

下蜀黄土地区土壤砷的临界含量

辛勋光 辛小平

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文以作物经济产量减产指标及可食部分的卫生质量标准为依据, 确定了下蜀黄土发育的黄棕壤中砷的临界含量范围是: 全-As为40.8—64.7mg/kg; 1.NHCl-As为11.6—14.0mg/kg; 0.5NNa₂CO₃-As为9.8—11.0mg/kg。其确定值为: 全-As50.9mg/kg; 1.NHCl-As12.6mg/kg; 0.5NNa₂CO₃-As10.5mg/kg。它们均高于红壤、棕壤和褐土, 表明各土壤砷的临界值具有明显的区域性分异。

一般认为砷是作物的非必需元素。但它的植物毒性已被许多文献所证实^[1-4], 并对作物生长产生不利的影响, 特别是在某些工矿附近尤为严重。本文主要介绍下蜀黄土发育的黄棕壤中砷的作物效应(指某元素毒性对作物吸收能力、生态及生物量的综合影响)及其临界含量。

一、调查及试验方法

(一)调 查 根据下蜀黄土发育的黄棕壤地区性分异^[5], 进行砷背景值调查。选定3个具有代表性的土壤作为采样点: (1)江苏省句容县下蜀(Yg), 土壤矿物成分以水云母、蛭石为主, 一定量高岭石, 少量石英和长石; (2)江苏省盱眙县(Ys), 土壤矿物成分以水云母为主, 一定量高岭石, 少量蒙脱石和绿泥石; (3)湖北省孝感市(Yh), 土壤矿物成分以水云母为主, 一定量高岭石、蛭石和绿泥石。此3个土壤的As背景值在8.8—13.9mg/kg范围, 平均为10.3mg/kg。土壤理化性质列于表1。

表 1 下蜀黄土发育的黄棕壤理化性质

土 壤	采 样 地 点	pH	全 N (g/kg)	全 P (P ₂ O ₅ g/kg)	全 K (g/kg)	有机质 (g/kg)	游离铁 (Fe ₂ O ₃ g/kg)	活性铁 (Fe ₂ O ₃ g/kg)	代换量 (Cmol /kg)	颗粒含量(g/kg) (mm)			质地
										0.05— 0.01	<0.001	<0.01	
Y _g	江苏省 句容县	6.5	0.43	1.37	21.3	4.5	24.3	3.63	17.9	448	249	481	重壤土
Y _s	江苏省 盱眙县	7.2	0.80	0.61	15.3	11.3	22.6	2.07	22.7	494	367	476	重壤土
Y _h	湖北省 孝感市	7.6	0.50	0.39	16.8	6.5	32.3	2.35	18.1	366	281	526	重壤土

(二)盆栽试验方法 供试作物为当地的主要作物, 即早稻、中稻和小麦。将6kg供试土壤装入20×25cm瓷钵内, 分别加入不同量级的Na₂HAsO₄, 并加入N、P、K各1g, 拌匀, 平衡处理后栽种作物。每个处理3个重复。

(三)土壤中可提取砷的提取方法 称取1.0g土样置于50ml离心管中,在25℃±0.5恒温条件下,加入25ml的1N HCl或0.5N Na₂CO₃溶液,振荡30分钟,离心,取上清液测定As。

(四)土壤及作物全砷的测定方法 土壤或作物试样分别用王水消煮法和混合酸(硝酸+高氯酸)消化法进行预处理。砷的分析采用氢化物—原子荧光法测定[6]。

二、结果与讨论

(一)砷对作物的毒害

砷化物对植物均有毒性。受砷污染的土壤,能引起作物砷害,水稻受害尤为明显。受害作物一般表现为生长和发育受抑制,株型矮化,植株恋青及花穗不育。砷害严重导致根系发黑,根量减少,不发棵,茎叶发黄,甚至枯死。

(二)土壤砷浓度与作物产量

试验结果表明,供试的3种黄棕壤,砷浓度在400mg/kg左右,对小麦而言,属于可忍受的量,产量不受影响。但对水稻作物来说,上述土壤浓度,已大大超过它的可忍受的量,影响水稻产量。据我们试验,当土壤砷浓度在40—64mg/kg时,水稻籽实减产10%;在179—187mg/kg时,减产50%;在250mg/kg时,则基本绝收。表2结果表明,供试3种土壤的全—As或1NHCl—As或0.5N Na₂CO₃—As的浓度,与水稻籽实或地上部分干物质的相对产

表2 土壤砷浓度(x)与水稻相对产量(y)之间的关系

产量	土壤	砷形态	相关方程	相关系数(r)	减产10%的土壤As浓度(mg/kg)
早 稻					
籽实 产量	Y _g	全—As	$y = 105.25 - 0.308x$	-0.987**	49.6
	Y _s	全—As	$y = 105.15 - 0.308x$	-0.993**	42.7
	Y _h	全—As	$y = 105.33 - 0.296x$	-0.983**	51.9
	Y _g + Y _s + Y _h	1NHCl—As	$y = 97.20 - 0.593x$	-0.899**	12.1
	Y _g + Y _s + Y _h	0.5N Na ₂ CO ₃ —As	$y = 102.10 - 1.143x$	-0.927**	10.6
地上部分 干物质 的产量	Y _g	全—As	$y = \frac{100.78}{e^{0.00838x}}$	-0.994**	
	Y _s	全—As	$y = \frac{116.28}{e^{0.00426x}}$	-0.984**	
	Y _h	全—As	$y = 104.63 - 0.277x$	-0.990**	
	Y _g + Y _s + Y _h	1NHCl—As	$y = 96.55 - 0.567x$	-0.942**	
	Y _g + Y _s + Y _h	0.5N Na ₂ CO ₃ —As	$y = 100.42 - 1.063x$	-0.949**	
中 稻					
籽实 产量	Y _g	全—As	$y = 103.53 - 0.242x$	-0.996**	55.9
	Y _s	全—As	$y = 104.72 - 0.361x$	-0.983**	40.8
	Y _h	全—As	$y = 99.50 - 0.147x$	-0.948**	64.7
地上部分 干物质 的产量	Y _g + Y _s + Y _h	1NHCl—As	$y = 101.94 - 0.853x$	-0.960**	14.0
	Y _g + Y _s + Y _h	0.5N Na ₂ CO ₃ —As	$y = 99.60 - 0.871x$	-0.880**	11.0
地上部分 干物质 的产量	Y _g	全—As	$y = 108.48 - 0.269x$	-0.990**	
	Y _s	全—As	$y = 106.30 - 0.370x$	-0.989**	
	Y _h	全—As	$y = 102.55 - 0.138x$	-0.978**	

注: ** 为极显著 (p<0.01)。

量之间呈极显著的负相关性($P < 0.01$), 表明借助关系方程有可能预测土壤砷污染浓度。

砷害引起作物大幅度减产的一个重要原因, 在于推迟作物的成熟期, 对水稻尤其明显。图 1 表明, 土壤砷浓度在 300mg/kg 左右时, 水稻成熟期出现不同程度的推迟, 浓度愈高, 成熟期愈晚, 甚至可后延30多天。通常, 土壤砷浓度与水稻成熟期推迟时间之间有极好的指数函数相关(表 3), 说明根据土壤砷污染程度可预测水稻成熟期推迟的时间, 这对受砷污染农田的农业生产具有一定指导意义。

(三) 土壤砷浓度与作物吸收的砷量

土壤砷经作物吸收而进入食物链。作物根从土壤中吸收的砷在各器官中的分配率一般是: 根 $>$ 茎叶 $>$ 籽实, 而作物从土壤中吸收砷的数量则受各种因素的制约。

1. 作物对砷的吸收曲线特征: 作物对砷的吸收曲线特征, 因生长条件、品种和器官而异。图 2 为早稻籽实砷的吸收曲线。由图可见, 籽实含砷量随土壤砷浓度的增加呈峰形变化, 其高峰值均大于 0.7mg/kg (国家卫生标准), 并且通常出现在土壤砷浓度为 $120\text{--}180\text{mg/kg}$ 之间。若取 0.7mg/kg 横截吸收峰时, 则得高峰值前(P_f)和高峰值后(P_b)的砷的吸收值, 及高峰值前土壤砷浓度(PS_f)和高峰值后土壤砷浓度(PS_b)。结果表明, 3 种土壤的 PS_f 值为 56--

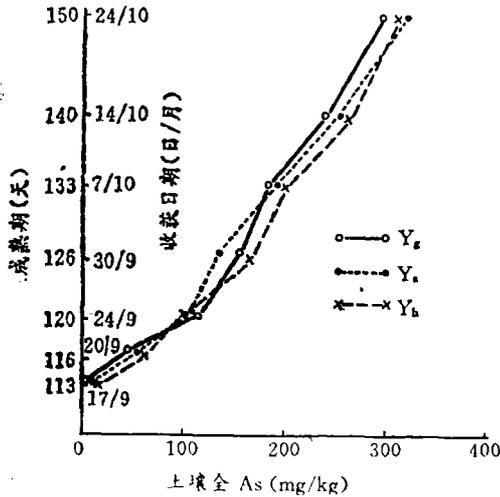


图 1 土壤砷浓度对水稻成熟期的影响
(水稻品种为湘早矮 3 号)

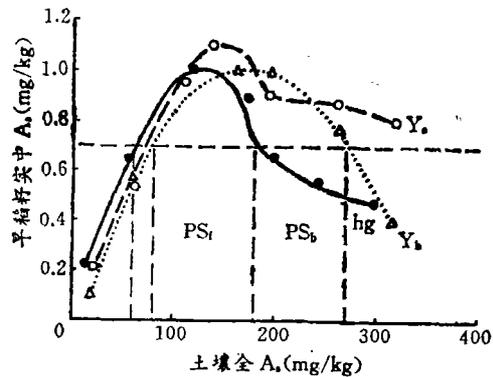


图 2 早稻籽实的砷吸收曲线
(盆栽试验)

表 3 土壤砷浓度 (x) 与水稻成熟期延长时间之间的关系

土壤	土壤砷	相关方程	相关系数 (r)
Y_g	全-As	$y = 107.399e^{0.00102x}$	0.989**
	1NHCl-As	$y = 108.986e^{0.00190x}$	0.987**
	0.5N Na_2CO_3 -As	$y = 108.648e^{0.00322x}$	0.989**
Y_s	全-As	$y = 108.360e^{0.00946x}$	0.996**
	1NHCl-As	$y = 109.894e^{0.00187x}$	0.999**
	0.5N Na_2CO_3 -As	$y = 109.736e^{0.00091x}$	0.989**
Y_h	全-As	$y = 107.802e^{0.00091x}$	0.997**
	1NHCl-As	$y = 109.976e^{0.00271x}$	0.995**
	0.5N Na_2CO_3 -As	$y = 109.396e^{0.00399x}$	0.995**

注: ** 为极显著($p < 0.01$)。

76mg/kg, PSb值为180—280mg/kg, 二者相距甚远。说明仅根据植株砷吸收量作为评价土壤砷污染程度的依据是困难的, 还必需考察植株受砷害的程度。在实际大田中, 常可见受砷害严重的作物, 但其吸收的砷量不高, 甚至还低于受砷害较轻的作物, 这就是出现Pb吸收值的缘故。因此研究作物的吸收曲线特征, 将有助于正确评价或判断污染状况。

试验结果还表明, 土壤全As量在400mg/kg左右时, 水稻和小麦的茎叶, 以及小麦的籽实, 都不出现吸收峰, 表明它们都是高峰值前的吸收值。

2. 土壤砷浓度与作物吸收砷量的关系: 试验结果表明, 小麦或水稻的根茎叶对砷的吸收量与土壤砷浓度有极好的相关性 ($P < 0.01$)。对作物籽实而言, 小麦有极好相关性, 而水稻则较差, 因此用水稻籽实的砷的吸收量作指标是不理想的, 虽然对于它的可食部分已制定了质量卫生标准, 并且还得到了普遍地应用。然而作物各器官吸收的砷量与土壤砷浓度的关系中, 以0.5N Na₂CO₃或1NHCl提取的砷量的相关性最好。

(四) 土壤—作物体系砷的临界含量

1. 确定的依据: 确定土壤—作物体系砷临界含量的主要依据是: (1) 不降低当地主要作物的经济产量, 即不超过允许的减产指标; (2) 主要作物可食部分不超过卫生质量标准, 或不超过人每日允许摄入量(ADI)标准。通常以作物经济产量减少10%时的土壤浓度作为临界值[7]; 及农产品中As的允许极限不得超过0.7mg/kg为度。

2. 黄棕壤砷的临界含量: 研究表明, 3种土壤砷临界含量范围: 全—As为40.8—64.7mg/kg; 1NHCl—As为11.6—14.0mg/kg; 0.5N Na₂CO₃—As为9.8—11.4mg/kg。临界含量的确定值: 全—As为50.9mg/kg, 1NHCl—As为12.6mg/kg, 0.5N Na₂CO₃—As为10.5mg/kg。这些结果较红壤、棕壤和褐土的临界含量都高(表4), 表明土壤砷临界含量因土壤类型和性质不同而具有区域性分异。

表4 不同类型土壤砷临界含量的比较

土壤类型	全—As(mg/kg)		1NHCl—As (mg/kg)	资料来源
	减产10%指标	卫生标准		
红壤性水稻土	—	45(水稻)	11.0	[7]
黄棕壤	50.9(水稻)	—	12.6	
草甸棕壤	35.6(水稻)	—	5.4	[8]
草甸褐土	21(水稻)	—	—	[7]

参 考 文 献

- [1] Woolson, E. A., et al., Soil Sci. Amer. Proc. 35, 101-106, 1971.
- [2] Jacobs, L. W., et al., Agron. J. 62, 588-591, 1970.
- [3] Woolson, E. A., Weed Sci. 21, 524-527, 1973.
- [4] Liebig, G. F., Soil Sci. 88, 342-348, 1959.
- [5] 中国科学院南京土壤研究所, 中国土壤, 524—530页, 科学出版社, 1978.
- [6] 李勋光, 氢化物—非色散原子荧光法测定作物样品中微量砷, 土壤, 第23卷, 第2期, 110—113页, 1991.
- [7] 土壤环境容量研究组, 土壤环境容量研究, 环境科学, 7卷5期, 34—44页, 1985.
- [8] 熊先哲、张学询等, 草甸棕壤砷环境容量研究, 土壤环境容量研究论文集(夏增禄主编), 6—21页, 气象出版社, 1986.