

# 我国缺乏微量元素的土壤及其区域分布

刘铮、朱其清、唐丽华、徐俊祥、尹楚良

(中国科学院南京土壤研究所)

微量元素指土壤中含有量很低的化学元素。有的微量元素是植物正常生长和生活所不可缺少的营养元素。土壤是微量元素的主要给源。土壤中微量元素供给不足而不能满足植物需要的原因有二：1. 土壤中微量元素含量偏低；2. 土壤中的微量元素处于不能为植物吸收利用的状态。前者由土壤类型决定，后者是土壤条件的影响。在土壤中微量元素供给不足时，施用微量元素肥料是有力的增产措施，目前，土壤中微量元素的研究，已成为土壤学的新的生长点之一<sup>[16]</sup>。施用微量元素肥料必须根据土壤类型和农作物的种类分区的进行。因而土壤中微量元素供给情况的研究，对于通过施用微量元素肥料来提高农作物产量有重要意义。土壤微量元素的含量和分布有其特殊的规律，这些规律便是施用微

表1 土壤有效态微量元素的分级和评价指标

Table 1 The criteria of gradation and evaluation of available trace elements in soils (ppm)

元素 Element	很低 Very low	低 Low	中等 Medium	高 High	很高 Very high	临界值 Critical value	提取剂 Extractant
水溶态硼 Water-soluble B	<0.25	0.25—0.50	0.51—1.00	1.01—2.00	>2.00	0.50	沸水 Boiling water
有效态钼 Available Mo	<0.10	0.10—0.15	0.16—0.20	0.21—0.30	>0.30	0.15	草酸+草酸铵 pH3.3 Oxalic acid + NH <sub>4</sub> oxalate
代换态锰 Exchangeable Mn	<1.0	1.0—2.0	2.1—3.0	3.1—5.0	>5.0	3.0	1N HOAc + NH <sub>4</sub> OAc pH 7
易还原态锰 Easily reducible Mn	<50	50—100	101—200	201—300	>300	100	1N HOAc + NH <sub>4</sub> OAc pH7 + 0.2% C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (OH)
有效态锌* Available Zn	<1.0	1.0—1.5	1.6—3.0	3.1—5.0	>5.0	1.5	0.1N HCl DTPA + CaCl <sub>2</sub> + TEA
有效态锌** Available Zn	<0.5	0.5—1.0	1.1—2.0	2.1—5.0	>5.0	0.5	pH 7.3
有效态铜* Available Cu	<1.0	1.0—2.0	2.1—4.0	4.1—6.0	>6.0	2.0	0.1N HCl DTPA + CaCl <sub>2</sub> + TEA
有效态铜** Available Cu	<0.1	0.1—0.2	0.3—1.0	1.1—1.8	>1.8	0.2	pH 7.3

注：\* 适用于酸性土壤。\* For acid soils.

\*\* 适用于石灰性土壤。\*\* For calcareous soils.

量元素肥料的科学依据。此外，动物食用这些微量元素含量不正常的植物，也会影响健康，患有种种特殊的疾病。可以认为微量元素在土壤、植物和动物之间存在着密切的关系。针对上述情况，本文讨论我国土壤中几种主要微量元素的缺乏情况及其区域分布，所包括的微量元素有硼、钼、锰、锌、铜五种。我国土壤中这些微量元素的含量已见前文<sup>[1]</sup>。有效态微量元素的提取剂和评价指标见表 1。此外，按土类搜集土壤标本进行化学分析，根据分析结果，以一千万分之一的全国土壤图作为底图，以土类为单位填制有效态微量元素分布图，并缩制成缺乏微量元素的土壤的分布图。现根据缺乏微量元素的土壤分布图和各地历年的田间试验结果，对我国缺乏微量元素的土壤的区域分布作如下的讨论。

### 一、 硼

我国土壤的全硼含量为痕迹—500 ppm，平均含量为 64 ppm<sup>[4]</sup>。全硼含量的变幅很大，除了土壤类型的差异以外，还受成土母质的影响<sup>[2,3,21]</sup>，例如花岗岩及其他火成岩、砂岩、片麻岩所形成的土壤的全硼含量都比较低，常属于缺硼土壤。

对植物有效态硼以水溶态硼表示，缺硼的临界含量为 0.50 ppm，少于 0.50ppm 时为缺硼，对缺硼敏感的农作物可能对硼肥有反应；少于 0.25ppm 时为严重缺硼，这些农作物可能有可见的缺硼症状。在上述的两种情况下，应当考虑施用硼肥。

我国土壤根据水溶态硼含量可区分成两个地区。一个是西部的内陆地区，含量比较丰富或十分丰富；另一个是东部地区，是低硼和缺硼地区。我国缺硼土壤分布图见图 1。

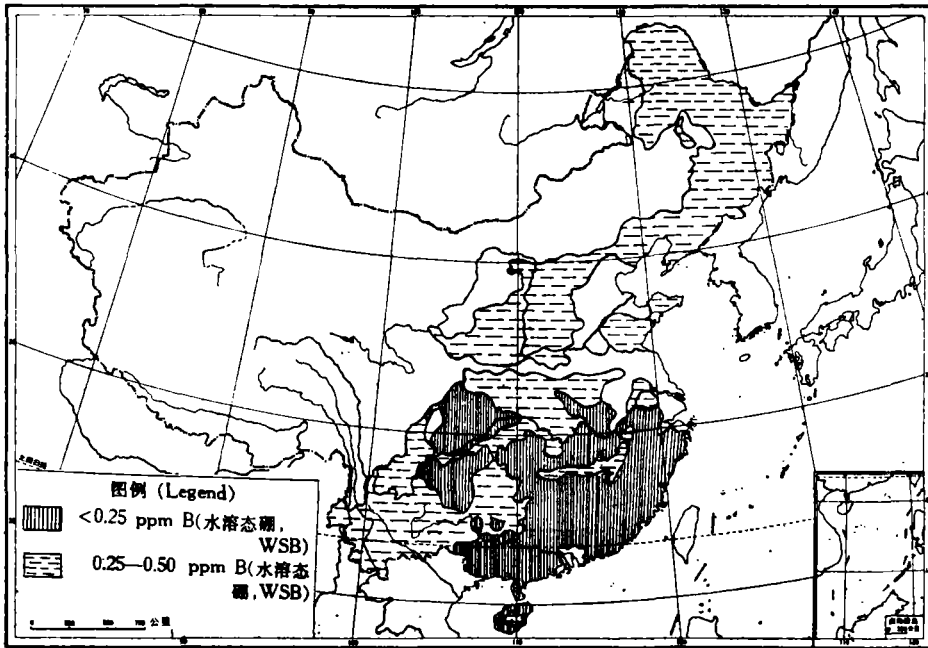
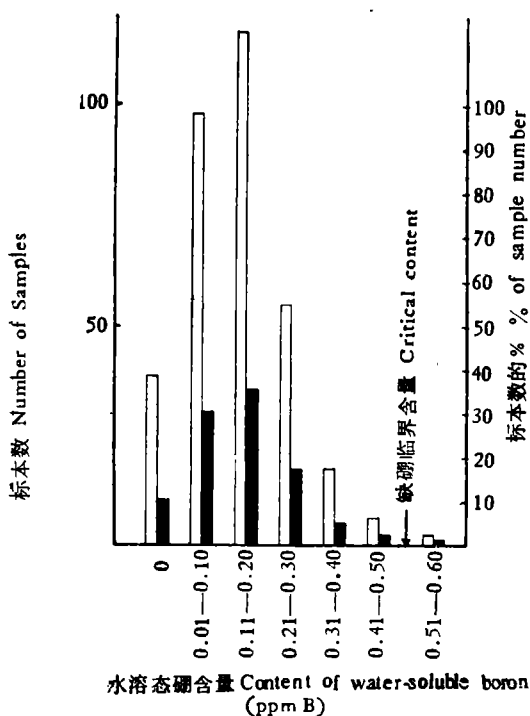


图 1 缺硼土壤分布图

Fig. 1 Distribution of boron-deficient soils in China

我国的低硼和缺硼地区主要有二。在南方是红壤区,包括砖红壤、砖红壤性红壤、红壤、黄壤和紫色土等。这些土壤的全硼含量因成土母质而有很大差异。花岗岩及其他酸性火成岩、砂岩、片麻岩的含硼量较低,所形成的土壤的全硼和水溶态硼都偏低。这些土壤分布在广东、福建、江西南部及西北部和浙江西部等地。施用石灰更加重了硼的缺乏。北方的缺硼土壤主要是黄土和黄河冲积物发育的土壤,包括绵土、垆土、黄潮土等,褐土、棕壤和暗棕壤也可能缺硼。黄土的全硼含量属于中等,所含的硼主要存在于电气石中。由于电气石极难风化,其中的硼不易释放出来,所发育成的土壤中酸不溶态硼很多,而水溶态硼则较少。黄河冲积物所发育的土壤有相似的情况。这些缺硼土壤分布于黄土高原和华北平原。不过在含有盐分的土壤中则含硼十分丰富,所以黄潮土在图 1 中未曾划作缺硼土壤,实际上应作为复区处理,是否缺硼视是否含有盐分而定。

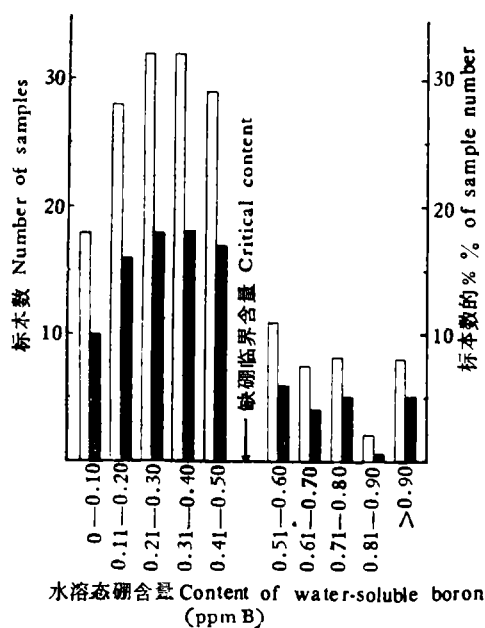
上述两类主要缺硼土壤的水溶态硼含量可用图 2 和图 3 来说明。图 2 是红壤中水溶态硼含量分级和所折合的百分数,在所分析的 325 个表土标本中,水溶态硼少于 0.50ppm 即属于缺硼范围的占 99%,少于 0.25 ppm 即严重缺硼的占 87%。图 3 是黄土及黄河冲积物发育的土壤中的水溶态硼含量,少于 0.50ppm 的占 59%。



注: □ 为标本数 ■ 为标本数%

图 2 红壤中水溶态硼含量(标本数: 325;表土)

Fig. 2 Content of water-soluble boron in red earth (No. of samples: 325, surface soil)



注: □ 为标本数 ■ 为标本数%

图 3 黄土及黄河冲积物发育的土壤中水溶态硼含量(标本数: 175;表土)

Fig. 3 Content of water-soluble boron in soils derived from loess and alluvium of the Yellow River (No. of samples: 175, surface soil)

此外,分布面积较小的缺硼土壤有大别山南北两麓由花岗岩、花岗片麻岩发育而成

的黄棕壤、黄褐土等,包括湖北东北部、河南东南部、安徽西部等地,并沿汉水上溯到陕西南部。排水不良的草甸土和白浆土往往发生严重缺硼现象,分布于黑龙江东部和中部以及内蒙东部,面积有待调查。在我国南方的面积广大的酸性土壤上,施用石灰是一项重要的农业技术措施,施用石灰使土壤 pH 值上升到 6.5 以上时,可能诱发缺硼或者加重缺硼程度。

土壤缺硼与植物种类有密切关系,而不是生长在缺硼土壤上的所有植物都会表现出缺硼,必须区别对待。在同一个缺硼土壤上,有的农作物表现出缺硼症状,产量显著的降低;有的则没有可见的症状,仅为潜在性缺硼;有的则可能生长正常。也就是说,植物对硼的需要并不相同而有很大的差异。一般的情况是十字花科、豆科植物和根用植物需硼较多,禾本科植物需硼较少。所谓土壤缺硼,是针对需硼较多的植物而言的。根据栽培试验结果可将植物区分为三类,即对硼敏感的、中等敏感的和容许量较大的<sup>[12]</sup>。容许量大的植物即高硼植物,是需硼较多的植物,当硼的供给不足时,这些植物首先出现缺硼症状,是施用硼肥的主要对象。按照土壤水溶态硼的最适含量作为标准来进行区分,可将农作物划分成三组<sup>[15]</sup>:

1. 需硼量较高的 0.50ppm 水溶态硼为最适量(有时还要高于 0.50ppm): 紫花苜蓿、三叶草、甜菜、油菜、芜菁、萝卜、石刁柏、芹菜等。
2. 需硼量中等的 0.10—0.50ppm 水溶态硼为最适量: 花生、番茄、莴苣、胡萝卜、洋葱、棉花、烟草、橄榄、桃、梨、甘蔗等。
3. 需硼量最少的 0.10ppm 水溶态硼为最适量: 谷类作物、玉米、大豆、豌豆、蚕豆、马铃薯、亚麻等。

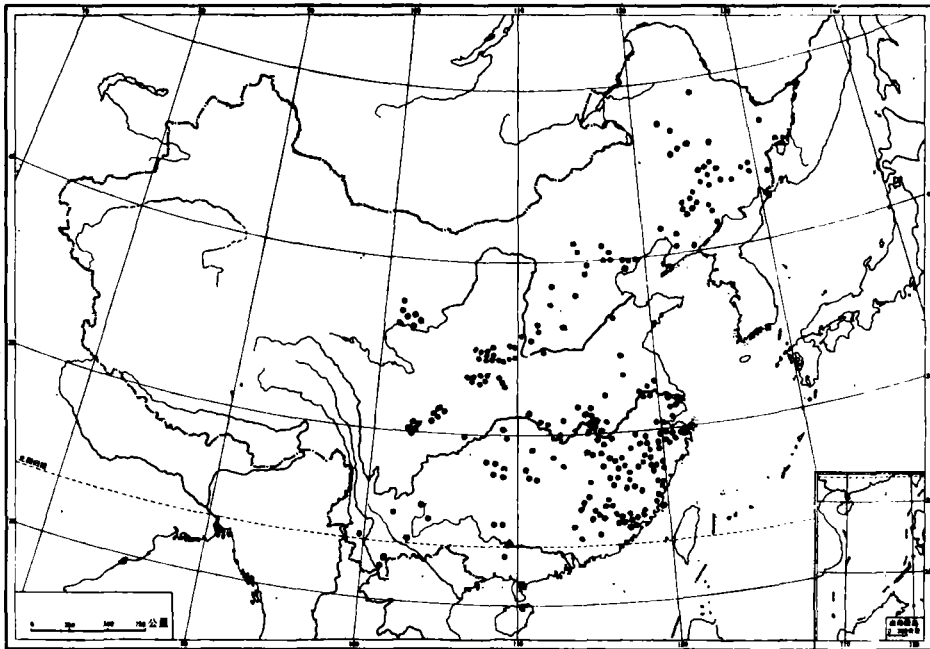


图 4 硼肥有效地点分布图

Fig.4 Localities of crop response to boron fertilizers

实际上,类似的试验所获得的结果不完全相同,例如有的将玉米、马铃薯和大麦列为需硼量中等的农作物<sup>[27]</sup>。根据我们的试验,花生和大豆对硼肥都有良好的反应<sup>[2]</sup>。而在严重缺硼时,许多需硼很少的农作物仍然会发生缺硼症状,例如我国发现大麦和小麦因缺硼引起的只开花不结实现象<sup>[9]</sup>,同时也曾发现玉米有种种缺硼症状,如果穗畸形等。

目前在我国已知的表现出缺硼症状的农作物以油菜和甜菜为最突出。在南方以甘兰型油菜只开花不结实的缺硼症状为最突出,分布在十个省的局部地区,仅浙江省便有五十多县,施用硼肥后大幅度增产<sup>[3,7]</sup>。我国近年来菜油产量成倍的增加,与硼肥的广泛施用是分不开的。在北方则以甜菜为最突出,腐心病(缺硼症状)分布十分广泛。此外,苹果、梨、桃都有缺硼的报道。这些硼肥有效地点的分布图(图4)与缺硼土壤的分布图(图1)基本相符。与其他国家相比较,美国的50个州除了6个州以外,每州至少有一种农作物发现缺硼,说明缺硼土壤的广泛分布情况;在各种农作物中最常被列为缺硼的是甜菜、花生和棉花,而对苜蓿施用的硼肥则较对其他农作物所施用的硼肥的总和还要多<sup>[23]</sup>。

缺硼地区的确定,可以根据土壤和植物的含硼量以及植物的缺硼症状来进行。当然,缺硼症状仅在严重缺乏时发生,一般的缺乏往往是潜在性的,没有可见症状,容易被忽视,而分布面积则常超过严重缺乏的场合。植物含硼量也可以用作评价指标正常植物叶片的含硼量约为40ppm(干物重),20ppm以下可视为缺硼。

## 二、钼

我国土壤的全钼含量为0.1—6ppm,平均含量为1.7ppm,绝大多数土壤的全钼含量波动于很小的范围里<sup>[1]</sup>。

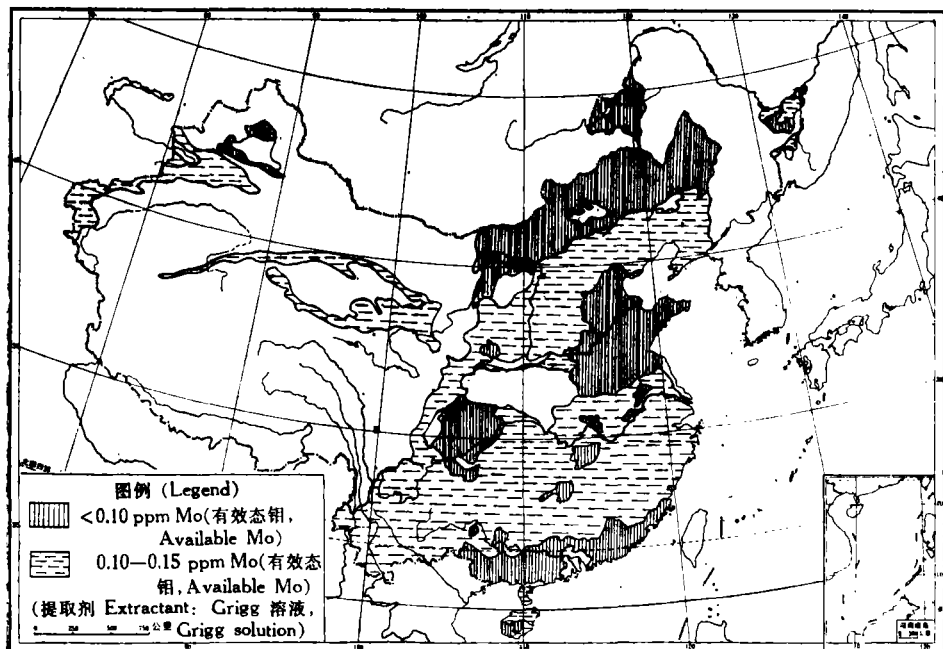


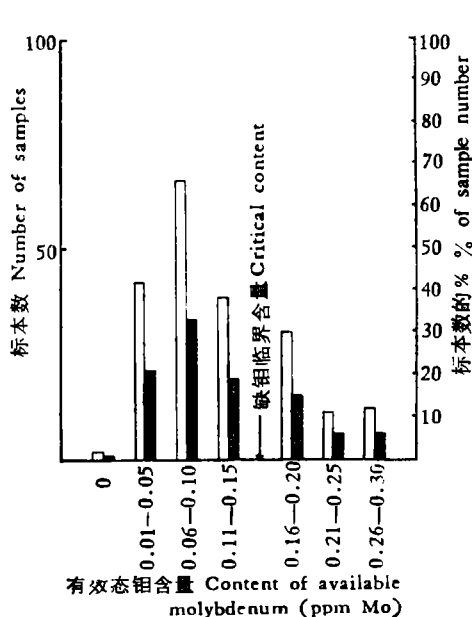
图5 缺钼土壤分布图

Fig.5 Distribution of molybdenum-deficient soils in China

对植物有效态钼以 pH3.3 的草酸-草酸铵溶液提取。缺钼的临界值为 0.15ppm。少于 0.15ppm 时,豆科植物可能对钼肥有反应。少于 0.10ppm 时为严重缺钼,豆科植物可能有缺钼症状。在上述的两种情况下,应当考虑施用钼肥。0.15—0.20ppm 为边缘值,是否需要施用钼肥视具体情况而异。上述的评价指标只是针对豆科而言的,对其他植物不一定完全适用,需要进一步的验证。根据这些评价指标所填制的我国缺钼土壤分布图见图5。

土壤中钼的可给性受酸度的影响,在酸性反应下,钼的可给性较小。土壤有效态钼以钼酸盐的形态存在,在 pH6 以下钼酸根离子被土壤矿物和三氧化物紧密的吸附固定,因而在酸性土壤上容易缺钼。所以在判断是否应当施用钼肥时,常结合土壤pH值一同考虑。

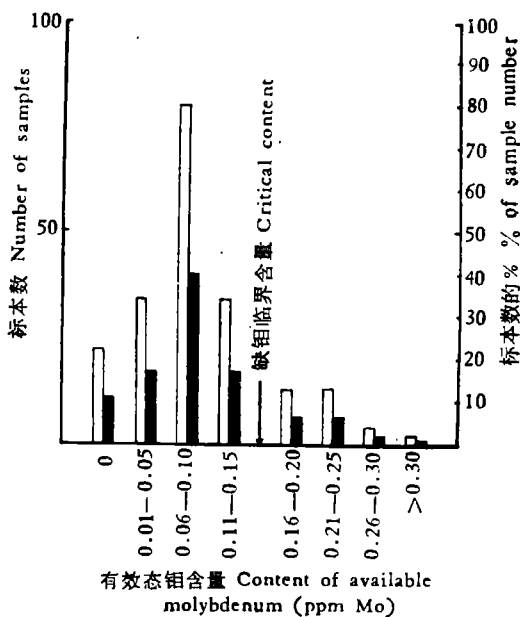
我国的低钼和缺钼地区主要有二(图 5)。南方的广大红壤区属于缺钼地区,包括砖红壤、砖红壤性红壤、红壤和黄壤等。这些土壤的全钼含量较高,尤其是花岗岩发育的土壤,但是由于可给性低,有效态钼含量也偏低。北方的石灰性土壤由于 pH 值较高,有效态钼一般是充足的,但是黄土含钼量低,黄土及黄河冲积物发育的土壤中不论全钼和有效态钼都偏低,往往需要钼肥。



注: □ 为样本数 ■ 为样本数%

图 6 红壤中有效态钼含量 (标本数: 200;表土)

Fig. 6 Content of available molybdenum in red earth (No. of samples: 200, surface soil)



注: □ 为样本数 ■ 为样本数%

图 7 黄土及黄河冲积物发育的土壤中有效态钼含量(标本数: 200;表土)

Fig. 7 Content of available molybdenum in soils derived from loess and alluvium of the Yellow River (No. of samples: 200, surface soil)

上述两种缺钼土壤的有效态钼含量可以用图 6 和图 7 来说明。在所分析的标本中, 80% 上下的标本的有效态钼少于 0.15ppm 的缺钼临界值; 0.15—0.20ppm 为边缘值, 占全部标本的 10% 上下。这种情况说明在这些土壤中有效态钼的含量是很低的, 不过这两

种缺钼土壤的缺钼原因并不相同,分别代表了两种类型。北方的缺钼土壤是成土母质(黄土)含钼量过低所造成,南方的缺钼土壤是土壤酸度的影响。这两种缺钼土壤的分布面积很广,几乎包括我国主要农业区的很大一部分。

土壤缺钼与植物种类间的关系密切,土壤缺钼只是针对需钼较多的植物而言的。也就是说,在缺钼土壤上并不是所有的植物一致的表现出缺钼或者全部需要钼肥,而是要区别对待。

钼在高等植物营养中的作用,主要是硝态氮还原作用和豆科植物的共生固氮作用。因而豆科植物对钼有特殊的需要,土壤缺钼主要是针对豆科植物而言的,所以豆科植物是施用钼肥的主要对象。在钼的供给不足时,豆科植物的根瘤生长不良,固氮能力减弱,植株表现出缺钼症状。此外,一些十字花科植物如花椰菜、卷心菜、油菜等对土壤缺钼也很敏感,缺钼时表现出“鞭尾病”等缺钼症状。谷类作物对钼的需要量则很低,除玉米以外,对钼肥一般没有显著反应,水稻更是如此。根据现有资料,对钼肥有反应的农作物如下<sup>[4,18]</sup>:

1. 大田作物 大豆、花生及其他豆科植物,包括豆科绿肥作物例如紫云英、苜蓿、三叶草等。甜菜和玉米有时也因施用钼肥而增产。

2. 果树 柑桔。

3. 蔬菜 花椰菜、卷心菜、番茄、黄瓜、莴苣、菠菜、洋葱等。

目前我国钼肥主要应用于大豆、花生和豆科绿肥作物。我国在农业中应用钼肥便是从大豆开始的。豆科绿肥作物是我国主要的有机肥源之一,钼肥使鲜草产量和氮磷含量提高,对于粮食产量和土壤肥力的提高都有重要意义。我国施用钼肥有效地点分布图(图8)与缺钼土壤分布图(图5)基本相符。

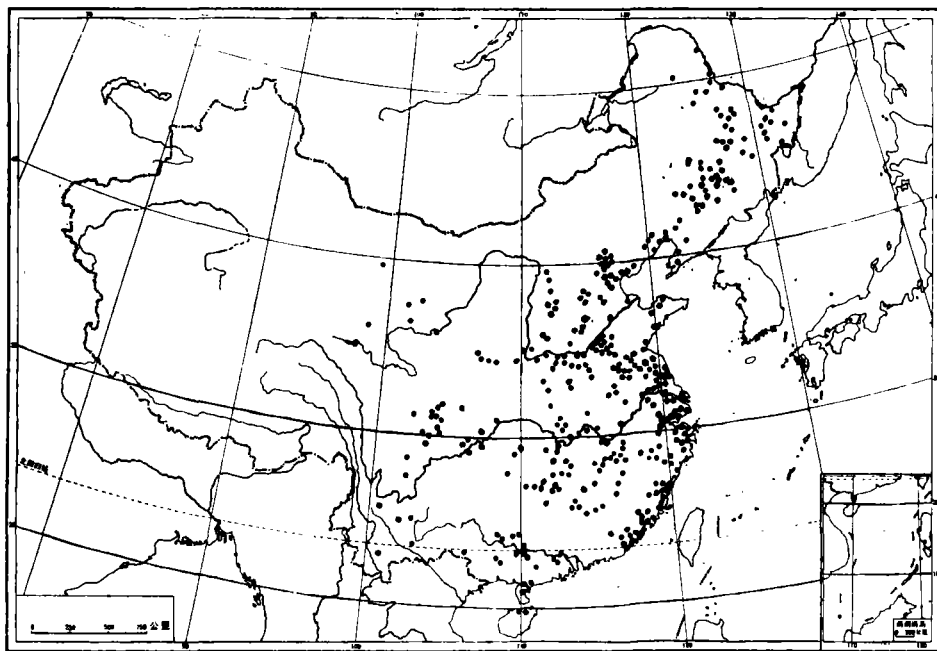


图8 钼肥有效地点分布图

Fig. 8 Localities of crop response to molybdenum-fertilizers

缺钼地区的确定可以根据植物缺钼症状、土壤与植物分析进行。豆科植物缺钼症状与缺氮相似，缺少专一性。植株含钼少于 0.10ppm (干物重) 时，常发生缺钼<sup>[10]</sup>，是很好的指标。例如美国根据豆科植物含钼量进行评价，东部地区为缺钼的，西部地区则相反<sup>[20]</sup>。

### 三、 锰

我国土壤全锰含量为 42—5000ppm，平均含量为 710ppm<sup>[1]</sup>，含量变幅很大，与土壤类型和成土母质的关系较其他微量元素为小。土壤中锰的供给情况，不是由全锰含量多寡来决定，而是可给性问题。锰的可给性受土壤条件的影响，高价锰与低价锰之间的平衡决定锰的可给性，而以酸度，氧化还原电位和质地的影响为最突出。在 pH 大于 6.5 时，在质地较轻的土壤中，通透性良好、氧化还原电位较高、使锰以高价状态存在而不易被植物吸收利用。所以缺锰多发生在质地较轻的石灰性土壤上。在酸性土壤上过量施用石灰也有诱发缺锰的可能。

对植物有效态锰以代换态锰和易还原态锰或者活性锰来表示。石灰性土壤的代换态锰少于 3ppm 时，易还原态锰少于 100ppm 时，许多作物往往缺锰。二者的总和称为活性锰。图 9 是根据活性锰含量填制的我国缺锰土壤分布图。由图 9 可知缺锰土壤分布于我国北方，与石灰性土壤的分布模式基本相似，包括绵土、瘠土、黄潮土、棕壤、褐土、栗钙土、棕钙土、灰钙土、灰漠土、棕漠土等。缺锰现象在质地较轻的土壤上最为严重，例如黄河冲积物发育的各种土壤和漠境土等，面积辽阔。

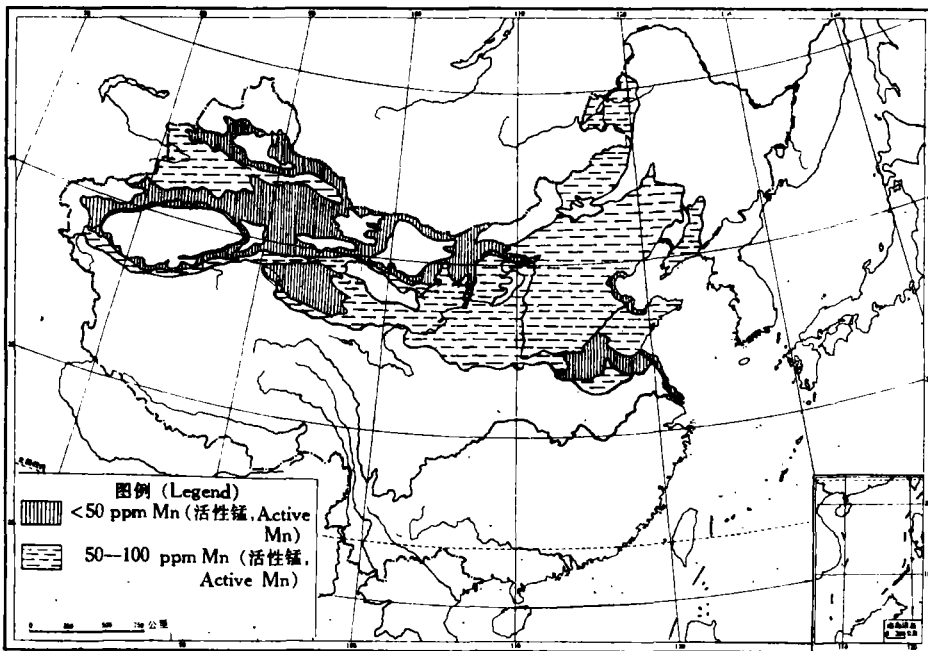
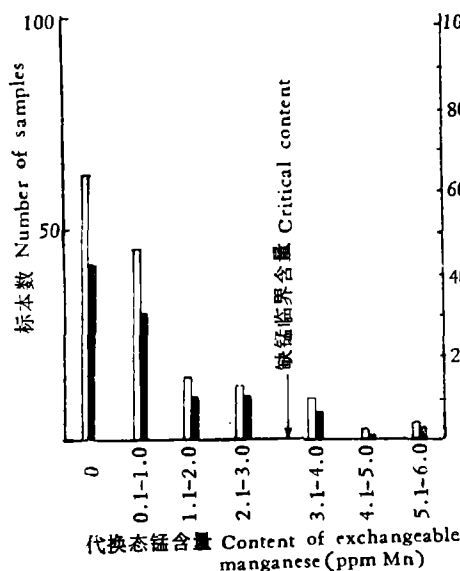


图 9 缺锰土壤分布图

Fig. 9 Distribution of manganese-deficient soils in China



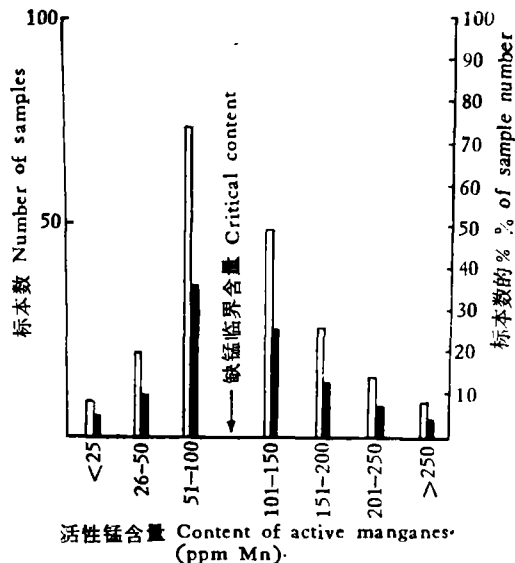
图 10 及图 11 为黄土及黄河冲积物发育的土壤的代换态锰及活性锰含量, 由图可知代换态锰不能测出的占 60% 以上, 活性锰少于 100ppm 的占 70% 以上, 说明这些土壤缺锰的严重情况, 是我国需要施用锰肥的主要土壤。



注: □ 为标本数 ■ 为标本数%

图 10 黄土及黄河冲积物发育的土壤中代换态锰含量(标本数: 200; 表土)

Fig. 10 Content of exchangeable manganese in soils derived from loess and alluvium of the Yellow River (No. of samples: 200, surface soil)



注: □ 为标本数 ■ 为标本数%

图 11 黄土及黄河冲积物发育的土壤中活性锰含量(标本数: 200; 表土)

Fig. 11 Content of active manganese in soils derived from loess and alluvium of the Yellow River (No. of samples: 200, surface soil)

对缺锰敏感的农作物非常多, 几乎包括了主要的粮、棉、油、糖作物以及果树、蔬菜等, 这是与其他微量元素不同的地方。在石灰性土壤上经常可以观察到许多植物的缺锰症状。在黄潮土的试验证实, 锰肥使小麦、玉米、棉花、花生、大豆、豌豆、紫云英、苕子、箭舌豌豆、甜菜、甘薯增产; 大面积的田间试验证实, 锰肥使小麦增产 10—20%<sup>[5]</sup>。除了上述的农作物以外, 对锰肥有良好反应的作物还有马铃薯、高粱、苜蓿和三叶草, 苹果、梨、李、桃、葡萄等果树, 以及番茄、莴苣、菠菜、芹菜、胡萝卜、萝卜、芜菁和一些十字花科蔬菜等。由于缺锰土壤面积很大, 需要锰肥的农作物又很多, 这一生产潜力是非常巨大的, 所以在我国农业上应用锰肥有广阔的前景, 有待进一步的试验、示范和推广。

#### 四、 锌

我国土壤全锌含量为 10—300ppm, 平均含量为 100ppm<sup>[1]</sup>。总的趋势是南方土壤中的锌高于北方土壤, 不论全锌和有效态锌都是如此。

有效态锌用两种提取剂提取。石灰性及中性土壤用 pH7.3 的 DTPA 溶液提取, 缺锌临界值为 0.5ppm, 0.5—1.0ppm 为边缘值, 是否缺锌视具体情况而定。酸性土壤以 0.1N

盐酸提取,缺锌临界值为 1.5ppm。根据上述的评价指标填制的我国缺锌土壤分布图见图 12。

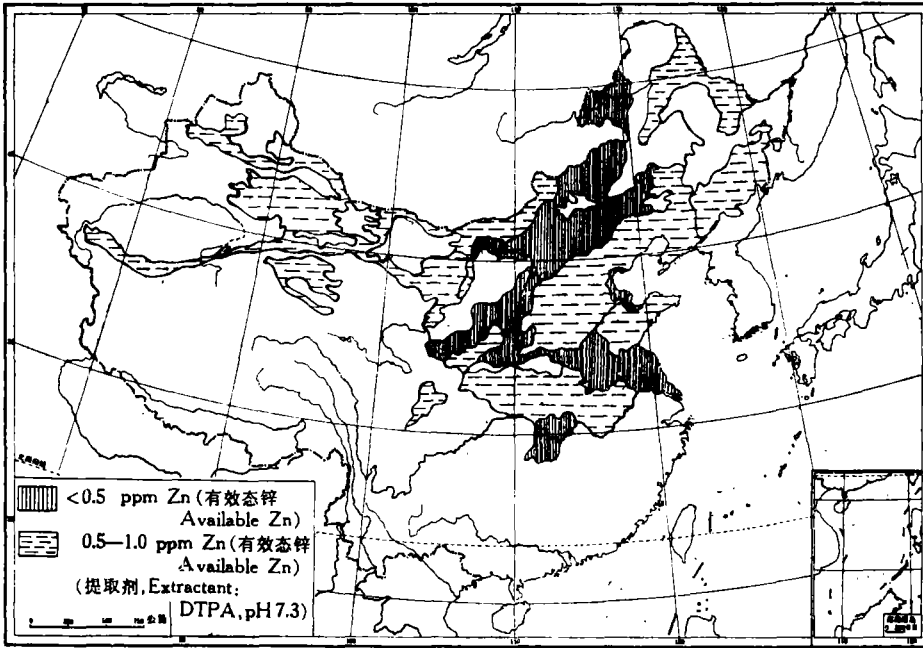
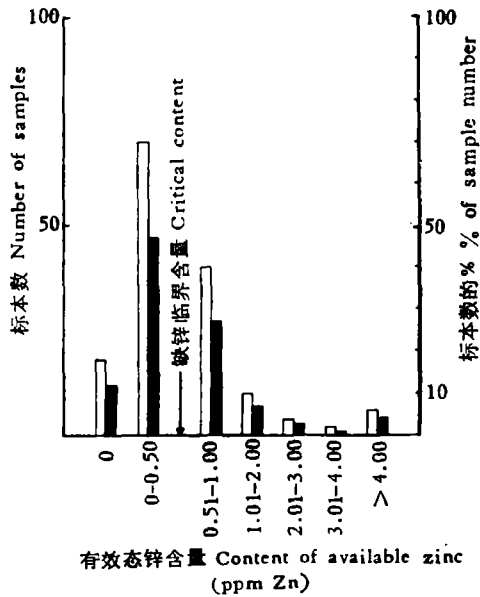


图 12 缺锌土壤分布图

Fig. 12 Distribution of zinc-deficient soils in China



注: □ 为标本数 ■ 为标本数%

图 13 黄土及黄河冲积物发育的土壤中有有效态锌含量(标本数: 150; 表土)

Fig. 13 Content of available zinc in soils derived from loess and alluvium of the Yellow River (No. of samples: 150, surface soil)

由图 12 可知缺锌土壤主要是北方的石灰性土壤(包括石灰性水稻土),例如绵土、垆土、黄潮土、褐土、棕壤、黑棕壤、栗钙土、棕钙土、灰钙土、棕漠土、灰漠土以及黑色石灰土、碳酸盐紫色土等。石灰性水稻土缺锌现象在湖北、湖南、安徽、江苏各省的北部和四川都有相当面积。图 13 是黄土和黄河冲积物发育的各种土壤的有效态锌含量,在所分析的标本中,低于缺锌临界值的占 70% 以上,可以认为是严重缺锌。

酸性土壤的有效态锌一般是适中的,可以认为供给较石灰性土壤充足,但是有的植物上仍然存在着缺锌症状,例如柑桔、油桐等。过量施用石灰也会诱发缺锌,例如云南的玉米缺锌现象等<sup>[13]</sup>。在紫色土上也发现水稻和玉米等作物缺锌<sup>[8,11]</sup>,主要表现在四川省的碳酸盐紫色土区,分布面积很广。

图 14 是施用锌肥有效地点分布图,基本是分布在石灰性土壤上。对锌肥有良好反应并且经常表现出缺锌症状的农作物主要为水稻、玉米、高粱以及多种果树,例如苹果、葡萄、桃、梨等。石灰性土壤上玉米缺锌症状十分普遍。近年来对水稻缺锌问题在各水稻种植国家引起普遍的重视,施用锌肥后水稻大幅度增产。我国有类似的情况<sup>[10]</sup>,水稻缺锌时出现僵苗现象,有的地方则称为缩苗,坐兜。在插秧后 2—4 周,叶片常出现失绿斑纹,施用锌肥后显著增产。根据现有资料,我国缺锌水稻土分布很广,可区分成三种类型<sup>[24]</sup>。

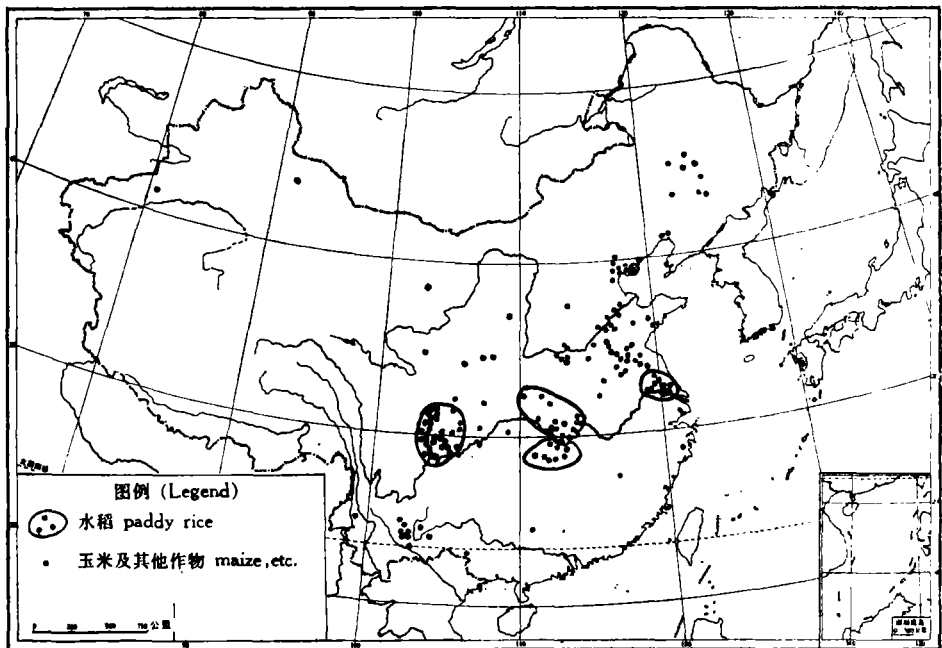


图 14 锌肥有效地点分布图

Fig. 14 Localities of crop response to zinc fertilizers

1. 石灰性及中性水稻土 例如江汉平原及湖南毗邻地区,安徽北部等地,以及四川紫色土区的水稻土。
2. 沼泽土区的水稻土 例如江苏北部沭田区的水稻土。
3. 滨海盐土区的水稻土 例如河北省柏各庄一带。

其他类型的缺锌水稻土估计是存在的,有待进一步的调查研究。

缺锌地区的确定,可以根据土壤及植物分析结果进行。土壤分析评价指标见表 1。植物叶片正常含锌量为 25—150ppm,含量少于 20ppm 时可能缺锌。缺锌症状虽然易于辨识,但植物对缺锌的敏感程度不一,应区别对待<sup>[14]</sup>。

### 五、铜

我国土壤全铜含量是 3—300ppm,平均含量是 22ppm<sup>[1]</sup>,变幅很大,但大多数土壤的含量介于 20—40ppm 间。成土母质对含量有一定影响,例如砂岩中含量较低,火成岩中含量较高,但玄武岩发育的土壤常较花岗岩发育的高出十倍以上。有机质土含铜量低,是主要的缺铜土壤。

有效态铜的提取剂与有效态锌相同。缺铜的临界值用 DTPA 溶液提取时为 0.2ppm,用 0.1N HCl 提取时为 2ppm。低于上述数值时可视为缺铜。我国缺铜土壤分布图见图 15。

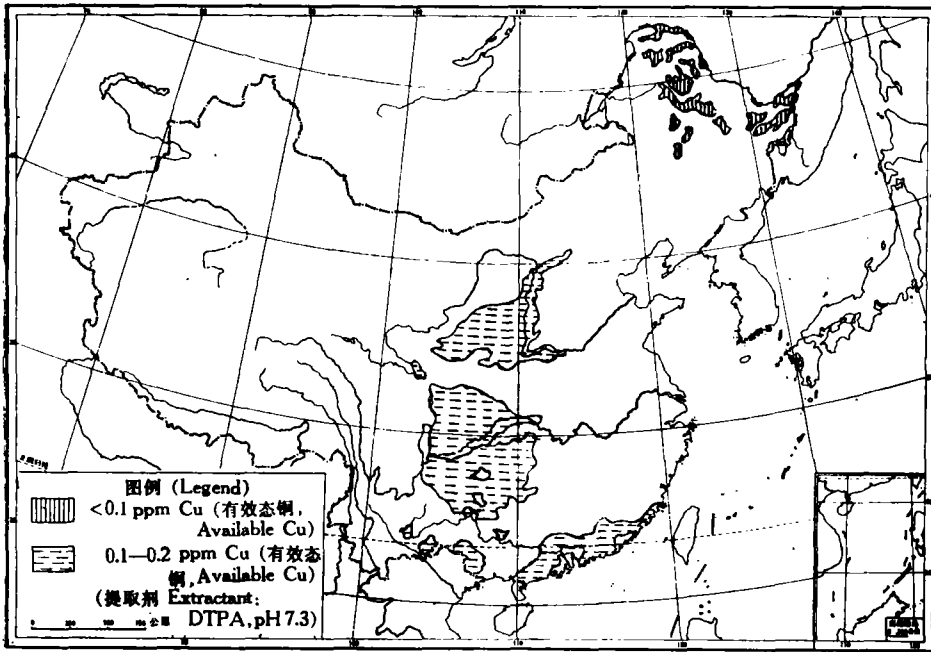


图 15 缺铜土壤分布图

Fig. 15 Distribution of copper-deficient soils in China

缺铜土壤主要是有机质土。铜与有机质紧密结合而不能为植物吸收利用。有机质土在我国分布面积较小。此外,砂土也往往缺铜。化学分析结果说明紫色土和黄壤以及花岗岩发育的砖红壤性红壤中有效态铜偏低,但是还有待田间试验验证。目前我国已在黄土发育的土壤上证实了铜肥的增产效果<sup>[12]</sup>。对缺铜敏感的农作物主要是禾本科植物,尤其是燕麦、小麦和大麦。

缺铜地区的确定可根据土壤与植物分析。缺铜症状虽然易于辨识,但是常与其他原





