收率由 0.1—0.26%, 呈现出与上同样的规律。中稻籽实的平均吸收率要高出双季晚稻吸收率 2—5 倍, 小麦则更高。镉在水稻体内浓度的分配以根系为最多, 茎叶次之, 籽实最少, 这完全与植物器官分化发育的早晚有着密切的关系。

若引用国外食品卫生标准以糙米含 Cd0.4ppm 计, 根据上述土壤浓度与作物籽实浓度的关系, 可以获得整个黄棕壤区域三种作物镉达到食品卫生标准时的土壤临界含量, 其数值为: 中稻 0.95ppm+背景值, 双季晚稻为 3.30ppm+背景值, 小麦为 0.30ppm+背景值。

为了验证以上的结果, 我们在安徽铜陵和湖北大冶等矿区污染土壤上采集了各 20 个中稻和土壤样品, 经分析计算, 求得其土壤临界含量为 0.96ppm。与上述中稻 0.95ppm+背景值完全相同。

(二) 镉对地下水、地表水的影响

由于镉容易被土壤吸附固定, 其水溶态和交换态的含量很低, 据我们对黄棕壤的研究, 二者仅占土壤镉总量的 5.77—17.32%, 故一般认为镉渗漏不会威胁到地下水^{[8][9]}。以下蜀黄土上发育的黄棕壤进行的土柱淋洗模拟试验 (10×100 厘米土柱) 的结果表明, 滤液中最高镉浓度仅为 0.03ppb, 完全符合饮用水规定的标准。此外, 从淋洗后土柱中的土壤样品含镉量分析结果可知, 其淋溶累积深度, 一般仅在 20—25 厘米范围内, 极少量可达 30—40 厘米, 在 40 厘米以下皆接近背景值。故可认定土壤镉达临界含量水准时, 对地下水将毫无影响。

镉对地表水的影响, 从小区径流试验的结果来看, 7 月 4 日, 7 月 6 日和 8 月 15 日分为 4.49, 0.88 和 0.18ppb, 可见即使向土壤投加镉 3ppm, 田间排出的水中镉浓度仍远远低