

# 土壤有效锰 (DTPA-Mn) 的应用评价 与临界值的探讨

余存祖 彭琳 彭祥林 戴鸣钧 刘耀宏

(中国科学院西北水土保持研究所)

土壤微量元素的普查和含量分布的研究已在我国不少省、区开展,土壤有效态锰的测定是其主要内容。各地测定有效态锰所采用的方法不尽相同。用 DTPA 浸提测定土壤有效锰,还可同时测定土壤有效锌、铜、铁,方法简便,费省效宏,不少分析人员乐于采用,并对它的可行性进行了一些研究<sup>[2,5,6]</sup>。但由于这方面资料尚嫌不足,特别是缺乏生物反应方面的论证,因而对其能否准确反映土壤供锰状况,认识尚不一致。同时,方法创始人 Lindsay 等提出的以 1ppm 作为 DTPA-Mn 临界值<sup>[9]</sup>在我国应用明显偏低,因而有必要对其作进一步探讨,寻求适合我国生产实际的临界值。本文根据我们在黄土地区进行的田间、盆栽试验结果和土壤测定资料,对 DTPA 法测锰作进一步的评价,并提出土壤 DTPA-Mn 的临界值,供土壤微量元素普查和锰肥研究、推广中参考应用。

## 一、试验方法

**田间试验** 在武功、安塞、扶风、岐山等县进行了小麦、谷子、玉米锰肥试验,试验小区 1/30—1/20 亩,三次重复,以氮、磷肥作肥底,施锰处理亩施硫酸锰 3—5 斤,播种时施入播种沟中。

**盆栽试验** 采集黄土地区主要土壤(DTPA-Mn 含量自 1.6—25 ppm)进行施锰生物反应试验。供试作物有小麦、大麦、玉米、谷子。每盆栽土 6.5 公斤,施 Mn 量为 20—50 毫克/公斤土,各盆均施 N、P、K 各 100 毫克/公斤土作肥底,三次重复。另作锰肥用量试验,每公斤土施 Mn 为 0、10、20、30、40、50、60、70、80、90、100 毫克,供试作物为小麦,作物收获后测定土壤含锰量与植株含锰浓度。

**土壤和植株分析** 土壤有效锰用 0.005 M 二乙三胺五乙酸(DTPA)、0.01M 氯化钙和 0.1M 三乙醇胺组成的 pH 7.3 混合液提取;土壤易还原锰用中性 1N 含 0.2% 对苯二酚的醋酸铵液提取;植株全锰用硝酸-高氯酸湿灰化。土壤和植株锰都用原子吸收光谱测定。

## 二、结果和讨论

### (一) 土壤有效锰 (DTPA-Mn) 含量与土壤施入锰量、作物摄取锰量的关系

土壤施入锰肥后,土壤中有有效锰 (DTPA-Mn) 也随之提高。据 74 个土样统计,土壤有效锰含量 ( $y$ , ppm) 与土壤施入锰量 ( $x$ , ppm) 呈极显著正相关 ( $r = 0.9708^{**}$ ,  $t = 291.5$ )。在锰肥用量试验中,施 Mn 量为 10—100 毫克/公斤土,土壤有效锰含量随施锰量增加而直线上升(图 1)。在不同质地土壤中施入锰肥,土壤有效锰的提高往往因土壤质地不同而各异。土壤颗粒愈粗,施入锰肥对提高土壤有效锰含量的幅度愈大。例如,在砂

壤土上每公斤土施入 1 克 Mn, 20 天后测定, 土壤有效锰净增 559ppm (施锰处理的有效锰含量减去不施锰处理), 在同样情况下, 中壤土只净增 476 ppm, 前者比后者高 17.4%, 并且, 在迴归方程中迴归系数也随土壤颗粒增粗而增大, 中壤土的迴归系数为 0.42, 重壤土只 0.17。二者迴归方程:

$$y \text{ 中壤土} = 8.97 + 0.42x (r = 0.999^{**}),$$

$$y \text{ 重壤土} = 4.97 + 0.17x (r = 0.986^{**}).$$

表 1 土壤有效锰含量与作物摄取锰量以及植株含锰浓度的关系

Table 1 Relationship between content of soil available Mn and concentration of Mn in crops and amount of Mn absorbed by crops

作物 Crops	样本组数 No. of samples	相关系数 (r) Correlation coefficient (r)	
		土壤有效锰与作物摄取锰量 Content of soil available Mn vs. Mn absorbed by crops	土壤有效锰与植株含 Mn 浓度 Content of soil available Mn vs. Mn in crops
小麦 Wheat	11	0.925**	0.854**
大麦 Barley	24	0.695**	0.741**
玉米 Maize	19	0.545*	0.616**

\*\* P<0.01.

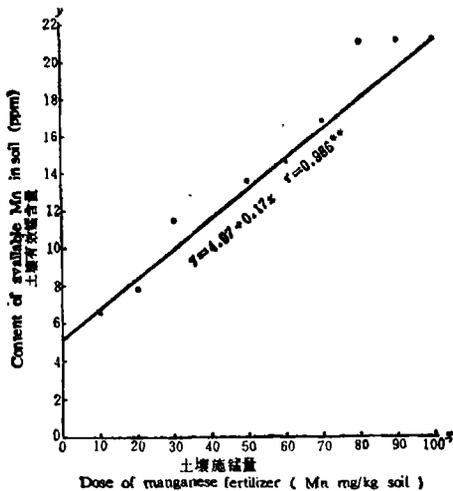


图 1 土壤施锰量与土壤有效锰含量的关系  
Fig. 1 Relationship between dose of manganese fertilizer and content of available Mn in soil

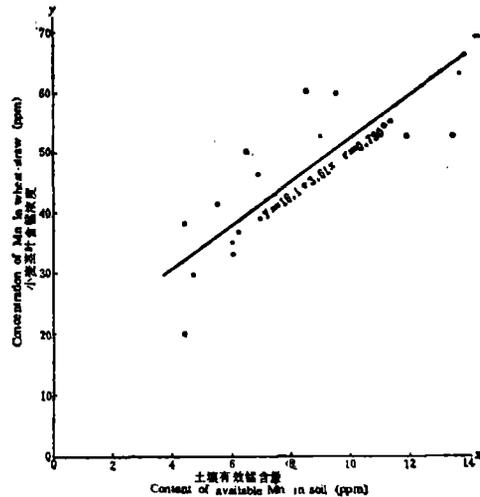


图 2 土壤有效锰含量与成熟期小麦茎叶含锰浓度的关系  
Fig. 2 Relationship between content of available Mn in soil and concentration of Mn in wheat-straw

随着土壤有效锰含量增加, 土壤供锰能力提高, 作物摄取锰量亦相应增多, 植株含锰浓度也随之提高。不同作物测定结果(表 1, 图 2) 表明, 土壤有效锰含量 (x, ppm) 与作物

植株摄取锰量( $y$ , 毫克/盆)、含锰浓度( $y$ , ppm)均呈极显著正相关。按土壤有效锰含量( $x$ , Mn ppm)与小麦成熟期茎叶含锰浓度( $y$ , ppm)的回归方程计算,当土壤有效锰含量低于 5ppm 时,小麦茎叶含锰浓度低于 34ppm。实测结果表明,土壤有效锰含量为 4.4—4.7 ppm 时,小麦茎叶含锰浓度为 20—30 ppm,施用锰肥可取得良好增产效果。一般认为,谷类和豆类作物含锰在 20ppm 以下可视为缺锰,20—30 ppm 为中等缺锰,40ppm 以上为不缺锰<sup>[8,10]</sup>,我们的试验结果与此基本一致。

## (二) 土壤有效锰 (DTPA-Mn) 含量与施锰生物反应的关系。

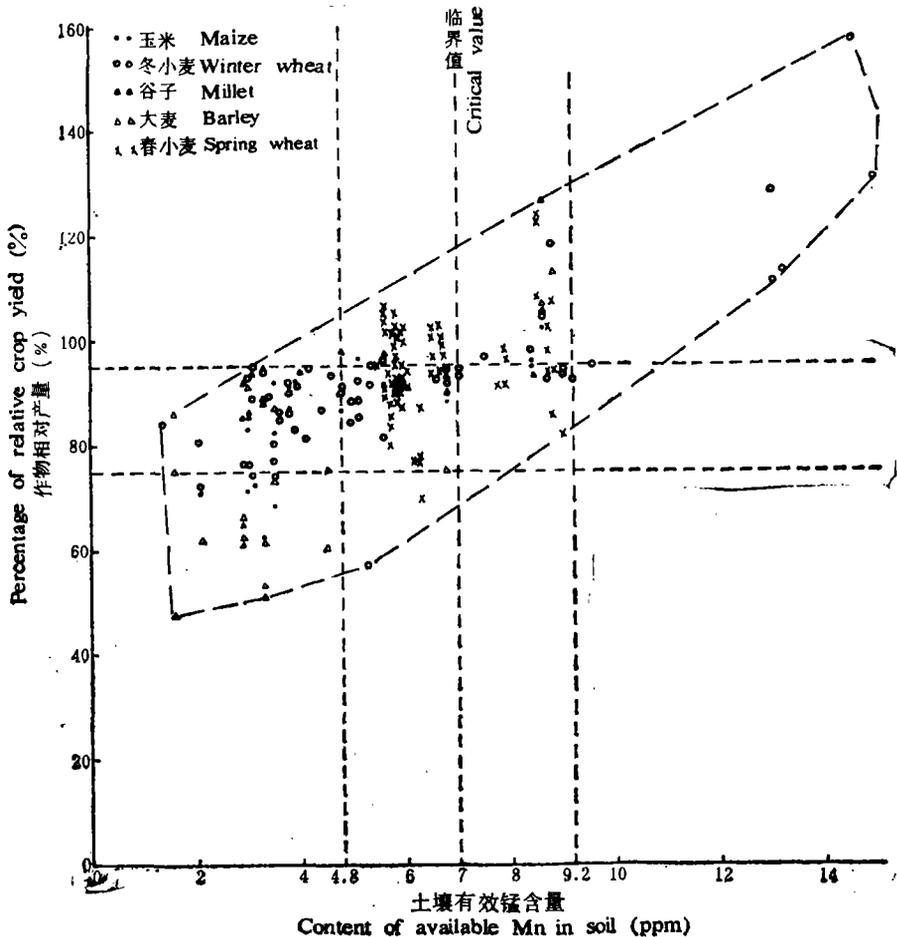


图 3 土壤有效锰 (DTPA-Mn) 与作物相对产量的关系

Fig. 3 Relationship between content of available Mn in soil and percentage of relative crop yields

在有效锰不同含量的土壤上进行小麦、大麦、玉米、谷子施锰的田间 (85 组) 和盆栽 (85 组) 试验结果 (图 3) 表明,土壤有效锰含量( $x$ , ppm)与作物相对产量( $y$ , %)的回归方程为:  $y = 75.45 + 2.65x$ ,  $r = 0.536$ ,  $P < 0.1\%$ , 呈极显著正相关。若以相对产量低于 95% 或增产率大于 5% 作为作物施锰增产标准, 则可按相对产量将土壤有效锰含量分为四级 (表 2, 图 3)。土壤有效锰含量低于 4.8ppm 为“很低”, 作物施用锰肥均表现增产效

表 2 土壤有效锰含量分级

Table 2 Gradation of content of available Mn in soil

土壤有效锰分级 Grades	土壤有效锰含量 (Mn-ppm) Content of soil available Mn	统计样本组数 No. of samples	相对产量*(%) Relative crop yield			平均增产率(%) Average rate of yield increased	增产机率(%) Probability of yield increased
			最低 Lowest	最高 Highest	平均 Mean		
很低 Very low	<4.8	64	48.0	95.0	80.1	24.8	100.0
低 Low	4.8—7.0	68	57.5	106.1	91.9	8.8	79.4
中 Medium	7.0—9.2	31	80.8	126.4	99.1	0.9	35.5
高 High	>9.2	7	95.0	157.0	125.3	-20.2	0.0

\* 相对产量% =  $\frac{\text{对照产量}}{\text{施锰处理产量}} \times 100$ 。

表 3 土壤有效锰与作物相对产量的关系

Table 3 Relationship between content of soil available Mn and relative crop yield

作物 Crops	试验组数 No. of experiment	迴 归 方 程 Regression equation	相关系数 (r) Correlation coefficients	作物相对产量为 95%时土壤有效 锰含量 Content of soil available Mn while relative yield is 95%
小麦 Wheat	34	$y = 73.44 + 3.12x$	0.839**	6.9
大麦 Barley	17	$y = 46.67 + 6.41x$	0.748**	7.5
玉米 Maize	17	$y = 65.12 + 4.16x$	0.733**	7.2
谷子 Millet	17	$y = 69.05 + 4.73x$	0.723**	5.5

果,其中相对产量在75%以下或施锰增产率在33.3%以上的占1/3。当有效锰为1.6ppm时,相对产量只48%,在这类土壤上,不施锰肥则不能获得50%的相对产量,施用锰肥,作物可增产一倍以上。土壤有效锰含量4.8—7.0为“低”,施用锰肥大多增产,增产机率为79.4%,相对产量大多在75—95%之间,施锰平均增产率为8.8%;土壤有效锰含量7.0—9.2ppm为“中”,施用锰肥大多不增产,增产机率只占1/3强,相对产量大多在95%以上;土壤有效锰含量大于9.2ppm为“高”,施用锰肥均未表现增产作用,当土壤有效锰为14.5ppm和25.0ppm,相对产量为142.5%和157.0%,土壤有效锰含量“很高”,在这类土壤上不宜施用锰肥,若施用锰肥过多,则往往造成减产。

土壤有效锰含量(x, ppm)与不同作物相对产量也呈极显著正相关(表3),按各种作物迴归方程计算,作物相对产量低于95%时,土壤有效锰含量将低于5.5—7.5ppm。

采用多元迴归分析作物施锰的增产效果与土壤有效锰含量以及其它农化性质的关系。多元迴归方程为:

$$y = 18.68x_1 + 5.58x_2 - 3.47x_3 - 1.45x_4 - 255.8x_5 - 0.16x_6 - 92.31$$

$$(R = 0.668^{**}, F = 12.33^{**}, n = 99)$$

式中:  $y$  为作物施锰的增产率(%),  $x_1$  为土壤 pH,  $x_2$  为土壤有机质含量(%),  $x_3$  为土壤有效锰含量 (ppm),  $x_4$  为土壤碳酸钙含量(%),  $x_5$  为土壤全氮含量(%),  $x_6$  为土壤有效磷含量 (ppm)。各因子的偏迴归平方和( $T$ ) 依次为: 土壤有效锰含量 ( $T$  值为  $-6.63^{**}$ , 达极显著平准)  $>$   $\text{CaCO}_3$  ( $-2.30^*$ )  $>$  pH (1.50)  $>$  全氮 ( $-0.80$ )  $>$  有机质 (0.24)  $>$  有效磷 ( $-0.11$ )。可见, 土壤有效锰含量是影响作物施用锰肥效果的主要因素, 土壤  $\text{CaCO}_3$  含量对锰肥肥效有一定影响, 由于试验各处理均施入一定的氮、磷肥, 因而土壤氮、磷含量对锰肥效果未现明显影响。

### (三) 土壤有效锰(DTPA-Mn)与易还原态锰的关系

有些研究者<sup>[1,4]</sup> 常以含对苯二酚的醋酸铵液提取的易还原态锰多寡来衡量土壤供锰的能力。DTPA 浸提的螯合态锰是模拟植物根对锰的吸收和根际土壤对锰的补充, 亦可作为土壤有效锰的指标。为了比较这两种不同形态锰的性质, 对二者与土壤的一些农化性质进行了相关分析, 对黄土区 7 种土壤测定结果表明, 易还原态锰及 DTPA-Mn 与土壤 pH、 $\text{CaCO}_3$  均呈极显著负相关(易还原态锰的相关系数  $r$  分别为  $-0.495^{**}$  和  $-0.707^{**}$ , DTPA-Mn 分别为  $-0.679^{**}$  和  $-0.401^{**}$ ), 与有机质及全锰均呈极显著正相关(易还原态锰的相关系数  $r$  为  $0.300^{**}$  和  $0.370^{**}$ , DTPA-Mn 分别为  $0.520^{**}$  和  $0.495^{**}$ )。二者与土壤农化性质相关的规律完全一致。

从黄土区土壤中锰的含量分布来看, 土壤易还原态锰从区内西北向东南逐步增高<sup>[7]</sup>, DTPA-Mn 也依同一方向增高, 二者呈平行分布<sup>[3]</sup>。228 个土样测定结果表明, DTPA-Mn ( $y$ ) 与易还原态锰( $x$ ) 的迴归方程为:  $y = 2.46 + 0.054x$ , 呈极显著正相关( $r = 0.760^{**}$ )。

一般以易还原态锰 100ppm 为土壤缺锰临界值<sup>[2]</sup>, 从表 4 所列各类土壤的迴归方程计算, 易还原态锰为 100ppm 时, DTPA-Mn 为 5.8—8.6 ppm, 其中灌淤土与绿洲土较高, 塋土与黑垆土次之, 黄绵土又次之, 风沙土与灰钙土较低。

## 三、结 语

为进一步评价土壤有效锰 (DTPA-Mn) 的应用意义及探讨其临界值, 在黄土区多种土壤上进行施锰生物反应的田间与盆栽试验以及土壤、植株分析。研究结果表明, 土壤有效锰 (DTPA-Mn) 含量与土壤施入锰量、植株摄取锰量、土壤易还原态锰含量均呈极显著正相关。在黄土区不同土壤条件下, 它的含量是土壤中影响锰肥效果的主要因素, 与施锰生物反应关系十分密切, 含量愈低, 施锰效果愈高, 因而 DTPA 浸提的锰可以准确反映土壤的供锰能力, 能够成为土壤有效锰指标, 该指标在黄土区土壤上可以应用。

根据生物反应试验的结果, 可将土壤有效锰 (DTPA-Mn) 分为四级,  $< 4.8$ ppm 为很低,  $4.8—7.0$  ppm 为低,  $7.0—9.2$ ppm 为中,  $> 9.2$  ppm 为高。至于土壤缺锰临界值, 则往往因作物、土壤不同而异, 不同作物的临界值变化于 5.5ppm 至 7.5ppm 之间, 不同土壤变化

于 5.8ppm 至 8.6ppm 之间。因此,我们初步认为,一般可以 7ppm 作为土壤缺锰临界值,7—9 作为边缘值;对肥力水平较低的土壤,则可以 5ppm 作为土壤缺锰临界值,5—9ppm 作为边缘值。

表 4 土壤有效锰 (DTPA-Mn) 与易还原态锰的相关分析

Table 4 Regression analysis for the available Mn and easily reducible Mn in soil

土 壤 Soil	统计土样数(n) No. of samples	土壤有效锰 (DTPA-Mn) 平均值 (ppm)( $\bar{y}$ ) Available Mn	土壤易还原态锰平均值 (ppm)( $\bar{x}$ ) Easily reducible Mn	相关系数 (r) Correlation coefficient	回归方程 Regression equation	当易还原态锰为 100ppm 时有效锰(DTPA-Mn)含量 (ppm) Content of soil available Mn while easily reducible Mn is 100 ppm
风沙土 Aeolian sandy soil	8	4.1	68	0.966**	$y = 0.11 + 0.057x$	5.8
灰钙土 Sierozem	17	3.9	47	0.632**	$y = 1.36 + 0.055x$	6.8
黄绵土 Cultivated loessial soil	60	6.7	83	0.580**	$y = 0.31 + 0.077x$	8.0
黑垆土 Dark loessial soil	41	8.7	106	0.507**	$y = 3.19 + 0.052x$	8.4
垆土 Manured loessial soil	70	9.8	162	0.602**	$y = 3.91 + 0.045x$	8.4
灌淤土 Irrigated warped soil	12	9.2	108	0.799**	$y = 0.45 + 0.081x$	8.6
绿洲土 Oasis soil	20	7.2	71	0.831**	$y = 3.72 + 0.049x$	8.6

## 参 考 文 献

- [1] 刘铮、朱其清、唐丽华、徐俊祥、尹楚良, 1982: 我国缺乏微量元素的土壤及其区域分布。土壤学报, 第 19 卷 3 期, 209—223 页。
- [2] 余存祖、刘耀宏、彭琳, 1979: 原子吸收法测定黄土区土壤中锌、锰、铜、铁的研讨。土壤通报, 第 6 期, 30—33 页。
- [3] 余存祖、彭琳、彭祥林、戴鸣钧、刘耀宏, 1982: 黄土区土壤锰素状况与分区。陕西农业科学, 第 4 期, 30—32 页。
- [4] 吴镇麒、邝安琪、姚乃华、杨永清、卞以洁, 1982: 上海土壤中微量元素的含量与分布的研究。土壤学报, 第 19 卷 2 期, 173—183 页。
- [5] 周起如、孙祖琰、孙全先、刘秀珍, 1980: 温度对 DTPA 提取土壤铁锰铜锌的影响。土壤肥料, 第 5 期, 40—41 页。
- [6] 徐巧娣, 1982: DTPA 法测定水稻土中微量元素的研究。土壤肥料, 第 4 期, 38—39 页。
- [7] 彭琳、彭祥林、余存祖、刘耀宏、戴鸣钧, 1981: 黄土区土壤锰的含量与锰肥肥效。土壤通报, 第 6 期, 16—20 页。
- [8] Finck, A. 1960: Principles and problems of the chemical estimations of the supply of available soil manganese. Plant and Soil, 13:39—46.
- [9] Lindsay, W.L., and Norvell, W. A., 1978: Development of a DTPA soil test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. Soil Sci Soc. Amer. J, 42:421—428.
- [10] Mederski, H.J, and Wilson, J.H., 1955: Effect of soil temperature and moisture on manganese absorption by soybean plant. Soil Sci. Soc. Amer.Proc, 19:461—464.

## EVALUATION OF AVAILABLE-Mn (DTPA-Mn) IN LOESSAL SOILS AND DISCUSSION OF ITS CRITICAL LEVEL

Yu Cunzu, Peng Lin, Peng Xianglin, Dai Mingjun and Liu Yaohong

*(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica)*

### Summary

This paper deals with evaluation of the practical significance of soil available Mn (DTPA-Mn) and the discussion of critical level. Pot and field experiments for the response of crops to manganese fertilizer on 18 loessial soils in which DTPA-Mn ranged from 1.6—25 ppm were conducted. Results of experiments showed that the content of soil available Mn (DTPA-Mn) was significantly positively correlated with dose of manganese fertilizer, Mn concentration of crops, amount of Mn absorbed by crops and the content of easily reducible Mn in soil. Among soil chemical properties the content of available Mn extracted by DTPA solution was the most important factor that influenced the effect of manganese fertilizer.

The lower the amount of available Mn in soil, the better the response of the crop to manganese fertilizer. For this reason it is considered that the level of soil available Mn extracted by DTPA solution may indicate the supplying capacity of manganese in soil, and consequently it may be used as the index of available Mn in soils of loess region.

The soil DTPA-Mn has been divided into four levels in accordance with the response of crops to manganese fertilizer, i.e. the very low level of 4.8 ppm, the low level of 4.8—7.0 ppm, the medium level of 7.0—9.2 ppm and the high level of 9.2 ppm. The critical level of soil DTPA-Mn varied with different crops and soils. It ranged from 5.5—7.5 ppm for different crops and 5.8—8.6 ppm for different soils. It is suggested that 7 ppm and 7—9 ppm might be used as the critical level and the range of critical levels for the soils under general condition, and 5 ppm and 5—9 ppm for the soils with lower fertility.