

我国农业中施用微量元素的前景与分区*

刘 铮

(中国科学院南京土壤研究所)

土壤的无机部分中存在着约九十种化学元素,除十种而外,其它统称微量元素或痕量元素。而微量元素之中只有十三个元素为动物、植物或微生物所必需,一般称为“必需元素”,即硼、钼、锰、锌、铜、铁、钴、钒、铬、氟、氯、碘和硒,可能还有钡、锶、铊和溴等。铁在土壤中属于常量元素,在植物体中则属于微量元素。这些元素的含量一般为 $n \times 10^{-4} - n \times 10^{-3} \%$ 。

微量元素广泛分布于大自然之中,举凡动植物、土壤、岩石和水中都含有微量元素,其含量虽小,但对动植物的生长和生活以及人畜的健康都有重要的关系。

近年以来,我国微量元素的应用和研究,已有很大的进展,但是微量元素的应用是有选择性的,不是任何土壤上对各种农作物都可以普遍施用,而应根据土壤中微量元素供给情况和农作物的营养特性分区,以决定科学的施用方案。

我国幅员辽阔,土壤类型复杂,植物种类繁多,微量元素的应用更需要开展大量的科学研究工作。正当微量元素工作在国内兴起之时,我们认为有必要总结过去多年的工作结果和经验,明确在不同土壤上不同作物施用微量元素的情况,以便对未来的工作作出正确的估计,迅速开展微量元素的研究工作,提高农作物产量,为四化贡献力量。

一、微量元素在农业增产中的作用

提高农业产量的途径很多,重要的有两条,即农作物良种的选育和土壤的合理耕作与管理。这两种措施是相辅相成而不可偏废的。施用肥料的质和量必须充分满足作物的需要,如果施肥水平未能满足高产品种的需要,则无从发挥良种的优势而获得高额产量。施肥不仅是施用常量元素,也包括微量元素。近年来,有人把硼、钼、锰、锌、铜、铁和氯等微量元素称为“微量养分”,也就是高等植物不可缺少而需要量较小的营养元素。

植物所需的微量元素主要来自土壤。土壤中的微量元素含量不等,对植物的供给也丰缺一,并影响植物的生长和农作物的产量。当土壤微量元素供给不足时,可将所缺乏的微量元素作为肥料施用,可有效地提高农作物产量。

微量元素和其他营养元素一样,既不可缺少,也不可互相代替。氮磷钾等常量元素不能够代替微量元素,微量元素也同样地不能代替常量元素。微量元素在合理施用氮磷钾肥料的基础上,更能反映它的需要。例如甘蓝型油菜在其他肥料都满足时,缺硼可使产量很低或失收。另外,在不同的氮磷钾水平下,农作物对微量元素的反应不同。常量元素的施用水平与作物产量的提高,都会使土壤中原有的微量元素的供给水平显得不足,并使农作物对微量元素肥料产生良好的反应。

农业中应用微量元素已有五十年以上的历史。微量元素在植物生理中起着重要的作用,微量元素肥料的增产效果便是影响植物生理功能的反映。

我国于五十年代中期,首先证实钼肥对大豆的增产作用^[1],继而证实了锰、硼、锌肥的增产作用,至于铜的效果是最近才被证实的。

* 本文承熊毅教授斧正,特此致谢。

钼是固氮酶的成份,是生物固氮所必需,所以豆科植物对钼有特殊的需要,而钼肥也应首先集中使用在豆科植物上。在我国东半部,由东北到海南岛,大量的试验证实了钼肥对豆科植物的增产作用。除了大豆以外,花生、蚕豆、绿豆以及豆科绿肥作物如紫云英、苕子、苜蓿、箭舌豌豆等都因施用钼肥而增产。豆科绿肥作物的鲜草重量和氮磷含量都因施用钼肥而提高,对于粮食作物产量和土壤肥力的提高都有良好作用。可以认为,施用钼肥来提高绿肥作物的产量和质量是我国应用微量元素肥料特点之一。我国缺钼的土壤和应用钼肥的土壤面积远多于其他国家^[2]。

硼肥主要用于豆科、十字花科植物以及一些经济作物例如甜菜和棉花等。大豆、花生、蚕豆、绿豆、紫云英、苕子、油菜等都有因施用硼肥而增产的报道。在一定的条件下,禾本科植物例如水稻和小麦也对硼肥有良好反应。甘蓝型油菜因缺硼而发生只开花不结实的典型缺硼症状^[3]。这种缺硼症状分布在十多个省份,仅浙江省便有三四十个县,施用硼肥后大幅度增产。我国缺硼土壤分布面积之广,缺硼之严重和硼肥收效之大,在国际间也是少有的^[4,5]。近年来我国油菜丰收,与硼肥的应用是分不开的。甜菜是需硼很多的农作物,缺硼症状的分布地区也很广泛,合理的应用硼肥有助于食糖增产。此外,硼肥对防治棉花落铃也起了一定的作用,有利于棉花产量的提高。即或是需硼很少的小麦,在严重缺硼时,也会颗粒无收。这些情况都说明硼肥的重要性。

近年来在锌肥的应用上,取得很大的进展,主要是在石灰性土壤上(包括石灰性水稻土)提高玉米和水稻的产量。北方广泛地分布着玉米和水稻的缺锌症状^[6-8],合理施用锌肥对粮食增产将会产生巨大的作用。在湖北的江汉平原成百万亩水稻田施用锌肥而增产,便是很好的例子^[7]。自六十年代末期以来,锌肥对水稻的增产作用已引起各水稻种植国的重视,有的国家还将锌肥与氮肥和磷肥并列,称为肥料三要素。锌肥对水稻的经济效益很大,收益可高出工本六倍上下。此外,棉花、一些豆科植物和果树对锌肥也有良好反应。我国近年来对锌肥的研究工作日渐增加,说明了当前生产发展的趋势。

锰肥对粮棉油糖作物以及果树蔬菜等都有良好作用,这是与其他微量元素不同的地方。锰肥主要施用于石灰性土壤上,例如在江苏北部的黄潮土上所进行的15万亩试验证实,锰肥使小麦、玉米、花生、大豆等多种农作物增产^[9]。可以认为,在北方的主要粮食产区,锰肥的应用是值得重视的,对提高粮食产量来说有很大的潜力。

铜与植物繁殖器官的形成有密切的关系,禾本科植物对铜肥有良好反应。由于我国土壤中铜的供给比较适中,这方面的研究工作进行得很少,现已逐步展开。

铁虽然是地壳里分布得最广的元素之一,土壤中含有大量的铁,但是由于土壤条件的影响,在石灰性土壤上对植物有效态铁却往往不足,许多植物尤其是果树上出现缺铁失绿现象,影响生长和产量。不过无机铁肥的效果很小,整合态铁肥很昂贵,这一问题有待研究解决。

总如上述,我国施用微量元素已取得良好的效果,目前全国各地广泛地进行大量的试验研究,充分地说明微量元素在农业发展中有十分广阔的前景。

二、土壤中微量元素供给情况

土壤中微量元素供给不足的原因主要有二:

(1)土壤中的微量元素的含量过低;(2)土壤中微量元素的存在状态不能为植物吸收利用。微量元素的含量因土而异,微量元素的存在状态则受土壤条件的影响。所以微量元素肥料的施用除考虑作物的需肥特点外,还必须了解土壤类型和土壤条件。而土壤中微量元素供给情况的研究,显然是科学施用微量元素的基本工作之一。

土壤是一个复杂体系,贮有含量不等的各种微量元素(表1)。微量元素在土壤中含量的差异,主要受成土过程和成土母质的影响。在同一土类之中因成土母质不同,土壤中微量元素含量

可能有很大差异。图1便是一个例子，不同母质发育的赤红壤和红壤的含硼量的变幅很大，例如石灰岩、页岩和海成粘土发育的红壤，其含硼量在100ppm上下，而花岗岩、片麻岩所发育的各土壤含硼只在10ppm上下，与表1的平均含量相比较有很大的差异。但是土壤中的微量元素含量（指全量）并不能表示能够被植物吸收利用的数量。因此，微量元素的可给性（即有效性）和有效态微量元素含量的研究是十分必要的。

表 1 土壤中微量元素的平均含量(单位:ppm)

Mn 500	Li 75	Y 25	Co 5	Cd 0.5
Ba 500	Zn 50	La 25	Sn 5	Se 0.2
Zr 500	Ni 50	Cu 20	Be 5	Hg 0.1
Sr 500	Cr 50	B 15	Mo 2	Br 6
Rb 100	Ge 50	Pb 10	I 1	
V 100	F 25	As 10	Ag 1	
Al 50000				} 在生物体中为微量元素
Fe 25000				
Ti 5000				

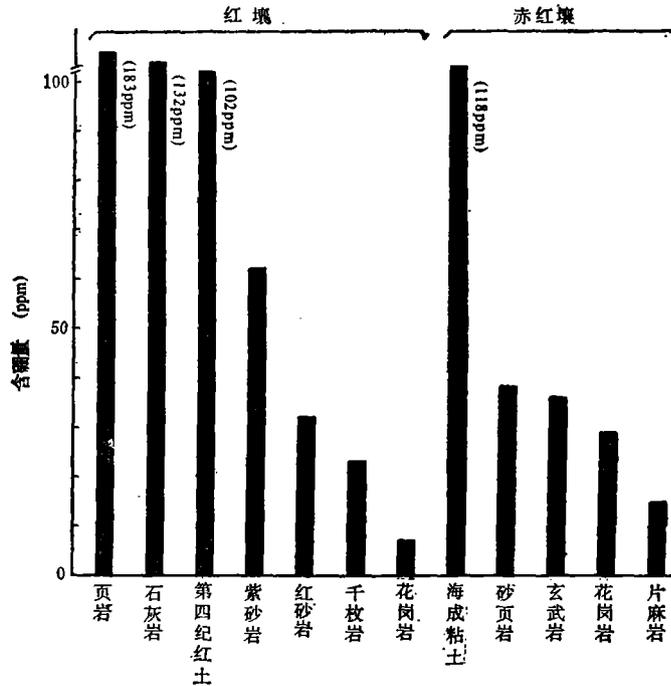


图 1 各种母质所发育的赤红壤和红壤的含硼量

土壤中微量元素的给性密切受土壤条件的影响，而以酸碱度的影响最为突出。例如水稻土中锌的给性受pH值、有机质含量、重碳酸离子和氧化还原电位的影响（图2）。pH值每上升一个单位，土壤的有效态锌降低的因数是100，碱性反应的水稻土中常发生缺锌现象。碱性或中性水

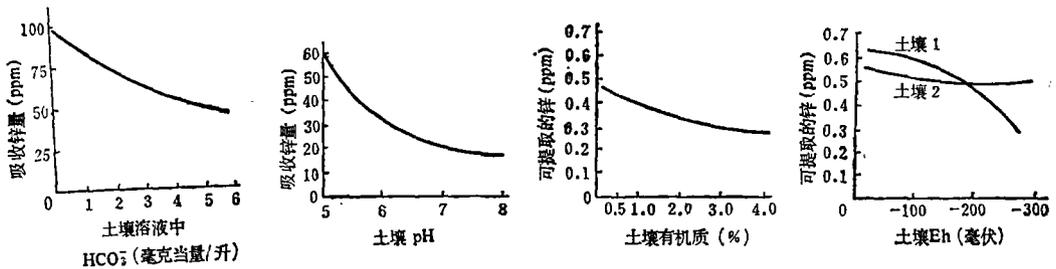


图 2 土壤条件对水稻土中锌的给性的影响

稻土中施用较多的有机肥料亦可导致严重的缺锌现象。高量的重碳酸盐和较低的氧化还原电位也常导致缺锌。土壤微量元素的供给情况虽然受土壤条件的影响,但影响各种微量元素的土壤条件是各不相同的。同时,各元素之间也会相互影响,引起缺乏现象。大量施用某种元素肥料,也会导致某种微量元素的缺乏。土壤中各元素间既有相互拮抗的作用又有相互促进的关系(图3)。最突出的是锌磷关系,土壤富含磷或者施用大量的磷肥往往会导致或加重农作物的缺锌现象。而钼磷之间则存在着相互促进的作用,两种元素同时施用的效果大于分别施用的效果,例如磷肥施用未能满足农作物的要求时,钼肥的施用效果往往表现不出来。

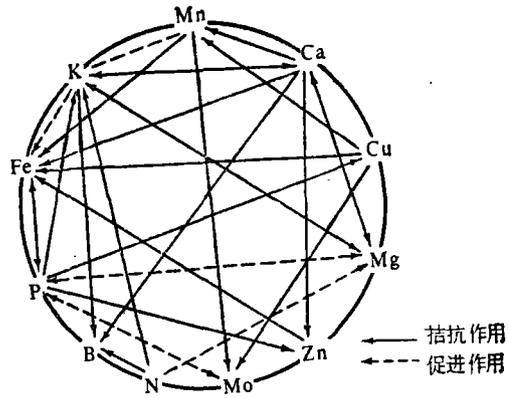


图3 营养元素间的关系

如上所述,土壤微量元素的可供性受土壤的类型和土壤条件的影响。为了明确土壤中微量元素的供给情况,常就土壤中微量元素作进一步的区分,以有效态微量元素表示对植物有效的部分。我国土壤中有效态微量元素含量图说明,除铜以外,缺乏其他微量元素的土壤分布面积很大^{[10]①},现分别简述如下。

我国缺硼土壤多分布于东半部,主要地区有二。(1)南方的缺硼红壤区,包括红壤、赤红壤、砖红壤和紫色土等。分布于福建、广东、江西南部、浙江西部和南部等地。紫色土主要分

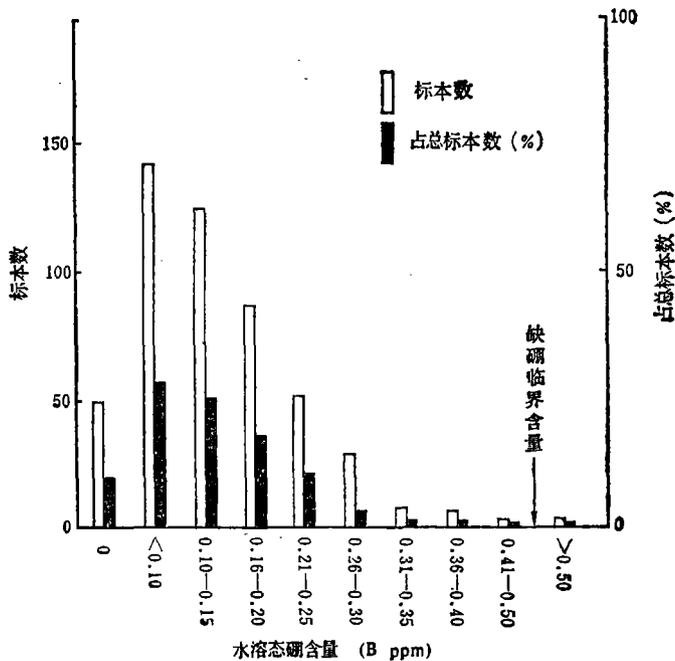


图4 红壤中水溶态硼含量的分布频率
(表土, 总标本数: 500)

① 刘铮、朱其清、唐丽华等,我国土壤微量元素含量图(未刊)。

布于四川。在这一缺硼地区中，广泛地分布着花岗岩及其他酸性火成岩、片麻岩、砂岩等，其所形成的土壤，不论全硼含量和水溶态硼含量都偏低。根据现有的分析结果，红壤中水溶态硼低于0.5ppm的缺硼临界含量的占全部分析标本的99%，严重缺硼即低于0.25ppm的标本占91%(图4)。(2)北方缺硼土壤主要是黄土和黄河冲积物所发育的各种土壤，包括壤土、绵土、黄潮土等。褐土和棕壤也可能缺硼，但在含有盐分的土壤中则含硼十分丰富。

我国缺钼地区主要分布于东半部，面积较大的缺钼地区有二。(1)南方的广大缺钼红壤区，包括红壤、赤红壤、砖红壤、黄壤、紫色土等。这些土壤全钼含量较高，但由于土壤呈酸性反应，钼的可给性降低，因而有效态钼的含量偏低。图5说明了这种情况，所分析的红壤标本中，有效态钼低于缺钼临界含量0.15ppm的占70%。在这些土壤上种植豆科植物时，钼肥效果良好。这是土壤条件影响微量元素供给的一个例子。(2)北方的黄土和黄河冲积物发育的各种土壤中不论全钼和有效态钼含量都偏低，形成另一个缺钼地区，豆科植物常需要钼肥。

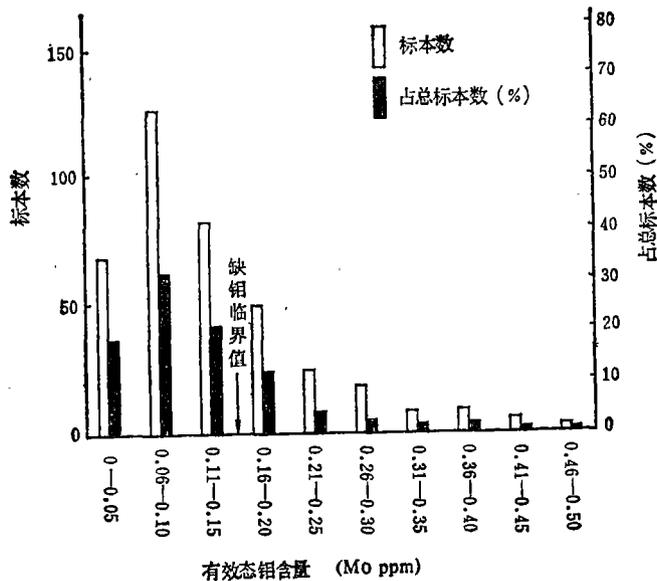


图5 红壤中有效态钼的分布频率
(表土，总标本数：400)

我国的缺锌土壤主要分布于北方的石灰性土壤，如绵土、壤土、黄潮土、褐土、棕壤土、暗棕壤、栗钙土、棕钙土、灰钙土、黑色石灰土、碳酸盐紫色土等。石灰性水稻土也常缺锌，分布于湖北、湖南、安徽、江苏等各省的北部和四川北部、中部等地。较高的pH值(>6.5)是导致缺锌的主要原因，土壤中的含锌量有时并不低。在酸性土壤上过量施用石灰也可能诱发缺锌。

缺锰和缺铁土壤的分布与缺锌土壤基本相似，但不包括水稻土。质地较轻的土壤，如黄泛区土壤和漠境土等，铁锰缺乏严重，面积亦较大。在酸性土壤上缺铁缺锰是很少见的。

总如上述，我国境内缺乏微量元素的土壤面积很大，缺硼和缺钼的土壤主要分布于东半部，但其缺乏原因各不相同，有的是因为土壤中含量偏低，有的则因土壤条件不宜所引起。缺乏锌、锰、铁的土壤主要为北方的石灰性土壤。影响土壤中微量元素的有效性，原因是多方面的，应针对农作物的需要和土壤情况分别考虑。另外，不良的耕作管理和不合理的施肥，也会引起土壤

微量元素的供给不足。例如大量施用常量元素肥料而不考虑养分平衡，过量施用石灰，平整土地而未恢复原来覆盖在表层的表土，轮作中前后作物的需肥矛盾未经解决等，都会人为造成土壤微量元素的缺乏。这些情况虽只在局部地区出现，但也应当加以注意。

三、微量元素的分区施肥

土壤缺乏微量元素的问题比较复杂，更需要科学施肥。土壤微量元素的施用量因土壤和作物而不同，过少不能满足作物的需要，过多则浪费肥料或污染土壤。为了科学地施用微量元素，必须先进行土壤分析和各种试验研究，并根据资料的详略和多少，编制不同比例尺的微量元素施肥分区图。

分区图以土壤中微量元素供给情况，主要是缺乏微量元素的土壤分布，农作物对缺乏微量元素的敏感程度和各地的微量元素肥料试验结果为依据。微量元素施肥分区暂分为三级，即微量元素显效区、有效区和可能有效区。

微量元素显效区(I)。土壤严重缺乏微量元素，对缺乏微量元素敏感的农作物上常存在着缺乏症状，施用微量元素肥料的效果显著，在图上以 I 表示。

微量元素有效区(II)。土壤缺乏微量元素，但缺乏程度低于显效区。对缺乏微量元素敏感的农作物上并不明显地出现缺乏症状，但常为潜在性缺乏，存在着组织学或生理学的异常，施用微量元素有效，在图上以 II 表示。

微量元素可能有效区(III)。根据土壤微量元素供给情况属于缺乏或严重缺乏，但田间试验较少，依据不足，有待进一步验证，在图上以(III)表示。

为了推动当前微量元素施肥工作的迅速开展，有必要把过去的文献资料归纳整理以备施肥的参考，同时亦可作为施肥分区图的素材，并且有计划和有系统的开展土壤微量元素的分析和试验研究工作，使分区工作日益完善，以致微量元素的施肥更为经济合理，农作物产量和质量都得到提高。因此现将硼、钼、锌、锰的施肥分区草图，提供参考和讨论。

(一) 硼的施肥分区图(图 6)

I-1, 南方硼显效区: 土壤中水溶态硼含量少于 0.25ppm*。包括红壤、赤红壤、黄壤、及紫色土等。特别是花岗岩及其他酸性火成岩和片麻岩所发育的土壤为最突出。需硼植物有甘蓝型油菜、棉花、大豆、花生和柑桔等，常有可见的缺硼症状。缺硼的指示植物为甘蓝型油菜。

I-2, 北方硼显效区: 土壤中水溶态硼含量少于 0.25ppm。土类有排水不良的草甸土和白浆土，分布于黑龙江省，需硼植物为小麦、大麦、玉米、大豆、甜菜等，有可见的缺硼症状，严重时绝产。缺硼的指示作物为大麦、小麦(只开花不结实)。

II-1, 南方硼有效区: 土壤中水溶态硼为 0.25—0.50ppm 主要土类为红壤、黄棕壤、石灰岩土等。需硼植物有甘蓝型油菜、棉花、花生、大豆等，一般是潜在性缺硼，无可见的缺硼症状。缺硼的指示植物为甘蓝型油菜。

II-2, 北方硼有效区: 土壤中水溶态硼为 0.25—0.50ppm。主要土类有黄绵土、壤土、褐土、棕壤、暗棕壤等。需硼植物有甘蓝型油菜、甜菜、棉花、花生、大豆等，一般为潜在性缺硼，无可见的缺硼症状。缺硼的指示植物为甘蓝型油菜和甜菜。

III, 硼可能有效区: 土壤中水溶态硼少于 0.50ppm。除含有盐分的土壤外，黄潮土、褐土、棕壤土等都属之。需硼植物有甜菜、甘蓝型油菜、棉花、花生、大豆等，一般为潜在性缺硼，无可见的缺硼症状。缺硼的指示植物为甘蓝型油菜和甜菜。

* 用沸水提取(煮沸五分钟)。

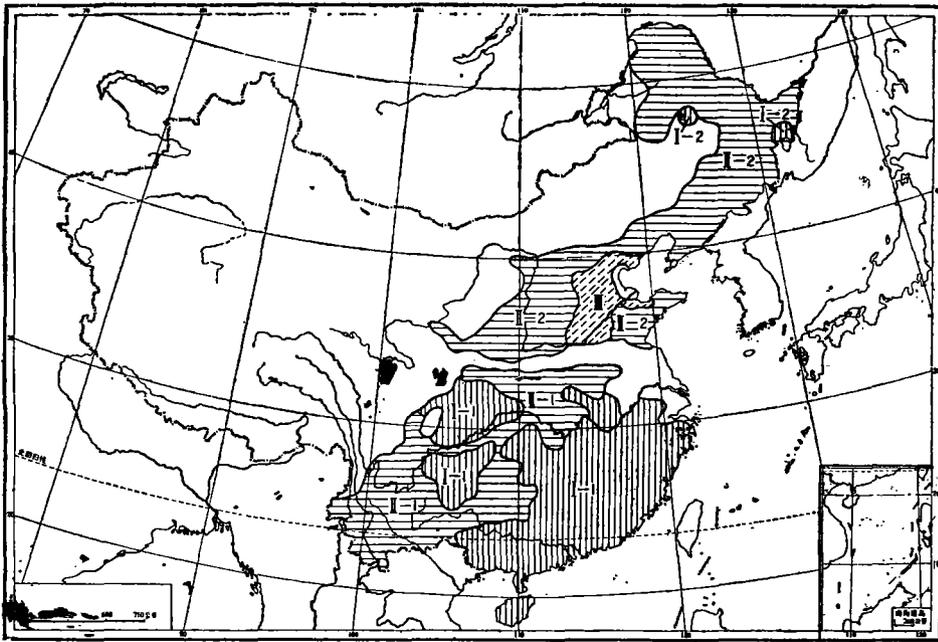


图6 硼的施肥分区图

(二) 钼的施肥分区图(图7)

I-1, 北方钼显效区; 土壤中有效态钼少于 0.10ppm^* 。土类有黄潮土、褐土、棕壤、白浆土等。需钼植物为花生, 大豆等。

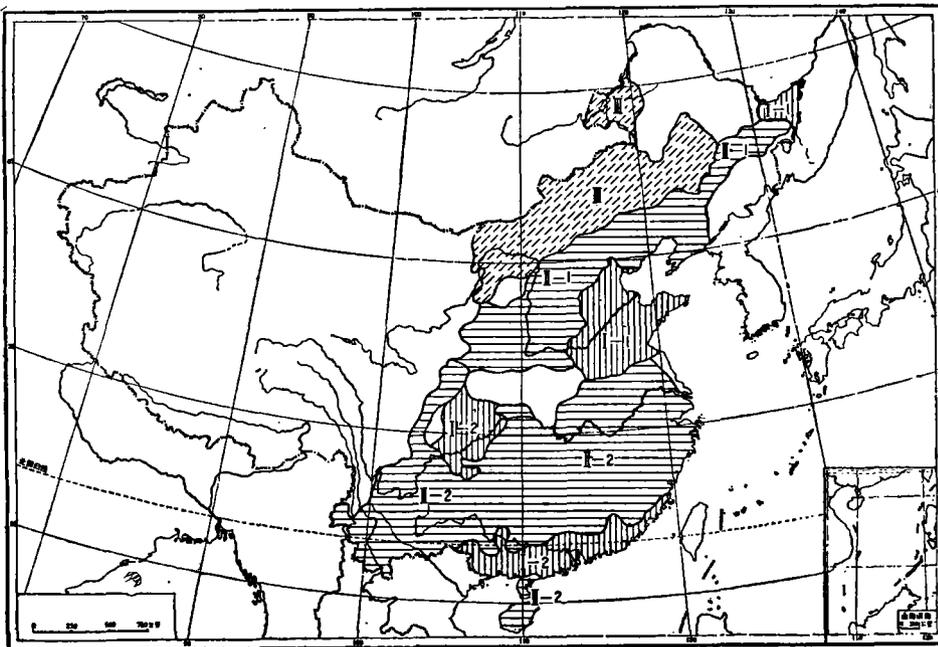


图7 钼的施肥分区图

* 用草酸-草酸铵溶液提取($\text{pH}3.3$)。

I-2, 南方钼显效区: 土壤中有有效态钼少于 0.10ppm。土类有赤红壤、紫色土等。需钼植物为花生、大豆、豆科绿肥作物。

II-1, 北方钼有效区: 土壤中有有效态钼为 0.10—0.15ppm。主要土类为黄绵土、壤土、褐土、棕壤、黑土等。需钼植物为花生、大豆等。

II-2, 南方钼有效区: 土壤中有有效态钼为 0.10—0.15ppm。土类有红壤、砖红壤、黄棕壤等。需钼植物为豆科绿肥作物、花生、大豆等。

III, 钼肥可能有效区: 土壤中有有效态钼含量低于缺钼临界值, 但目前尚缺乏田间试验作为验证。

(三) 锌的施肥分区图(图 8)

I, 锌显效区: 土壤中有有效态锌的含量低于 0.50ppm*。土类为黄潮土、黄绵土、壤土、褐土、棕壤、暗棕壤、碳酸盐紫色土和石灰性水稻土等。需锌植物有水稻、玉米、高粱、小麦、棉花、甜菜和一些豆科植物, 以及果树如苹果、梨、桃等。缺锌指示植物为玉米和水稻。

II, 锌有效区: 土壤中有有效态锌含量为 0.50—1.0ppm。土类有黄潮土、黄绵土、褐土、棕壤、黑土、黄棕壤和石灰性水稻土、紫色土区水稻土、石灰岩分布地区的水稻土等。需锌植物有水稻、玉米、高粱、小麦、棉花、甜菜和一些豆科植物以及果树例如苹果、梨、桃等。缺锌指示植物有玉米和水稻等。

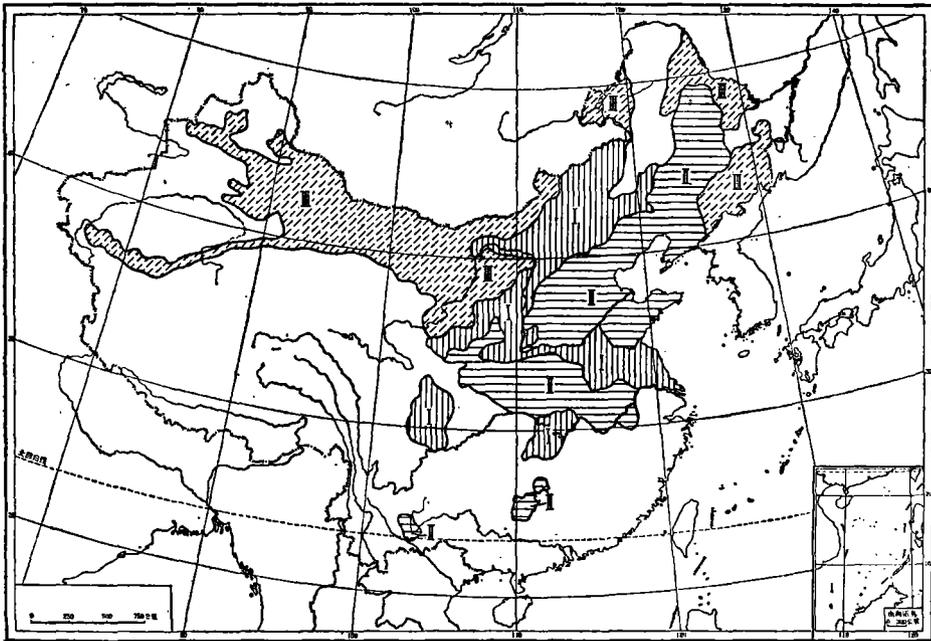


图 8 锌的施肥分区图

III, 锌可能有效区: 土壤有效态锌含量低于缺锌临界值, 但田间试验较少, 有待验证。酸性土壤的缺锌问题亦待研究, 目前仅证实柑桔有缺锌症状, 锌肥效果良好。

(四) 锰的施肥分区图(图 9)

I, 锰显效区: 土壤中活性锰少于 50ppm**, 多属黄潮土。需锰植物有小麦、大麦、燕麦、

* DTPA溶液提取, 内含三乙醇胺及氯化钙(pH7.30)。

** 用含有0.2%对苯二酚的醋酸-醋酸铵溶液提取(pH7.0)。

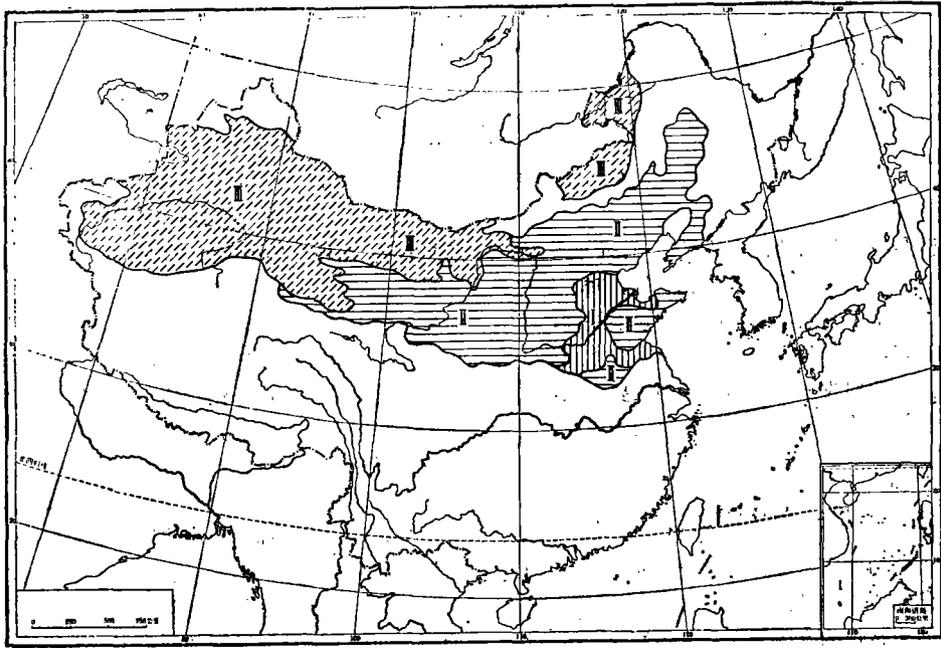


图9 锰的施肥分区图

玉米、棉花、甜菜、甘薯、花生、大豆、豌豆以及紫云英、苕子、箭舌豌豆、苜蓿、三叶草等豆科绿肥和果树像苹果、梨、桃以及蔬菜等。缺锰的指示植物为燕麦、小麦、甜菜。

I, 锰有效区: 土壤中活性锰含量 50—100ppm。土类为黄绵土、壤土、褐土、棕壤、栗钙土、棕钙土、灰钙土等。需锰植物和缺锰指示植物与显效区同。

II, 锰可能有效区: 土壤中的活性锰量在 50ppm 左右。分布土类有栗钙土、棕钙土、灰钙土及各种漠境土。目前田间试验尚少, 有待验证。

以上的施肥分区仅以农作物的生长为对象, 还没考虑人和动物的健康。土壤中微量元素含量过多或过少, 都会影响人和家畜的健康, 以及畜产品产量的降低^[11], 并未能包括在上述分区以内。例如: 缺碘可引起甲状腺肿大。土壤中含钴量低或可给性过低时, 牧草含钴量也很低, 从而使家畜发生缺钴症状(贫血), 钴是维生素 B_{12} 的中心原子, 缺钴时维生素 B_{12} 不足, 因而影响造血的机能。豆科植物含硒过高会使家畜发生硒中毒现象, 另一方面, 牧草中含硒过少又会使一些家畜发生称为“白肌病”的缺硒症^[12]。在我国已发现硒毒区和缺硒区。缺铜时家畜会患有“嗜异癖”, 喜欢舐或咀嚼不适于食用的物体, 羊毛硬而无光泽, 品质降低, 羔羊肢体运动失调, 称为“摇摆病。”后一情况已在新疆发现^[13]。由于铜钴间的拮抗作用, 铜毒区中家畜摄取的铜也会不足。在铜毒区家畜常因饲料中含铜过多而患季节性腹泻, 产乳量降低, 这时在饲料中加入硫酸铜便可以治愈。锌则与生殖机能有关, 缺锌时家畜繁殖率下降。缺锰时产奶量少并且繁殖率低, 容易发生骨折。这些情况都说明微量元素与动物营养有密切关系。

综上所述, 微量元素是植物不可缺少的营养元素, 植物对缺乏微量元素的敏感程度不同, 土壤缺乏微量元素是针对敏感程度较高的植物而言的。土壤微量元素供给不足时, 施用微量元素效果显著, 是可行的增产措施。

在我国存在着大面积的缺乏微量元素的土壤, 而这些土壤的分布有其规律性。因此, 可以认为微量元素的研究和应用在我国有着十分广阔的前景。

(转下页)

太湖地区主要土壤供钾能力的初步研究*

杜承林

(中国科学院南京土壤研究所)

太湖地区是我国著名的高产地区之一,近年来,在施肥上偏施氮肥,很少施用化学钾肥,氮、磷、钾比例极不协调。而由于三熟制的推广,产量的提高,土壤钾素消耗增多,钾素的亏缺加剧。为了解本地区土壤的供钾能力,我们收集了太湖地区的主要土壤,并进行了钾素释放试验、田间定位试验及盆栽试验,主要结果如下。

一、太湖地区主要土壤的供钾状况

本地区土壤的供钾状况及其对钾肥的反应,我们已有初步总结[1,2]。而后,又陆续收集了主要类型的土壤标本,除用常规的方法测定其速效性钾、缓效性钾和全钾外,并用化学方法和生物试验了解了有代表性土壤的钾素释放能力。

(一)太湖地区主要土壤钾素的含量

本地区八种主要土壤的钾素含量列于表1。表1

结果表明,八种土壤中以白土和黄泥土含钾量较低。江苏吴县土壤普查结果也表明,这类土壤是该县供钾能力最低的土壤①。钾素含量最高者为狗肝泥,其它类型土壤介于两者之间。即由黄土性母质及湖积物发育者钾素含量比较低,而长江新冲积物和钱塘江冲积物形成的土壤钾素较为丰富。同类土壤粘粒含量和肥力水平较高者钾素含量也较高。

我们还了解了钾在土壤剖面中的分布情况。表2为13个典型土壤剖面的平均结果。结果表明,土壤速效性钾和全钾除个别剖面下层稍高于上层外,一般无明显差异。而缓效性钾下层明显高于上层,其原因可能是在一般不施化学钾肥的情况下,由于作物的吸收利用,上层土体中缓效性钾转化为速效性钾或速效性钾向下淋溶后被固定成缓效性钾。胶体部分全钾在剖面中的变化较小。

(二)不同土壤的钾素释放能力

* 本工作在谢建昌同志的指导下完成,马茂桐、陈际型等同志参加了部分工作。

① 过维钧、沈志英:不同类型水稻土的养分特点及因土施肥问题、试谈双三制条件下的土壤肥料问题。太湖地区科学讨论会论文摘要,170—171,1982。

(接上页)

参 考 文 献

- [1] 朱祺、梁之毓、陈恩凤:不同土壤上施用微量元素与大豆生长、发育、产量和品质的关系。土壤学报,11(4):417-1963。
- [2] 刘铮、朱其清等:土壤中的钼与钼肥的应用。中国科学院微量元素学术交流会汇刊,114—123页,科学出版社,1980。
- [3] 任沪生、陈仲西、肖昌珍:油菜萎缩不实病的防治研究。同上,87—98页,1980。
- [4] 刘铮、朱其清等:土壤中的硼与硼肥的应用。同上,78—86页,1980。
- [5] 刘铮、朱其清等:我国缺硼土壤的类型与分布。土壤学报,17:228—239,1980。
- [6] 中国农业科学院土肥所:山东省土壤中速效锌含量和锌肥肥效的研究。中国科学院微量元素学术交流会汇刊169—171页,科学出版社,1980。
- [7] 湖北省农科院土肥所:水稻土施锌研究。同上,162—168页,1980。
- [8] 刘铮、朱其清等:土壤中的锌与锌肥的应用。同上,154—161页,1980。
- [9] 刘铮、朱其清等:江苏淮阴、徐州地区土壤中微量元素的供给情况以及与作物生长的关系。土壤学报,16:245—256,1979。
- [10] 刘铮、朱其清、唐丽华等:我国缺乏微量元素的土壤的区域分布。土壤学报,19:209—223,1982。
- [11] Scott, M. L.; Trace elements in animal nutrition. In Micronutrition in agriculture. Eds. J. J. Morvedt, P. M. Giodano and W. L. Lindsay. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. 1972.
- [12] Jackson, M. L. and C. H. Lin; The role of clay minerals in environmental sciences. Intern. Conf. Proc. (AIPEA Plenary paper). 1981.
- [13] 陈茂亨、杨庆奇:微量元素铜缺少症——羔羊后肢瘫痪的研究。新疆农业科技,1:41—42,1979。