

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

微量元素肥料使用技术



出版者的话

为促进传统农业向现代农业转化，满足广大农民科学务农和农村干部、基层科技人员对于新知识的学习，及时推广先进技术，振兴农村经济，我们组织编写了这套《农业新技术丛书》，从 1985 年起陆续出版。

这套丛书，结合农村生产实际，分别介绍农、林、牧、副、渔等各方面的新成果、新经验、新技术，力求内容简明、语言通俗、技术实用，以适于广大农村干部群众和基层科技人员阅读参考。

前言

微量元素的研究工作目前非常活跃，已渗透到地学、化学、环境科学、医学以及农、林、牧等各个学科。本书主要论述有关微量元素在农业方面应用的一些问题。

微量元素肥料（简称微肥）是近代发展起来的一种新型化学肥料，对农作物有着特殊的功效。使用这种肥料，用量少、投资小、效果好、收益大，对发展农业生产有很大的经济意义。

为了使微肥在农业生产上广泛应用，促进农业大幅度增产，我们对土壤中微量元素含量和微肥使用技术进行了研究。在大量数据的基础上，研究出各种作物因土施用的科学配方。经近几年试验证明，对农作物微肥不仅能提高产量，而且品质也有所改善，受到农民群众的欢迎，被誉为“化肥精”。现不少农民来信要求我们提供微肥和使用技术资料，解决各种问题。

为了满足广大农民的迫切要求和发​​展微肥事业，我们根据国内外有关资料 and 近几年的实践，编写了《微量元素肥料使用技术》一书，以问答形式对若干问题作了一一解答。而重点解决微肥使用技术问题，同时兼有理论性论述。主要介绍：微量元素和微肥的基本知识；国内外应用微肥的历史和现状；我国土壤中微量元素的分布和含量；判断土壤中微量元素含量的标准及各种形态的价值；作物缺素的营养诊断方法；常用微量元素肥料的种类和选购方法及贮藏、运输等知识和注意事项；微量元素肥料与氮、磷、钾等化学肥料的关系、混用技术和区别；硼、锌、钼、锰、铁、铜等微肥的种类、使用方法、作用和增产效果，对小麦、玉米、水稻、棉花、花生、油菜、蔬菜、豆科作物和果树等缺素症状的判别及其防治方法。此外，还简要介绍了稀土元素的一般知识。

本书在编写过程中，得到了有关单位和领导的大力支持，参考和引用了河南省农牧厅朱玉镜、河南省科学院地理研究所微量元素课题组及国内外一些科研单位、专家们的试验数据和材料，曾请有关专家审阅，在此一并致谢！

我们的编写工作，由于水平所限，不妥之处望不吝指正。

编著者

1986年10月

微量元素肥料使用技术

（一）微量元素和微肥的基本知识

1 什么叫微量元素？

世界上的一切物体，无论是植物、动物和人体等有机生命体，还是矿物、岩石、空气和水等非生命无机体，都是由各种化学元素组成的。根据研究证实，目前世界上已经发现的化学元素有 107 种。这些元素在自然界或各种物体中的含量，差异十分悬殊，有些元素含量很高，而有些元素含量却甚低。

对于自然界所存在的化学元素，根据含量的高低或多寡，分为大量元素（有人称常量元素）、中量元素和微量元素三大类。大量元素是含量很高的化学元素的统称，微量元素是含量很低的化学元素的统称。介于大量元素和微量元素之间统称为中量元素。

微量元素是一个针对大量元素与中量元素而言的相对概念。所谓微量元素，顾名思义，微者少也。少具有双重意思，一是指含量很少，二是指动植物对它们的需要量很少。从广义来说，微量元素泛指自然界或自然界的各种物体中含量很低的或者说很分散而不富集的化学元素。

土壤学中所指的微量元素，既可以泛指土壤中所有的含量很低的化学元素，也可以指其中具有生物学意义的化学元素。土壤中微量元素的研究除了具有生物学意义以外，常有一定的特殊意义，如可以阐明某种土壤的成土过程、环境质量评价等。具有生物学意义的微量元素常是酶或辅酶的组成成分，它们在生物体中的特殊机制有很强的专一性，为生物体正常的生长发育所不可缺少的。我们把地壳中含量范围为百万分之几到十万分之几，一般不超过千分之几的元素，称为微量元素或痕量元素。铁元素在地壳中含量虽然较多，但植物体中含量甚少，并且具有特殊功能，故也列为微量元素来论述。

2. 微量元素在农业上的作用是什么？

有机体非常需要周围环境中有一定的微量元素浓度，需要一定的微量元素化合物的组合、比例和形式，土壤是微量元素进入有机体的环境，土壤中微量元素不足或过剩都不利于有机体的发育，甚至引起植物病害。

多少年来，农学家们普遍认为，除了“有机物元素”，硅、氢、氧和氮之外，仅有几种矿质元素（灰分元素）是植物正常生长发育所必需的元素，即磷、钾、钙、镁、硫。目前氮、磷、钾三种元素做为肥料已广泛应用于农业生产中。随着科学技术的不断发展，又证实了植物生长还需要若干微量元素，最重要的是硼、锰、锌、铁、铜和钼。对于一些高等植物还需要钴、镍等，一些低等植物还需要铝、钒、钨、镓、钨等。在农业生产中，增施肥料是提高农作物产量的一项主要措施，一般正常情况下，投入多才能产出多。若从系统的观点出发，农作物需要的肥料可看作一个系统。氮、磷、钾、各种微量元素是这个系统的组成因素。各种元素比例是否合理与产出效果有着密切的关系。

1843年德国著名的农业化学家李比西提出了“最小养分律”，即当土壤中某一种养分短缺或不足时，其它养分再多，植物生长也要受到限制，这个短缺的养分被称为“最小养分”，后来引伸为“限制因子论”。施肥时就应首先补充这个最小养分元素以维持土壤养分的平衡。近些年来，我国有些地方化肥施用量增加速度惊人，但微量元素肥料却没有使用，而氮、磷等常量化肥作为农业生产物质技术因素组成中的一个因素已超过了其它因素，经济效益和增产效应受到了微量元素等因素的制约，不能很好得到发挥。随着化肥施用量的提高，微量元素肥料推广使用越来越显得重要。

许多地方实践证明，严重地缺乏微量元素可以使许多植物发生病害症状而减产甚至颗粒无收。过去有些植物病害发生后，人们并不十分了解原因，有时错误地认为是真菌病害或细菌病害，现已证实这些病害是由于土壤中缺少某种微量元素而引起的。如缺硼引起甜菜心腐病、甘蓝型油菜只开花不结实和小麦不捻。在石灰性水稻土上，水稻“僵苗”、“缩苗”等现象就是因为土壤缺微肥引起的，通过施用微肥植株恢复正常，产量大幅度提高。禾谷类作物缺钼后，常患缺绿症。小麦若缺锰就会生长不良、减产甚至死亡。苹果树缺铜会引起树枝枯萎，缺锌会引起叶簇病，柑橘缺锌叶子会发生斑点病并停止生长。河南农业大学在南竹北移的试验中发现，毛竹北移时往往因选地不当造成损失，如毛竹黄枯病主要是由于土壤缺铁、缺锰而引起的一种生理病害。毛竹原生长在南方酸性土壤，锰、铁含量丰富，北移后土壤偏碱，造成这些元素供应不足从而导致失败。当然，不应仅在发现上述植物病害的土壤上才施用微量元素肥料，因为土壤中稍许缺少某种微量元素是常见的，而生长在这样土壤中的植物外表不会显出受害特征，一旦发生病害就说明土壤已极端缺少某种元素啦！若能及早发现，及时施用必需的微量元素肥料就能避其害，提高单位面积产量。

微量元素还能提高植物抗病性、抗旱性、抗高温、抗低温和光照强度不足的能力及提高农作物品质。如硼肥可以使甜菜含糖量从15%增加到16.4%。目前国内许多研究机构和生产单位已有大量资料证明，各种作物只要施用得当，微量元素能大幅度提高作物产量和质量，群众称微量元素肥料是“用量少、花钱少、施用方便、效果好的化肥精”。

3. 什么是微量元素肥料？

化学肥料通常分为常量元素肥料和微量元素肥料两类。哪些是常量元素肥料呢？常量元素肥料是庄稼吸收消耗数量大的肥料，象氮肥、磷肥、钾肥、钙肥、镁肥、硫肥都属这类肥料。

微量元素肥料，通常简称为微肥。是指含有微量营养元素的肥料，庄稼吸收消耗量少（相对于常量元素肥料而言）。作物对微量元素需要量虽然很少，但是，它们同常量元素一样，对作物是同等重要的，不可互相代替。微肥的施用，要在氮、磷、钾肥的基础上才能发挥其肥效。同时，在不同的氮、磷、钾水平下，作物对微量元素的反应也不相同。一般说来，低产土壤容易出现缺乏微量元素的情况；高产土壤，随着产量水平的不断提高，作物对微量元素的需要也会相应增高。因此，必须补施微肥，但若企图减少大量元素肥料的施用量，而只靠增施微肥来获得高产，也是错误的。

微肥是经过大量的科学试验与研究，已经证实具有一定生物学意义的，植物正常生长发育不可缺少的那些微量营养元素，在农业上作为肥料施用的化工产品，象硼肥、锌肥、锰肥、钼肥、铜肥、铁肥、钴肥都属于微肥。这些微量元素占作物体干重的百分数大致是：锰 0.05%、铁 0.02%、锌 0.01%、硼 0.005%、铜 0.001%、钼 0.0001%。土壤中任何一种速效态微量元素供应不足，作物就会出现特殊的症状，产量减少，品质下降，甚至收成无望。

也许有人要问，既然微肥这么重要，而以前在生产中并没有施用微肥，为什么也能有收成呢？以前，农作物产量水平偏低，吸收氮、磷、钾的数量不多，相应的需要的微量元素的数量就更少了。因此，有机肥和土壤中供应的数量就够用了。也就是说，前些年有机肥中和土壤中的微肥，能够适应农作物的产量水平，也能够维持各种营养物质的相互平衡，不会明显地影响农作物收成。但是，随着农作物产量水平的不断提高，氮、磷、钾肥料用量的不断增加，对于微量元素的要求也随之增加，那么，土壤中的微肥就不够用了，而需要通过施肥来解决矛盾。特别是目前，广大农村不仅农产品的产量提高，氮、磷、钾肥料施用量逐年增加，而且有机肥料的使用量日趋下降，绿肥种植面积逐年减少，加上多熟制种植，使许多地方发生了多种生理病害。应当指出的是，这里所说的微肥是微量元素肥料，切不可与细菌肥料、植物生长刺激素、农药混同起来。

4. 常用微肥有哪些种类？

我国目前推广或将要应用的微肥有：硼肥、钼肥、锌肥、铜肥、锰肥、铁肥。它们在农作物、林木、牧草、果树、蔬菜上施用，均有相互不能代替的作用。针对缺素土壤和敏感植物施用微肥，增产效果十分显著。

微肥分类多种多样。归纳起来有按所含营养元素划分的，也有按养分组成划分的，还有几种按化合物类型划分的。

前面提到的目前推广应用较多的硼肥、钼肥、锌肥等就是按所含营养元素划分的，这是大家极其熟悉的一种分类。就这些元素的离子状态来说，硼和钼常为阴离子，而锌、锰、铜、铁、钴等元素则为阳离子。

按养分组成划分，大致可分为以下三类：

(1) 单质微肥。这类肥料一般只含一种为作物所需要的微量元素，如硫酸锌、硫酸亚铁即属此类。这类肥料多数易溶于水。故施用方便，可作基肥、种肥、追肥。

(2) 复合微肥。这一类肥料多在制造肥料时加入一种或多种微量元素而制成，它包括大量元素与微量元素以及微量元素与微量元素之间的复合。例如，磷酸铵锌、磷酸铵锰等。这类肥料，一次施用同时补给几种养分，比较省工，但难以做到因地制宜。

(3) 混合微肥。这类肥料是在制造或施用时，将各种单质肥料按其需要混合而成。其优点是组成灵活。目前，国外多在配肥站按用户的需求进行混合。河南省科学院研制的小麦、水稻、玉米、花生等混合微肥就是属此类肥料，根据各地土壤化验资料，作物需肥规律，经过田间试验而成，因此肥料使用后经济效益明显。

按微肥化合物类型，大致可分为五类：

(1) 易溶性无机盐。这类肥多数为硫酸盐。

(2) 难溶性无机盐。多数为磷酸盐、碳酸盐类，也有部分为氧化物和硫化物。例如，磷酸铵锌、氯化锌等。适于做基肥。

(3) 玻璃肥料。多数为含有微量元素的硅酸盐粉末，经高温烧结或熔融为玻璃状的物质，如冶炼厂的炉渣等，一般只能做底肥。

(4) 螯合物肥料。是天然或人工合成的具有螯合作用的化合物，与微量元素螯合而成的螯合物，如螯合锌等。

(5) 含微量元素的工业废渣。

5. 微肥的有效施用与哪些因素有关？

第一，微肥的施用效果往往与农业生产水平、化学肥料和有机肥料施用水平分不开。一般作物产量水平不高而常年又施用有机肥料的情况下，养分的主要限制因素是氮、磷、钾等大量营养元素，而不是微量营养元素，因为有机肥中本身就含有多种微量元素，而作物的轮作倒茬又缓和了缺乏微量元素的矛盾。相反，随着复种指数的提高，产量逐年增加，氮、磷、钾肥的施用也随之增加，从而加剧了土壤中有效微量元素的消耗，使得养分供应失调，因此在这种情况下，往往需要补充某种微量元素，才能进一步发挥化肥增产潜力，每亩粮食总产量可以获得较高水平。

第二，我国幅员广大，土壤类型很多，微肥的施用效果，只有在一定的土壤条件下才会表现出来。因此，要想有效施用微肥一定要有针对性的做到因土施肥，并不是任何土壤施用微肥都有增产效果。

第三，作物需肥特点不同，所需的微量元素和对微量元素的反应也不同，因此，要发挥微肥的增产作用，应优先施用到对微量元素需要量多和对微肥敏感的作物种类以至品种上。

果树与一年生的大田作物相比，具有固定一地生长十几年甚至几十年的特点，土壤中的微量元素亏损显得比大田作物突出。从经济效益来衡量，应优先考虑果树的施用问题。

第四，为了发挥微肥的增产效果，必须在施用有机肥、氮、磷、钾的基础上，选用经过科学确定有效的微肥，不应盲目使用。

第五，微肥的有效施用，在技术上应掌握适量，匀施的原则。一般说来，作物对微量元素需要量是很少的，而微量元素对作物的适宜和中毒量之间范围又很窄，所以，施用微肥一定要求适量，否则用过量或施用不均匀会有不同程度的中毒受害，不仅不能增产，而且会造成减产。一般可以与有机肥混合用，或者制成微量元素的复合肥。

（二）国内外应用微肥的历史、现状和展望

6. 微肥的发展历史怎样？

微量营养元素的研究是本世纪 20 年代初开始的 ,只有 60 年左右的历史。微量营养元素研究是植物营养研究的一部分。

微量元素的研究 ,现在已超出了土壤学家、农业化学家、生理学家的研究范畴 ,而且生态学家及环境科学方面的专家也给予了极大的关注。微肥的产生与发展与氮、磷、钾肥料一样 ,只不过是随着微量营养元素的证实而诞生。微肥的应用 ,成了植物矿质领域内的巨大进展之一 ,促进了农作物产量的大幅度提高。

微肥在农业生产中具有现实的生产意义 ,因此国外在 30 年代就在农业上示范和推广应用了。例如 ,苏联 1937 ~ 1939 年间施用的硼肥 (硼镁肥) 已达 2700 吨。美国 40 年代后期年施用硼砂达 4148 吨 ,50 年代硫酸锌年用量达到 3311 吨。目前苏联微肥年用量达 12 万吨 ,美国高达 20 万吨。

我国微肥的生产已有 20 多年的历史。1964 年 ,首先在吉林锆厂开始生产钼肥 ,对大豆的增产效果显著。70 年代以来 ,农业部门和中国科学院有关单位相继发现作物有缺锌、硼、铁、锰的症状 ,引起了有关部门重视。1981 年国家经委等联合召开了全国第一次微量元素肥料会议。1983 年我国微肥总产量达 2 万多吨 ,品种达 24 种 ,施用面积约 4000 多万亩。

7. 国际上应用微肥的现状怎样？

国际上微肥在农林牧业中的应用已有五六十年的历史，尤其是最近几年，在一定条件下应用微量元素肥料已成为进一步提高农产品产量和质量的有效措施。微肥在农业上的增产作用很大，故受到了世界各国的普遍重视。

目前，苏联、美国、西德、东德、日本、法国、英国、加拿大、荷兰、比利时、澳大利亚、新西兰、菲律宾、印度、捷克斯洛伐克、朝鲜人民民主共和国等国，在各类缺素土壤和各种敏感作物上广泛施用微量元素肥料。许多国家为了合理施用微肥，开展了活跃研究工作和微量元素普查工作。如欧洲 15 个国家普查后报道，有 10 个国家土壤含锌量低，施入锌肥后效果十分显著。美、苏、西德、东德都在调查基础上，绘制了作物施肥依据的土壤微量元素含量图，明确了全国范围内缺乏微量元素的土壤、地区和作物种类。日本在 1969 年就开展了普查工作，查清了日本耕地缺乏各种微量元素土壤面积达 36.6 万公顷，约占耕地面积 70%。朝鲜人民民主共和国农业部门规定每四年做一次全国性土壤有效态微量元素的普查。澳大利亚已查明南部有一个 300 万英亩的缺锌地带。东南亚各国及我国台湾省都报道过缺乏微量元素土壤情况。近来一些非洲和南美国家也开始重视微肥在农业上的推广研究和试验研究。世界各国不仅施用的微肥种类和品种多、数量大，而且施用的作物种类繁多，不仅在粮、棉、油料作物上应用，而且已经深入到牧草、果树、蔬菜、糖料作物，并均已收到了明显增产的效果。纵观全球，无论是发达国家还是发展中国家都十分重视微肥施用及研究工作。

8. 我国微量元素研究情况如何？

我国微量元素研究始于 40 年代初。1940 年我国著名的植物生理学家罗宗洛等人，以从理论上探讨微量元素的生理作用为引子，主要研究了微量元素对种子萌发、幼苗和花器官的生长作用。

解放后，微量元素研究有了较大的进展。1956 年前后，中国科学院有关研究所开展了土壤化学和农业化学方面微量元素的研究。特别是对于微量元素对代谢过程的作用、与呼吸关系、对酶的影响的研究都有一些进展。1962 年、1977 年中国科学院召开了微量元素研究工作会议和学术交流会，并制定了规划和出版了汇刊。

我国微量元素在农业上的应用研究，大体上是从两大方面展开的。一是微量元素在植物中的作用及增产效果。二是土壤中微量元素含量、分布及有效性的研究。要研究土壤中微量元素，必须具备测试手段。1956 年起，国家首先着手研究土壤和植物中微量元素的分析技术。中国科学院土壤研究所和林业土壤研究所刘铮、方肇伦等先后确定了我国不同土壤各种微量元素的测试方法，把光谱、极谱和比色分析方法成功地应用于我国土壤微量元素测定。到了 80 年代，我国微量元素的土壤化学和肥效试验研究，进入了一个崭新的阶段，推广应用微肥出现了大好形势。1981 年刘铮等完成了我国土壤微量元素含量和分布图，张乃凤等对山东省土壤锌含量进行了普查。四川、河南、江西对本省土壤中微量元素进行了普查，并绘制了分布图。1983 年 3 月由中国土壤学会主持在武昌召开了微量元素学术会议，进行了含量制图、分析方法和肥效研究三个方面的专题讨论，充分显示了我国土壤微量元素研究的可喜成绩。

9. 我国微肥使用前景如何？

我国 1979 年开始的第二次土壤普查章程中规定，在有条件的地方要进行土壤微量元素普查。许多省市开展了这一研究工作。国家科委又将微肥使用列为重点推广项目，作为我国到 2000 年农业翻两番的重要措施之一。特别是农村实施责任制以来，农民学科学用科学的劲头很大。领导的重视，群众的热忱为微肥的推广应用创造了有利条件。

从目前资料看，已经发现我国东半部广大地区缺乏硼和钼，北半部广大地区又缺乏锰和锌，这些地区正是我国重点粮、棉、油产区和畜牧业基地，说明我国施用微肥前景广阔，是一个周期短、数量大、效益高的“短、平、快”项目。据资料，我国东部与北部地区，通过合理施用微肥，可望在 5 亿亩以上的耕地上获得增产 10% 以上的效果。年增产粮食可达 150 亿公斤，年纯收益 60 亿元以上，给社会带来巨大的财富。

据近年来我们试验研究证实，微量营养与农产品品质有很大影响。例如：硼、锌等微肥能提高柑橘、西瓜、葡萄含糖量和维生素 C 含量，降低酸度；可提高油菜籽油脂含量，花生蛋白质含量；改善棉花、红麻纤维品质。随着农村自给生产向商品化生产转变，进入国际市场的农产品将日益增多，对粮、棉、油、果、特产品品质要求更高。而很多特产与微肥有特殊意义，从这一点来看我国微肥使用前景是非常广阔的。

10. 河南使用微肥前景怎样？

河南省 60 年代初期，仅在安阳、林县等少数地区进行过微肥的田间试验。1980~1983 年，河南省科学院地理研究所在各地区土壤普查办公室的协助下，完成了钼、锌、锰、铜、铁、硼元素的地理分布规律和土壤中含量的研究任务，并绘制了分布图，为推广微肥提供了科学依据。省农科院土肥所、省农牧厅等单位进行了大量的田间肥效试验，为微肥的推广起到了示范作用。

河南是我国开发较早、耕种历史悠久的古老农业区，自然条件优越，物产丰富，是我国粮、棉、油、果基地。随着农业生产水平提高，氮、磷、钾化肥用量增加，作物营养元素逐渐失去平衡，以致近年来，生产中常常出现生理病害。诸如玉米的花叶白苗，油菜“花而不实”等，这是一般农业技术措施难以解决的问题。经试验证明，土壤缺乏某种微量元素是主要原因。据现有资料，河南近 1.07 亿亩耕地，97% 面积缺钼、90% 左右耕地缺锌、96% 的耕地处在缺硼边缘值以下。河南地处暖温带与北亚热带过渡地区，农作物、果树种类南北兼有，需要的营养元素差异大。由此可见，河南推广微肥有得天独厚条件，施用微肥有着十分广阔的前景。

通过几年的推广，农民群众将微肥誉为“化肥精”。河南省科学院蔡德龙等根据土壤资料和作物需肥特点，研制了小麦、玉米、蔬菜等多元微肥，并在几个工厂开始批量生产，引起了省委、省政府领导重视。1986 年小麦多元微肥拌种面积达 350 万亩以上。河南省微肥推广应用，在各级领导的重视下，已初步打开了局面。

11. 微肥推广工作中存在哪些急待解决的问题？

目前许多国家对微肥的生产和应用都很重视，把它作为提高农业生产的重要措施之一。我国解放后才开始对微肥进行研究。由于种种原因，微肥的推广应用工作进展不快。近几年来，随着农业生产技术水平的提高，微肥的试验研究和应用推广工作有了较快的发展。但是，在我国微肥的大量应用推广还是一项新工作，需要亟待解决的问题很多。如，微肥的产、供、销渠道不通；一些已经成熟的研究成果不能及时地在农村推广应用，仍然存在研究试验与推广应用脱节，轻视推广工作的倾向；微肥应用推广工作发展极不平衡，大部分农民处于没有听说过的状态；有些地方的领导同志对微肥在农业生产上作用重视不够，宣传、支持不够，工作进展迟缓；许多地区对土壤中微量元素的本底含量不清，推广和试验有一定的盲目性；我国对微量元素的研究尚缺乏专门的机构，仅有少数人进行小规模、分散的研究，交流协作很少，各项研究指标缺乏统一的标准，各种试验方法没有对比，难以对人体和环境、作物的微量元素状况进行正确的评价。以上问题是当前亟待解决的，望有关部门能引起足够重视。

（三）我国土壤中微量元素的分布和含量

12. 土壤中硼有由几种形态？

根据作物对土壤中硼的吸收、利用情况，通常将土壤中的硼分为水溶态硼、酸溶态硼和全硼。能被植物吸收利用的硼称为有效态硼，主要包括水溶态硼和酸溶态硼。其中水溶态硼又是有效态硼的主体。水溶态硼占土壤全硼的百分数因土壤类型而异，在酸性土壤（例如红壤）只占 1% 左右，在盐土中可占全硼的 90% 左右，但平均处在 5% 左右。

水溶态硼指在进行土壤分析时，用沸水 5 分钟所溶解的硼，包括土壤溶液中的硼和可溶性硼酸盐中的硼。酸溶态硼除了可溶的硼酸盐以外，还包括溶解度较小的硼酸盐以及部分有机物中的硼。对于砂质土，则水溶态硼与酸溶态硼含量无多大差别。粘土，则酸溶态硼多于水溶态硼。

全硼的大部分是电气石中的硼，是酸不溶态的，存在于矿物晶格之中。电气石是一种抗风化较强矿物，硼不易释放出来，不能代表对植物有效的硼量。

13. 土壤中全硼的含量状况如何？

地壳的所有岩石都含有硼，含量因岩石性质而异：

基性火成岩（玄武岩等）为 1~5 ppm；酸性火成岩（花岗岩、流纹岩等）为 3~10ppm；变质岩（片岩）和陆相沉积岩（粘土、砂土、冲积物、石灰石等）为 5~12ppm；海相沉积岩的含硼量非常高，为 500ppm；地壳的平均含硼量约为 50ppm（Kovda 等 1964 年）；世界土壤平均含硼量 20~40ppm 左右。

我国土壤含硼量根据现有资料是从痕迹到 500ppm 之间，平均含量 64ppm，总的趋势是由北向南逐渐降低（云南、西藏除外）。含量最高地区是西藏，平均 154ppm，陕西关中地区也不低，平均 80ppm。四川盆地土壤含硼量范围在 17~370ppm 之间，平均为 81ppm。河南省土壤全硼在 10.5~86.2ppm 之间，平均为 43ppm，较全国平均含量为低。江苏北部土壤含硼量高于苏南地区，华中丘陵区红壤的含硼量一般比较低，如浙江西部、江西中部和福建北部，平均约 62ppm。华南的砖红壤及赤红壤中含硼较华中红壤更低。广东、广西、云南的土壤一般少于 15ppm，部分沉积物、砂页岩发育土壤也有高达 100~200ppm 的。

我国土壤全硼含量状况（见表 1）。

14. 土壤中有效性硼的含量如何？

根据已有资料表明，我国南方与北方都存在着较大面积

表1 我国部分土壤全硼含量* (单位：ppm)

土壤类型	全硼量范围	全硼平均含量
白浆土	45 ~ 69	63
棕壤	31 ~ 92	61
草甸土	32 ~ 72	54
黑土	36 ~ 69	54
黑钙土	49 ~ 64	50
暗栗钙土	35 ~ 57	42
褐土	45 ~ 69	63
土、黑垆土、黄绵土	32 ~ 128	80
红壤(华中)	< 4 ~ 145	62
红壤(华南)	痕迹 ~ 300	71
砖红壤及赤红壤	5 ~ 500	60
黄壤	10 ~ 150	78
红色石灰土	20 ~ 200	88
棕色石灰土	40 ~ 150	87
紫色土	40 ~ 50	45

* 据中国科学院南京土壤所资料。

的缺硼土壤。下面将各地资料作一综述，供有关单位施用硼肥时参考。

我国北方石灰性土壤分布面积较大，缺硼土壤也较多。例如：山西省土壤有效硼在 0.38 ~ 1.48ppm 之间，平均含量为 0.70ppm，许多土壤低于临界值 0.50ppm 以下。北京地区土壤缺硼土壤面积很大。低于 0.25ppm 属于严重缺硼土壤占总数的 22.8%；在 0.25ppm ~ 0.50ppm 临界值以下土壤占 19.2%；在 0.50 ~ 1.0ppm 缺硼边缘范围的土壤占 33.6%。三样加在一起占总样的 75.6%左右。河南省据我们对 1070 多个土壤样品分析，平均有效态硼含量为 0.25ppm。有效态硼低于 0.5ppm 临界值以下土壤面积，占全省总耕地 96%，较为丰富的土壤样品占分析样品的 4%，由此可见河南省缺硼面积相当大。河南省地处北亚热带、暖温带过渡地带，土壤类型复杂，根据第二次土壤普查结果，主要有潮土、棕壤、风沙区、黄棕壤、褐土、砂姜黑土、盐碱土等土类。水溶态硼含量以盐碱土居首位达 0.72ppm，其它按高低排列为潮土 (0.31ppm) > 褐土 (0.22ppm) > 砂姜黑土、棕壤、风沙土 (均为 0.20ppm) > 黄棕壤 (0.17ppm)。河南省硼的地理分布特点是从北往南逐渐呈递减的分布趋势。具体地说，汝南、上蔡、平舆三县交界处和夏邑西部、于城东部两片，以及沙颍河以北潮土、盐碱土区分布范围，水溶态硼含量大于 0.5ppm，其它地区都比较缺乏。北方土壤缺硼原因是 pH 值较高、碳酸钙含量较多引起的。

我国南方土壤由于成土母质中硼的含量就较低，因而引起了有效性硼的缺乏。例如：贵州省从 157 个样品分析中有效硼平均值 0.31ppm，变幅在 0.01 ~

1.70ppm 之间，缺硼面积在 96.8%；浙江省土壤平均有效硼含量为 0.25ppm，变幅在 0.02 ~ 1.33ppm 之间，缺硼土壤占 88%；江西省土壤有效硼平均含量 0.15ppm，变幅在痕迹 ~ 0.74ppm，有 98.4%土壤缺硼；四川省土壤有效硼变幅在 0.01 ~ 1.61ppm 之间，平均为 0.23ppm，从 621 个样品的实测值来看，一般土壤缺硼比例高达 90%以上。

15. 土壤中的锌有几种形态？

锌以二价状态存在于自然界中，主要的含锌矿物为闪锌矿（硫化锌），其次为红锌矿（氧化锌）、菱锌矿（碳酸锌）。含锌矿物分解产物的溶解度大，并以二价阳离子或一价络离子 $[ZnCl]^+$ 、 $[Zn(OH)]^+$ 、 $[Zn(NO_3)]^+$ 等状态存在于土壤当中，进而被植物吸收利用。但由于受到土壤酸碱度、吸附固定、有机质和元素之间相互作用等因子的影响，锌的溶解度常常会很快降低。当pH增加一个单位，溶解度就会下降一百倍。在还原条件下，有硫化氢存在时，锌会被沉淀为硫化锌。所有这些都降低土壤锌对植物的有效性。通常土壤中有效锌的含量只有全锌含量的百分之一左右。

土壤中的锌可区分为水溶态锌、代换态锌、难溶态锌和有机态锌。

水溶态锌非常少，一般在ppb的浓度范围之内。

代换态锌包括两部分，即锌离子和含锌络离子，含量约在1~10ppm之间。代换态锌因提取剂的种类和酸度而异。酸性提取剂所提取出的锌较多。对作物有效的锌主要是代换态锌。

16. 土壤中全锌含量状况如何？

土壤中锌含量与成土母质有极大的关系，例如：基性岩及石灰岩母质发育的土壤含锌就较多，片麻岩、石英岩发育的则较少。地球岩石圈的锌平均含量为 80ppm。

世界上土壤中的全锌含量变化很大，其极限范围从痕迹

表 2 我国部分土壤全锌含量* (单位：ppm)

土壤类型	锌含量范围	平均含锌量
砖红壤及赤红壤	20 ~ 300	180
红壤 (华南)	50 ~ 500	150
红壤 (华中丘陵区)	22 ~ 172	79
黄壤	50 ~ 500	145
黄棕壤、褐红壤	30 ~ 300	163
紫色土	30 ~ 100	65
棕壤	44 ~ 770	98
黑土	58 ~ 66	61
黑钙土	56 ~ 153	88
草甸土	51 ~ 130	87
红色石灰土	100 ~ 300	238
棕色石灰土	50 ~ 600	302

*据中国科学院南京土壤所资料。

到 900ppm，平均为 50 ~ 100ppm (1977 年、Aubere)。我国土壤中全锌含量少则 < 3ppm，多的可达 709ppm，平均为 100ppm。

河南省土壤中全锌含量，据我们取样分析介于 8.7 ~ 205.0ppm，平均在 94.95ppm，略低于全国平均水平。四川盆地的土壤全锌含量，据中国科学院成都地理所资料在 35 ~ 400ppm，平均为 108ppm 接近全国土壤的全锌含量 100ppm。河北省土壤全锌含量，据河北省植保土肥所资料，平均为 73ppm。我国部分土壤全锌含量 (见表 2)。

17. 土壤中有效锌含量状况怎样？

我国幅员广大，土壤类型很多，从现有资料来看：黄土母质发育的土壤和受黄河影响的土壤，pH 值较高，矿物以石英为主，有效锌含量普遍较低。比如，河南省土壤大部分是由黄土母质和黄河冲积物发育而来的，据我们 1500 个样品分析平均有效态锌含量 0.50ppm 左右，变幅在 0.04 ~ 3.26ppm 之间。全省半数以上土壤在缺锌临界值（0.5ppm）以下，处于缺锌边缘值的土壤约占 40%，仅有 10% 土壤处在供应充足范围。从土壤类型看，有效锌含量状况如下：棕壤（0.64ppm）> 褐土（0.57ppm）> 灰潮土（0.571ppm）> 水稻土（0.500ppm）> 碳酸盐褐土（0.55ppm）> 黄棕壤（0.525ppm）> 黄褐土（0.52ppm）> 淤土（0.52ppm）> 典型褐土（0.51ppm）> 褐土性土（0.50ppm）> 两合土（0.42ppm）> 盐土（0.47ppm）> 砂土（0.45ppm）> 风砂土（0.43ppm）> 砂姜黑土（0.41ppm）。

从地理分布上看大致是栾川、卢氏、嵩县、汝阳、鲁山、林县、修武、博爱县及鹤壁市耕地土壤，有效锌含量平均在 1.00ppm 左右，是含量最高地区。灵宝、陕县、渑池、新野、唐河、南阳、方城、洛宁、社旗县以及新乡、开封、商丘、周口地区沙地和沙丘、沙岗地、盐碱地区土壤，有效锌含量十分缺乏，一般在 0.5ppm 以下。我们布置了许多试验，证实了该地区施用锌肥增产效果十分显著。今后在这些地区种植作物和果树时应该施用锌肥。

新县、商城、固始、桐柏、光山、潢川、罗山、信阳县以及新乡、安阳、开封、商丘地区除去上述沙土、盐碱土、风砂土和林县等高锌区外，土壤有效态锌，处于缺锌边缘区，一般含量在 0.6ppm 上下，据试验，该地区在水稻上施用锌肥增产 11% 左右。因此，这一带土壤可根据作物情况，推广应用。又如北京地区、山东省、陕西、山西等省报道也有类似趋势。

山东省土壤中有效态锌含量，鲁中南、鲁西北和胶东半岛的 19 个县 296 个土样分析在 0.20 ~ 3.50ppm 之间。鲁西、鲁西北黄河冲积平原地区速效锌含量较低。例如：济阳县土壤平均含量在 0.20ppm，齐河县为 0.36ppm，垦利县为 0.84ppm，菏泽和东阿县分别为 0.60 和 0.66ppm。鲁中、鲁南地区的济宁和临沂的洼地黑土分别为 0.68ppm 和 0.75ppm。而鲁东南、鲁中丘陵地区的土壤，都在 1.00ppm 以上。

我国南方有很大面积的酸性土壤，土壤有效锌含量往往会反映出成土母质的影响，一般含量较高，例如下蜀系黄土和长江冲积物发育的土壤一般不会出现缺锌现象。但南方的酸性土壤上，过量施用石灰时，由于土壤 pH 值升高，可能引起“诱发性缺锌”。例如：四川盆地土壤有效锌在 0.08 ~ 9.60ppm。各种土壤的平均含量变化较大，有效锌含量小于 0.50ppm 的土壤出现频率较高的是紫色土，但比北方土壤比例低，仅占 10%。

18. 土壤中的钼有哪些形态？

土壤中的钼来自含钼矿物，而主要含钼矿物是辉钼矿。含钼矿物经过风化后，钼则以钼酸离子 (MoO_4^{2-} 或 HMoO_4^-) 的形态进入溶液。

土壤中的钼从目前资料可区分成四部分：

(1) 水溶态钼。包括可溶态的钼酸盐。其含量甚微，一般不容易测定出来。

(2) 代换态钼。 MoO_4^{2-} 离子被粘土矿物或铁锰的氧化物所吸附。以上两部分称为有效态钼是植物能够吸收的。

(3) 难溶态钼。包括原生矿物、次生矿物、铁锰结核中所包被的钼，植物是难以吸收的。

(4) 有机结合态的钼。钼原子价很多，最重要的是六价钼，植物能吸收的；低价钼包括五价和五价以下的钼，则植物不能吸收利用。各种形态的钼互相转化，在酸性条件下，水溶态钼常转化成氧化钼。

19. 土壤中全钼的状况如何？

土壤的各种矿物的组成直接来源于各种成土母质，因此决定土壤中钼含量多少的第一个因素是成土母质的含钼量，其次才是成土因素的各种作用。世界各国土壤中全钼的含量高、低差异较大（见表 3），但世界土壤正常含钼量是 0.5 ~ 5ppm，平均是 2.0ppm。

据现有资料，我国土壤全钼含量介于 0.1 ~ 2.5ppm，平均为 1.7ppm，低于世界土壤平均含钼量。我国土壤中钼的分布，在空间上有逐渐递变的特征。从西北向东北方向，成土母质由砂性岩石过渡到黄土松散物，再过渡到花岗岩，安山岩和玄武岩为主的含钼较高的成土母质，土壤则由荒漠土壤（棕色荒漠土）、高寒土过渡到草原土壤（黑土、栗钙土、棕钙土），再过渡到森林土壤；因此，土壤中含钼量从西北到东北越来越高，大兴安岭、小兴安岭、长白山和张广才一带土

表 3 世界部分国家和地区土壤中全钼含量

国家	土壤全钼量 (ppm)
印度	0.5 ~ 4.1
美国	0.6 ~ 3.5
苏联	2.0 ~ 4.0
爱尔兰	0.5 ~ 3.5
阿尔及利亚	2.3
新西兰	2.0
夏威夷岛	50.0
法国	65.0

壤中全钼量达 2 ~ 5ppm。

我国从西北向西南方向，由于成土母质由砂性岩石渐次过渡到以含碳酸盐为主的母质，最后过渡到含钼量较高的花岗岩为主的母质；土壤由荒漠土、生草灰化森林土到黄棕壤，再过渡到黄壤、红壤、砖红壤。沿这个方向由于地表风化作用越来越强，成土母质含钼量越来越高。例如：四川盆地土壤全钼变幅在 1.5 ~ 16.5ppm，平均值为 4.1ppm，比全国平均值高 1.4 倍。我国南部南岭山地与滇南山地一带，土壤全钼量大部分在 2 ~ 4ppm。

我国中部、华北平原和关中平原，成土母质主要是黄河、淮河带来的洪积冲积物，因而土壤含钼量很低。例如：河南省土壤中全钼含量平均在 0.68ppm，变幅在 0.1 ~ 2.5ppm，低于全国平均水平（1.7ppm）。陕西的 土、黑垆土、黄绵土平均全钼 0.7ppm，变幅在 0.4 ~ 1.1ppm。

东南部分浙江、江苏南部、福建含钼量也在 0.3 ~ 3.9ppm 之间，平均含量为 1.2ppm；广东则含量比较高，可能与成土母质有关。

20. 土壤中有效态钼含量状况如何？

土壤中绝大部分是难溶性钼，存在于矿物晶格、铁锰结核、氧化铁铝内，是植物不能直接吸收的。有效态钼包括水溶态、代换态钼，能被植物吸收利用的。因此，国内国外对有效钼分析研究较多。

就我国目前资料分析，有效钼缺乏的土壤分布面积很广，主要分布范围在我国中部，包括北方的石灰性土壤，主要是黄土、黄河、淮河冲积物发育的各种土壤，如 土，黄绵土、黄潮土、砂姜黑土等，究其原因土壤母质中全钼含量偏低。河南省据 2500 个样点土壤分析，有效钼在痕迹 $\sim 0.31\text{ppm}$ ，平均值 0.05ppm 。全省耕地面积 10,620 万亩，缺钼土壤面积 9,944 万亩，占 99% 以上。可见河南土壤有效钼的供应严重不足。从地理分布上看，全省除了栾川县的南泥湖、土房沟、马圈老庙沟、黄水庵一带钼矿区以及这一矿区流水可以影响的地区外，其它地区普遍缺乏钼肥。全省微肥试验也证实了这一点，钼肥施用只要得当，增产效果是十分明显的。

又如黄河中游各地黄土性土壤，据中国科学院地球化学所刁桂仪等分析，平均值 0.013ppm ，变幅在 $0.007 \sim 0.023\text{ppm}$ 间，呈现极缺乏状态。

我国缺钼土壤第二区域在南方，如红壤、砖红壤、赤红壤等。该地区土壤全钼含量较高，但由于酸性反应使土壤中钼的有效性下降。比如江西省土壤，据江西省农科院对 110 个样品分析，有效钼平均值 0.05ppm ，有 98.7% 标本缺钼。又如四川省农科院对四川盆地土壤进行分析，紫色土、黄壤有效钼低于 0.10ppm ，其它土壤也在 0.20ppm 以下，说明全钼含量高的土壤，能够供给植物利用的有效钼不一定就高。除此之外，东北、西北都存在部分土壤缺钼问题。

21. 土壤中的锰有哪些形态？

土壤中锰以多种形态存在，有水溶态锰、代换态锰、还原态锰和矿物态锰。前三种形态锰的总量称为活性锰，作物能够吸收利用，我们用 DTPA 浸提的是代换态锰。据河南省 1100 个土壤样品分析，平均为 17.8ppm，代换态锰的临界值是 1ppm，河南省平均值 17.8ppm，似乎大大地超过临界值含量指标。以此推断，河南土壤有效锰含量水平都在适量以上，大多数是丰富的，但是，近年来许多地方施用锰肥，小麦同样获得了增产，如密县城关东街试验点，1981 年、1982 年连续二年（均为三次重复）比对照分别增产 14.6% ~ 18%，而土壤含有效锰 10.81ppm。因此，我们认为，在河南省这样的自然环境和土壤条件下，临界值指标 1ppm 可能偏低。全国已有一些地方（例如与河南交界的陕西、河北等省）经过试验提出了自己省（DTPA 提取）临界值用 4 ~ 10ppm 的设想。

22. 土壤中全锰的状况如何？

地壳的所有岩石都含有锰，其含量比其它微量元素高得多。酸性火成岩（花岗岩、流纹岩等）、变质岩（片岩等）以及某些沉积岩中，锰含量变化很大，在 200 ~ 1200ppm 之间，基性火成岩象玄武岩、辉长岩的含量最高在 1000 ~ 2000ppm，石灰岩中的含量接近平均值为 400 ~ 600ppm，而砂岩中的锰含量低，一般为 20 ~ 500ppm。

地壳中锰的平均含量为 900 ~ 1000ppm (Kovda 等 1964 年)。世界土壤的全锰含量变幅很大：从波兰的灰壤痕迹到乍得的未淋溶碱土 10000ppm。大多数土壤含量在 500 ~ 1000ppm 之间，一般认为平均含量 850ppm。我国土壤含锰量通常在 42 ~ 3000ppm 之间，但有个别高达 5000ppm，平均为 710ppm (刘铮等)。

成土母质在很大程度上影响了土壤中锰的含量。以红壤为例：玄武岩发育的红壤锰含量 2000 ~ 3000ppm；砂岩、片岩、页岩发育的红壤则在 200 ~ 500ppm。又如黄河中游地区广大的黄土性土壤，全锰含量在 405 ~ 676ppm 间，平均为 550ppm。这一含量与河南土壤全锰平均含量 510ppm (变幅在 218 ~ 121ppm) 非常接近，其原因是，成土母质基本接近。四川省土壤平均全锰量在 641ppm，但变幅很大 (41 ~ 1550ppm 之间)，基性岩发育土壤含量最高，沉积岩次之。

当然成土条件也是影响锰含量的一大因素。现将我国按土壤类型区分，锰含量值 (见表 4)。

23. 土壤中有效锰含量如何？

锰的有效性与土壤的全锰含量关系不甚密切，但与土壤的酸度关系密切。就全国范围来说，缺乏有效态锰的土壤与石灰性土壤的分布十分吻合。缺锰土壤主要是石灰性土壤，尤其是 pH 值较高的质地疏松、通气性良好的土壤。我国南方局部地区分布的缺锰土壤主要是与成土母质含锰量过低有关。下面就几个地方有效态锰状况简述如下：

表 4 我国不同土壤全锰含量* (ppm)

土壤类型	变幅范围	平均值
砖红壤	200 ~ 3000	915
红壤	42 ~ 2270	640
黄壤	50 ~ 750	300
白浆土	850 ~ 1800	1400
棕色森林土	340 ~ 1000	770
草甸土	480 ~ 1300	940
黑土	590 ~ 1100	900
黑钙土	730 ~ 1200	840
暗栗钙土	250 ~ 900	580
土、黑垆土、黄绵土	660 ~ 1170	844
褐土	550 ~ 900	730
黄棕壤	200 ~ 1500	741
黄潮土、青黑土	262 ~ 362	425

*引自：中国土壤，科学出版社，1978年。

河南省土壤无论是全锰或有效态锰，变幅都大，一般相差几倍、十几倍，有的甚至高达几十倍。河南省土壤中代换性锰占全锰的 1.3 ~ 19.6% 之间，下面将河南省土壤全锰与有效锰含量情况列表（见表 5）。

河南省土壤中有效锰地理分布有以下几个规律：自南向北有渐渐降低的趋势，最高含量分界（30ppm 以上与以下分界线）线几乎与北亚热带暖温带自然地理分布线重合，例如北部安阳、新乡一带以 7 ~ 15ppm 含量为主，中部地区以 6 ~ 30ppm 为主（指开封、驻马店北部），而南部大部分高于 130ppm，山区土壤含有效锰明显高于平原地区，在平原地区尤

表 5 河南省土壤全锰与有效锰

含量表 (ppm)

土壤类型	全锰含量均值/ 变幅	有效锰 (DTPA 提取) 均值/ 变幅
潮土	483/441 ~ 522	11.4/2.2 ~ 35.2
褐土	531/504 ~ 598	12.6/4.2 ~ 19.6
黄棕壤	538/274 ~ 594	24.3/4.4 ~ 59.2
砂姜黑土	573/243 ~ 1219	65.6/4.6 ~ 137.0
水稻土	335/218 ~ 414	15.9/2.8 ~ 32.6
盐碱土	417/250 ~ 532	5.9/3.2 ~ 7.8
风沙土	371/293 ~ 494	5.1/4.0 ~ 5.8
棕壤	571/301 ~ 1003	24.8/7.8 ~ 47.0
平均	510/218 ~ 1219	17.8/2.2 ~ 137.0

以风沙土、盐碱土和沙土 (<7ppm) 为最低，一般情况下，水稻土高于相同母质的旱田土壤。北京地区，土壤有效态锰在 1.42 ~ 43.52ppm，平均含量 10.84ppm。从土壤含锰分级来看，大于 12ppm，占 31.5%；9 ~ 12ppm 土样占 24.1%；6 ~ 9ppm，占土样总数的 28.6%；6ppm 以下的占全部样品的 16.6%。含锰较高土壤在海淀、通县、房山、门头沟一带。

河北省张家口地区，有效锰变化在 0.44 ~ 10.04ppm 之间，平均为 2.19ppm。说明石灰性土壤有效锰较低。

四川盆地，据 600 个样品分析有效锰在 0.18 ~ 262.4ppm 之间，平均 27.8ppm。江西、浙江、江苏南部地区，平均含量也较高，说明酸性土壤锰的可给性很高，一般不会出现缺锰症状。但是，酸性土壤一旦过多施用石灰也会出现缺锰现象，应引起南方农村的高度重视。

24. 土壤中鉄的含量和分布如何？

地壳中和土壤中存在鉄是一个大量元素，因为它是地壳中丰富的矿物元素之一（约 5%），在硅、铝之后，丰度为第三。土壤中含鉄很少有低于 1% 的。在植物营养中鉄的作用则如同一个微量元素，它在植物中的含量往往为其它微量元素所超过，如硼、锰、锌。鉄作为土壤中微量元素的特征在于它的低溶解度和对植物的低可给性。因此，土壤工作者重点放在有效态鉄的研究上。

我国土壤中有有效态鉄含量自北向南逐渐增多，黄土母质发育土壤往往偏低。例如：黄土区土壤有 1/3 面积缺乏有效态鉄（见表 6）。

25. 河南土壤有效态铁分布有什么特点?

表6 部分地区土壤有效铁含量 (单位: ppm)

地区	土样数(个)	平均含量	范围值	资料来源
张家口	210	4.44	0.83 ~ 28.60	河北省农科院植保土肥所
山西中部		6.10	4.10 ~ 7.80	山西省农科院土肥所
北京	321	12.06	1.66 ~ 41.11	北京市农科院土肥所
河南省	1100	21.20	2.00 ~ 190.00	河南省科学院地理研究所
四川省	600	61.10	0.86 ~ 401.40	中国科学院成都地理所
江西省	1731	73.00		江西省农科院土肥所

据 1980 ~ 1983 年对河南土壤取土分析, 土壤中有效态铁地理分布, 有以下几大特点:

第一, 河南土壤中有效铁含量总趋势是, 自南向北含量逐渐减少, 与锰的分布有类似状况。

第二, 山区土壤有效铁含量高于平原土壤。大别山、伏牛山、桐柏山、太行山等山区土壤有效态铁一般大于 10ppm, 其中以桐柏山、大别山及其山麓丘陵、岗地有效铁含量最高, 平均在 20ppm 以上。

第三, 黄河、唐白河、洛河、卫河、沙颍河流域土壤中, 有效铁低于平原的其它地区。这些地方有效铁多在 4.6 ~ 10.0ppm 的含量范围。

第四, 水田有效态铁明显高于旱地, 地处北亚热带地区的西部以旱作为主, 土壤有效态铁含量在 4.5 ~ 10.0ppm 之间, 东部水田地区, 有效铁则都在 20.0ppm 的含量水平以上。

第五, 河南土壤有效铁最高含量分布区域的北界, 似同北亚热带与暖温带气候的东部分界线十分接近。

第六, 各土类之间含量有较大的差异。水稻土 (69.68ppm) > 棕壤 (36.60ppm) > 黄棕壤 (12.34ppm) > 砂姜黑土 (10.20ppm) > 褐土 (9.73ppm) > 潮土 (9.54ppm) > 盐碱土 (9.04ppm) > 风砂土 (8.93ppm)。

26. 铜在土壤中有哪几种形态？

按铜在土壤中的形态可分为水溶态铜、代换性铜、难溶性铜以及铜的有机化合物。水溶态、代换性的铜能被作物吸收利用，因此称为有效态铜。后两者铜则很难被植物吸收利用。四种形态的铜加在一起称为全量铜。

水溶态铜在土壤中含量较少，一般不易测出，主要是有机酸所形成的可溶性络合物，例如：草酸铜和柠檬铜。此外，还有硝酸铜和氯化铜。代换态铜是土壤胶体所吸附的铜离子和铜络离子。

27. 土壤中全铜含量状况如何？

地壳中铜的平均含量估计为 70ppm，土壤中的含量范围一般约 2 ~ 100ppm，平均在 20ppm。靠近铜矿的富铜土壤，铜的含量往往达 5000ppm 或更高。土壤的全铜含量常常与它的母质的来源和抗风化的能力有关，因此，也与土壤质地间接相关。土壤中的铜来自含铜矿物——孔雀石、黄铜矿、含铜砂岩等，一般情况基性岩发育土壤，含铜多于酸性岩，沉积岩中以砂岩含铜最低。

据现有资料，我国土壤全铜含量在 3 ~ 300ppm 之间，平均为 22ppm。例如：我国黄土区土壤，含全铜含量在 15 ~ 42ppm 之间，平均为 26ppm。山西省土壤全铜量在 11 ~ 24ppm 之间，均值为 18.8ppm；四川盆地据报道土壤平均含铜量为 33ppm，在 9 ~ 125ppm 范围波动，略高于全国平均值。

我国热带、亚热带地区红壤、赤红壤等平均含铜量为 2⁹ppm，砖红壤平均为 44ppm 左右。地处中原河南省土壤，全铜含量 0.9 ~ 45.2ppm 之间，平均值为 18.5ppm，略低于全国与世界土壤平均值。各类土壤的含铜量按多少排列如下：

砂姜黑土 (25.49ppm) > 潮土 (22.48ppm) > 褐土 (22.18ppm) > 盐碱土 (18.78ppm) > 棕壤 (17.81ppm) > 黄棕壤 (15.58ppm) > 风沙土 (8.44ppm)。

28. 土壤有效铜的含量状况如何？

我国土壤有效态铜含量变化不大，除少数有机质土壤外，一般供应比较充足。铜的临界值（DTPA 提取）以 0.2ppm 为标准，让我们来看一看，部分省、市的有效态铜含量。

河南省土壤的有效态铜含量，据 1980～1983 年调查分析，（DTPA 提取）原子吸收分光光度分析，平均在 1.33ppm；于 0.24～5.54ppm 之间波动。各类土壤有效态含量顺序如下：

水稻土（2.41ppm）> 砂姜黑土（1.36ppm）> 潮土（1.34ppm）> 黄棕壤（1.29ppm）> 盐土（1.27ppm）> 褐土（1.06ppm）> 棕壤（0.89ppm）> 风沙土（0.72ppm）。各类土壤有效铜含量变化相差 3 倍左右，变动不大。土壤含铜量是比较丰富的。河南大致可分为三个区，栾川、卢氏、鲁山、汝南和太行山区的博爱、修武、沁阳等县，以及桐柏丘陵、大别山北麓和淮河两岸水稻土地区，焦作和新乡市土壤有效铜平均 2.08ppm 左右，是丰富区，一般不用施用铜肥。

灵宝、洛阳、陕县到西华—郑州—一线褐土地区，豫北滑县—原阳—中牟—开封一带，土壤有效铜介于 0.24～1.60ppm 之间，平均为 0.9ppm，是土壤供铜能力较低地区，可能缺乏，应进行试验推广铜肥，其它地区平均含量在 1.49ppm，是全省中等供铜肥能力区，应根据作物，进行试验研究，方可决定施用与否。

北京、山西、四川、江西的土壤，从部分土壤含量来看可以找到一个规律，有效态铜含量南北、东西之间各类土壤波动不大。例如：据江西省省农科院土壤肥料所 1937 个土样分析，平均含量在 2.11ppm（只有 3% 土壤低于 0.2ppm），北京地区有效铜含量介于 0.3～19.44ppm 之间，平均含量 2.21ppm，至今未发现土壤含铜量不足而造成作物缺铜的症状。北京与江西—南—北，土壤条件与类型差异甚大，但含有效态铜波动很少。再与四川盆地比较，也相差无几。据资料，四川省 600 个样品分析结果表明：土壤有效铜在 0.1～9.44ppm 之间，平均值为 2.53ppm。大部分土壤不缺乏，只有盐亭县的砂质土、绵阳地区部分土壤缺乏铜，使用铜肥小麦收到一定增产效果。山西中部土壤平均有效态铜为 0.65ppm，介于 0.24～1.60ppm，铜供应也是比较适度的。

(四) 判断土壤中微量元素含量的标准和影响 土壤微量元素有效性因素

29. 土壤中微量元素的全量和有效态含量有何区别？

土壤中微量元素的总含量（包括各种形态）称为全量。全量中又可根据能否被植物吸收利用而分为可给态和不可给态两部分。可给态即指能被植物吸收利用的部分，称为“有效态含量”或“速效态含量”；不可给态又称“固定态”，是植物无法吸收利用的，至少是暂时不能吸收的部分。全量减去不可给态就等于有效态含量。在土壤中，有效态微量元素含量一般只占全量的极少一部分，即有效态的含量很低。譬如，河南省水稻土全钼与有效态钼之间比例还不到十比一，但它起着决定性作用。

我们说土壤中缺乏不缺乏微量元素，通常就看有效态含量高低。有些土壤微量元素的全量比较高，但它的有效态含量却很低，生长在这种土壤中的农作物，依然会因缺乏微量元素而出现缺素的生理症状。

30. 目前国内土壤的微量元素采用什么分析方法？

近年来土壤和植物中微量元素分析，随着科学技术的发展，除了习惯用的比色分析、发射光谱分析、极谱分析以外，原子吸收分光光度计、自动分析仪、离子灵敏电极的应用日趋普遍，中子活化分析及火花源质谱分析、X光荧光分析等近年来也应用于土壤和植物中微量元素的测定工作。

比色分析不需要贵重和复杂仪器设备，易于掌握和推广，尤其适用于基层单位的试验室和为数不多的标本分析，缺点是分析速度比较慢。在省、地一级设备条件较好的试验室，可根据任务的性质、对分析结果的准确度的要求、欲测试的元素、标本数量的多少来选用原子吸收分光光度分析、发射光谱分析或极谱分析。例如，大批量主要成分含量相似的土壤（全量）微量元素的测定，以光谱分析为最好。土壤中可给态微量元素，最好使用原子吸收分光光度计直接测定。至于中子活化分析、X光荧光分析和火花源质谱分析由于设备昂贵、技术复杂，国内少数单位才有，并不适合于一般单位做例行分析之用。

各种仪器和分析方法都有它的优缺点，并不能用一种仪器和方法代替所有的其它仪器和方法。土壤中不同元素，根据我们调查和实践，国内（有效态部分）分析方法简述如下：

有效态钼：一般采用国产极谱仪。采用 Tamm 溶液（草酸—草酸铵，pH3.3）提取液用催化极谱法。灵敏度高，可比性好。

有效态硼：一般采用沸水提取 5 分钟，姜黄素比色法。该方法灵敏度高，可比性较好。

有效态铜、锌、铁、锰：国内目前采用 DTPA 液提取，原子吸收分光光度计法测定较为普遍。但要注意一点，分析方法不同，提取剂不同，判断土壤丰缺程度时的临界值指标不一样，这一点也适合植物体中微量元素临界值指标的判断。

31. 怎样利用土壤微量元素分析结果？

土壤中微量元素分析工作，需要一定仪器，成本较高，因此不可能象氮、磷、钾一样，取样品很多，而是不同土壤类型取一些有代表性的样品进行分析，指导农民施肥。好在土壤中微量元素含量变化，不象氮、磷、钾元素那样在小范围内差异显著。以往农民基本上没有施用任何微肥，因此可以认为，当前土壤中微量元素多寡主要取决于土壤本底含量。只要土壤类型、成土母质一致，气候，水文条件差异不大，可以说微量元素含量相差不会太悬殊。因此，有些土地即使分析结果表上查找不到，也可以从相近地区土壤含量来推断丰缺程度。例如：河南省科学院有关科技人员，对河南全省土壤进行了普查分析，整理了全省各地区、县的档案资料，你可根据这一资料来查找你处的土地是否缺乏微量元素，缺什么元素，供购买微肥时参考。否则，无根据购买和滥用微肥，不但达不到增产目的，反而会减产。四川、山东、上海市、湖北、新疆等地都进行了普查，整理了分析结果，可供各地参考，同时将土壤分析结果和各元素土壤分析结果的评价标准对照起来，就能知道你处土壤微量元素丰缺状况。

32. 土壤中硼的评价标准是多少？

土壤中的全硼含量仅能作为潜在供肥能力的指标，不宜用来判断土壤中硼的供给能力。土壤中的有效态硼（用水溶态硼来表示），是指立即可被作物吸收利用的硼。

从目前现有资料看，有效态硼的缺乏临界浓度在 0.5ppm。就是说，土壤中有效硼含量，低于 0.5ppm 时，说明土壤十分缺乏硼肥，应该施用硼肥，一旦施用硼肥对作物产量与品质就会明显提高与改善。

若土壤有效态硼在 0.5 ~ 1.0ppm 时，为缺硼临界边缘值。如果种植对硼敏感作物，如油菜、甘蓝等也应该施用硼肥。

一旦土壤中有效硼浓度大于 1.0ppm 时，不用施用硼肥。作物一般不会出现缺硼症，相反施用不当，还会引起硼的中毒而造成减产。

上述的指标是对一般土壤而言，是有局限性的，根据土壤类型和作物种类，可作进一步的区分。

33. 土壤中锌丰缺评价指标是多少？

不同的土壤分析方法不一，评价土壤中锌丰缺的指标也不相同。严格地说，不同的作物评价指标也有所区别，例如美国学者林赛（Lindsay）认为玉米缺锌临界值应该为 0.80ppm，张乃凤等研究提出缺锌的诊断指标，玉米为 0.60ppm，水稻为 1ppm。

鉴于目前国内使用 DTPA 螯合剂提取较为普遍，多数学者同意将土壤有效锌临界值定为 0.50ppm。一旦土壤有效锌含量低于 0.50ppm，一般作物可能会出现缺素症状，产量会受到严重减产，施用锌肥会得到较好经济效益，必须施用锌肥。若土壤含有效锌在 0.50~1.0ppm 之间，土壤处于缺锌边缘值，比较敏感作物应该施用锌肥（如水稻、玉米等作物），一旦补充锌肥敏感作物上也会获得显著的经济效益。如果土壤中有效态锌含量大于 1.00ppm 时，可以暂不施用锌肥。

这里需要说明一点的是，临界值指标，随着科学技术水平、作物产量提高及氮、磷、钾化肥用量增加，需要不断修正。

34. 土壤中钼的评价指标怎样？

土壤中钼的测定有双重意义，一是判断土壤供给钼的能力，是否需要施用钼肥；二是判断土壤中钼是否过多，对食草动物有无不良影响。特别是，环境污染问题突出后，钼的测定成了非常必要的指标之一。

全钼不足以说明供给能力，因此，评价是采用有效钼的含量高低。有效钼用草酸—草酸铵溶液所提取的含量，临界值指标定为 0.15ppm。报道比较一致，即土壤低于 0.15ppm，说明缺乏钼肥，种植豆科等作物，必须施用钼肥才能取得较高产量。

若在 0.15 ~ 0.2ppm 时，处在缺钼边缘值范围，对钼敏感作物应该施用钼肥。

如果土壤含量大于 0.2ppm 时，不用施用钼肥。一般不会出现缺钼症状，相反过量施钼会带来危害。

另外在评价时，要考虑土壤条件，例如土壤 pH 值，磷肥施用情况和不同作物的差异。

35. 土壤中锰含量丰缺评价指标是多少？

评价锰的丰缺以有效锰为准。

有效态锰的临界指标有两种不同表示方法。一种用代换态锰，另一种是易还原态锰。

易还原态锰的临界值，据报道为 100ppm，目前国内使用代换态锰较多。

代换态锰是指用 DTPA 等螯合剂提取的锰，目前国内外报道临界值指标争议较大。例如：美国林赛（Lindsay）认为 1.0ppm 为临界值，日本鸣田永生则认为 10ppm 为缺锰，其临界值范围在 20ppm 附近。陕西省农科院王学贵初步试验提出锰的诊断标准，水稻土在 20ppm 以下，豆科作物（土、黄绵土）在 10ppm 以下，需要锰肥。中国科学院南京土壤所刘铮等认为：用 1N 醋酸—醋酸铵（pH7.0）提取的临界值为 3ppm。国内有的学者根据自己研究，提出 7ppm 为临界值等等。

根据我们几年的研究认为，不同的土壤和不同的地区，代换态锰临界指标应有所不同。河南省土壤据我们布点试验，初步结论是 10ppm 比较合适。10.0~15.0ppm 为缺乏边缘值。例如：河南宁陵县在土壤有机质含量 0.55%，有效态锰为 9.29ppm 的薄碱地上，花生用锰肥浸种，结果亩产比对照 200 斤增加 60 斤，增产 30%，就是例证。

36. 土壤中铁、铜的评价标准是多少？

土壤中有有效态铁的临界值研究较少。目前国内外采用美国林赛(Lindsay和Norvell)等人(用DTPA提取)建立的科罗拉多州大学土壤试验站使用的方法较常见。其指标如下：

- (1) 有效铁含量 0.0~2.5ppm 表示缺乏。
- (2) 土壤中有有效铁含量在 2.5~4.5ppm 时，表示处在缺乏边缘值。
- (3) 当土壤中有有效铁含量在 4.5ppm 以上为充足。

土壤中有有效态铜的研究国内研究较少，临界值指标也是参考国外数值。我国土壤中有有效铜含量变幅较少，铜的临界值(DTPA提取)0.2ppm 已被人们所接受。近年来我们在土壤有效铜含量大于 0.2ppm 耕地上施用铜肥，苹果、小麦等获得了增产，临界值似有修改的必要。

37. 土壤缺硼的原因是什么？

根据研究，自然界中广泛存在着硼，动物、植物残体、降雨降雪、矿物等都是土壤中硼的来源。但土壤微量元素主要来自成土母质。硼主要来自成土母质中矿物——电气石。电气石风化后，硼以硼酸根离子 BO_3^{-3} 的形态进入土壤。沉积岩发育的土壤比火成岩发育的土壤含硼多；干旱地区土壤多于湿润地区；沿海地区土壤多于内陆地区。土壤缺硼第一个主要原因是全硼含量低导致土壤有效态硼缺乏，作物表现缺硼症状，例如我国南方花岗岩及其它酸性火成岩发育的土壤。另一个原因是，成土过程改变了微量元素硼的含量与分布。例如，黄土发育的土壤全硼含量不低，但有效硼含量则偏低，同样表现出土壤不能满足作物需要，呈现缺素症状，第三个原因是，土壤酸度不适，吸附固定导致土壤缺硼。第四个原因，施钾肥过多会加重土壤缺硼，因钾肥对硼有拮抗作用。此外，土壤质地太粗或缺乏有机质都会导致缺硼。

综上所述，土壤缺硼有内因外因两方面原因。土壤本身含硼量过低是缺硼的内因，土壤条件则是外因。

38. 哪些土壤容易缺硼？

容易发生缺硼的土壤，施用硼肥往往会取得良好的经济效益。据调查，下列土壤容易缺乏硼素，应注意施用硼肥：

- (1) 含全硼量低的土壤。例如，由酸性火成岩发育的土壤。
- (2) 石灰性土壤，特别是含游离碳酸钙多的土壤。
- (3) 淋溶强烈的酸性土壤。
- (4) 质地较轻的土壤。如砂土、风沙土等。
- (5) 有机质含量低或很少施用有机肥料的土壤。
- (6) 大量施用石灰的酸性土壤，时间一长就会导致缺硼现象的出现。
- (7) 酸性的腐泥土、泥岩土等有机质土、沼泽土。

39. 影响土壤中锌有效性的因素是什么？

影响土壤中锌的有效性因素中，除了成土母质和土壤类型外，首先是pH。一般情况下，随着土壤pH值的升高，有效态锌含量降低。pH值高的土壤容易缺乏锌。例如，从河南省来看，北亚热带地区pH值5.0~7.0之间，有效态锌含量平均0.70~0.93ppm之间，豫东、黄淮海平原上盐土、盐化潮土pH7.6~9.1之间，锌含量在0.57~0.40ppm之间。又如四川省土壤pH值的差异很大，酸性紫色土，pH只有5.0；最高的碳酸岩紫色土，pH值高达7.8，有效锌差别较大。有效性锌较高土壤，pH基本上在6.0以下或6.0左右，而pH6.5以上的土壤有效锌含量都低。据有关文献报道，土壤pH值对有效态锌的影响最为突出。

其次是碳酸钙与粘土矿物。土壤中碳酸钙与锌结合成溶解度较低 $ZnCO_3$ ，降低了有效锌含量。同时，吸附在碳酸钙矿物表面的锌也不易被作物吸收利用。因此缺锌症常发生在石灰性土壤上。但酸性土施用石灰过量，也会诱发缺锌。锌容易被粘土矿物固定，降低有效性。

第三，是质地。据分析，黄淮海平原土壤有效锌含量顺序：粘土>两合土>砂土。这与成土母质中土壤全锌高低有关。北京市农科院土肥所研究报告中也指出：土壤机械组成与土壤中有效锌含量高低，十分密切。一般说来，土壤质地越砂，锌含量越低，质地越粘，含量越高。北京土壤中锌，粘质土>轻壤土>中壤土>砂壤土>砂质土。

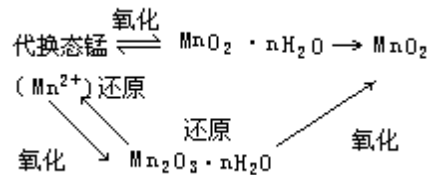
第四，锌—磷的拮抗作用。土壤中锌与磷酸会形成难溶性磷酸锌 $Zn_3(PO_4)_2$ 沉淀，这是引起作物中磷锌比例失调之缘故，在实践中，我们常观察到含磷高的土壤中，反映出缺锌症状。随着磷肥施用量增加，会引起作物严重缺锌，这一点务必注意。例如，新乡市郊区土壤据分析测定有效锌含量较高，可是锌肥试验增产效果也十分明显，其道理就是磷锌比例问题，磷肥多了锌肥势必要增加，用以往的临界值来衡量就显得不一定合理。

最后应当指出的是，土壤中有有机质与有效态锌含量成正相关，即有机质含量高的，有效锌的含量一般都比较高。

40. 影响有效态锰含量的因素有哪些？

土壤中的锰主要以二、三、四价的状态存在。不同形态的锰在土壤中保持动态平衡，影响其平衡的因素较多，因此影响有效态锰含量的因素也就多，择其主要叙述：

首先，是受 pH 值的影响。当 pH 值增高时，平衡向氧化锰的一方，则锰的有效性下降；当 pH 值降低时，平衡移向二价锰的一方，锰的可给性升高，如下式所示：



第二，是土壤氧化还原电位。当电位愈低，即强度还原条件下，二价锰就愈多。疏松的质地、良好的通透性，氧化还原电位高的土壤，是降低锰可给性的土壤条件。水稻土由于长期处于淹水条件，以致有效态锰含量较高。

第三，土壤有机质含量也影响锰的活性。有机质含量高的土壤，往往有效态锰含量亦高，因为有机质的存在，可以促进锰的还原而增加活性锰。

由此可知，不同土壤类型理化性状不同，锰的含量及其有效性也不会一样。

41. 影响土壤有效铁的因素有哪些？

影响土壤中有效铁的因素较多，其中有：

(1) 土壤 pH 值。pH 值高的土壤含有较多的氢氧根离子，与土壤中铁生成难溶的氢氧化铁，降低了土壤有效性，河南省土壤自南到北，pH 逐渐升高，而有效铁含量却逐渐降低。据 954 个样品的统计，我们可以看出铁的有效性与 pH 值呈负相关（见表 7）。

表 7 河南土壤 pH 与铁的有效性关系

pH 范围	样品数	有效铁平均含量 (ppm)
5.01 ~ 6.0	34	88.6
6.01 ~ 7.0	60	39.0
7.01 ~ 8.0	207	14.8
8.01 ~ 9.0	622	10.1
> 9.0	31	8.3

(2) 氧化还原条件。长期处于还原条件的酸性土壤，例如，豫南淹水条件下的水稻土，铁被还原成溶解度大的亚铁，有效铁增加。相反，在干旱，少雨地区土壤中氧化环境占优势，使三价铁增多，从而降低了铁的溶解度。

(3) 土壤有机质。据我们分析，土壤有机质含量高的土壤，有效铁的含量也较高。

(4) 碳酸钙含量。碱性土壤中，铁能与碳酸根，生成难溶的碳酸盐，降低铁的有效性。

(5) 成土母质。成土母质决定全铁含量，对有效铁的影响也极为深刻。从河南省不同类型的土壤中有效铁含量分布可以看出，相似母质来源的不同类型土壤，有效铁含量水平也极为相似。例如：潮土、褐土、风沙土和盐碱土，它们的母质来源相似，有效态铁的水平也十分接近。

从上述可知，容易发生缺铁的土壤有以下几种：盐碱土、碱性反映强烈土壤、施用大量磷肥土壤、风沙土和肥力较低的砂土。

近年来，我们对小麦、玉米、花生、大豆等作物，进行了铁肥施用试验，取得了不同程度的增产。例如，在砂壤土、两合土、厚复壤质黑老土上，在小麦拔节期、扬花期，使用 0.1 ~ 2.0% 的有机铁肥各喷一次，肥效良好。用 2% 浓度有机铁叶面喷洒十个试验点，平均增产 9.3%，亩增小麦 27 公斤。今后要注意在有机质含量低的旱作土壤和 pH 高的碳酸钙含量多的土壤上，首先施用铁肥。

42. 影响铜有效性的因素有哪些？

影响土壤中铜的有效性因素有：土壤 pH 值、有机质含量、碳酸钙含量、磷素的含量等。

(1) 土壤 pH 值。土壤 pH 值是影响土壤有效性铜的重要因素，土壤中铜的溶解度随着 pH 值的降低而增高（见表 8）。土壤 pH 值越低，铜在土壤中溶解度越大，而且有利于铜在土壤中迁移。

(2) 有机质含量。铜易与有机质形成稳定的络合物而降低铜的有效性。因此，在有机质较多的泥炭土和沼泽土上，作物常出现缺铜症。

(3) 碳酸钙的含量。在石灰性土壤中，有效性铜可能作为铜的碳酸盐沉淀，影响铜的有效性。

(4) 磷的含量。长期地大量施用肥磷，铜与磷会形成不溶的磷酸盐，铜的活性降低。随着磷肥用量的增加，应该密切注意铜的有效含量变化。

表 8 河南土壤有效铜与 pH 值的关系（耕层）

pH 值	标本数	有效铜含量 (ppm)	
		变化范围	平均值
5.0 ~ 9.0	12	0.96 ~ 2.96	2.50
6.1 ~ 7.0	38	0.32 ~ 3.30	1.45
7.1 ~ 7.5	84	0.38 ~ 3.88	1.44
7.6 ~ 8.0	103	0.30 ~ 3.66	1.42
8.1 ~ 9.0	653	0.18 ~ 3.98	1.32
9.0 以上	31	0.50 ~ 2.98	1.23

（五）作物缺乏微量元素的营养诊断方法

43. 作物缺乏微量元素的营养诊断有什么意义？

施用微肥要有的放矢、恰如其分，如果盲目地、大量地施用，不仅无益反而有害，对作物产生毒害作用。为了合理施用，必须根据微量元素对不同作物的不同效果，有针对性的选用，同时应了解作物缺乏的是哪种微量元素，需要补充的量是多少，进而选择适当施用时间和方法。

微量元素的营养诊断的目的，就是为了明确土壤中供给情况和农作物对微量元素的需要情况，以便及时地合理地施用微肥，使农作物获得高产和提高产品的质量，所以微量元素营养诊断是施用微肥不可缺少的技术工作。

44. 作物缺素诊断有几种方法？

微量元素缺乏病症的防治就象治疗其它病害一样，都必须是“对症下药”，才能做到“药到病除”。如何做到这一点呢？这就首先要正确识别各种微量元素的缺素症状。要象医生看病一样，采用望、闻、问、切等方法，进行周密的调查、细致的观察、正确的化验和严谨的验证。其方法是：

- (1) 周密的缺素调查。
- (2) 目视诊断法。
- (3) 土壤化学分析诊断法。
- (4) 植物的化学分析诊断法。
- (5) 温室和田间栽培试验诊断法。
- (6) 根外喷施诊断法（即应急试验法）。

上述 6 种方法，要互为补充，不可根据一二种方法轻易下结论。

45. 如何开展缺素调查？

在作物发生了病症或生长不正常的时候，要进行纵的（即历史的）、横的（即地域的）调查，排除大量不可能的因素，把“可能性”尽量缩小到某一特定的原因上，然后进行化学分析或生物试验，以求得正确结论。微量元素缺素症很容易与大、中量元素缺乏症和致病微生物引起的真正病害相混淆，应认真排除。调查内容包括：

（1）发病历史和土壤类型。大面积的发生微量元素缺乏症的主要原因是土壤供应不足。因此，缺素症经常在固定区域、固定土类上发生。发病情况在不同的土壤上有着明显差异，其原因是不同土壤微量元素含量不同。同时，有随着化肥用量增加而加重的趋势。例如：酸性土壤容易缺钼，而碱性土壤容易缺锌、锰、铁等。沙土缺素症比粘土严重；薄土干旱时比厚土湿润时严重；两季田缺锰比一季田严重。

因微生物引起的病害在地域分布上与缺素症有明显的不同。真正病害的发病土类界线不很明显，有的病害发生虽有一定区域性，但多与区域气候关系密切。气温愈高，土壤愈潮湿，真正病害的发病就越严重，而缺素症则是在气温回升时病症往往缓慢。真正病害多发生在好田，好土上，而缺素症多发生在瘦田上。1984年6月，我们在河南省驻马店调查了大面积黑松芽枯、流汁、流胶，最后全株死亡情况。很明显，不同土壤类型或不同成土母质的相同土壤类型上生长的黑松，发病率有显著差异，排除了真菌感染而得病原因的可能性，初步确定为缺硼引起的生理缺素病害。

（2）施肥与栽培情况。施肥情况调查可以排除大量元素的缺乏症。如果施用了氮、磷、钾肥，就可以排除相应的缺素症。

长期施用过磷酸钙或前作施用大量磷肥，不可能缺乏磷素。

施用了钙镁磷肥的不会缺乏钙、镁元素。相反，长期大量施用氮、磷肥还可能导致或加重微量元素的缺乏。

尿素与种子接触有时要造成幼苗白化矮缩。浓度过大的根外追肥常常会在叶面造成灼伤斑痕。

一般情况下，栽培措施带来的作物生长不正常总是局部的、个别的。例如，整地不良、播种过深、过浅、栽插质量差带来的出苗不齐、不壮，深插造成的返青迟……等，而这些情况总是零星的分布，总有人为的痕迹，与某些农活质量差的人的作业区一致。喷药造成的危害，药害总在该项农活进行后不久出现，而且能找到当事人详细询问予以验证。

（3）气候情况。缺素症状的发生一般说来，常出现在当季作物生长期的低温阶段。移栽作物多发生在老根死亡新根将长出阶段。其原因是，土温低、气温低，土壤养分活化差、根系还未形成或不发达、吸收养分的能力弱。当然低温会对作物产生直接危害（即冻害），但冻害与缺素造成的危害很容易区别。冻害，总是发生在特别强的霜冻或低温后，且全田和全区相当一致，几乎无一幸免，损害作物的部位有明显的时段性，即总在某一叶位或穗段发生。

（4）环境情况。环境情况调查指在排除一些特殊物质的危害。环境污染引起的症状，也是局部的。如附近可能有化工厂、农药厂的废气、废水、废渣的污染。近期或以前是否施用过不明成分的农药、污泥、矿渣或肥料。发病田块是否敞放或泼施过氨水或堆放过化学物质或工厂下脚料。上述情况都

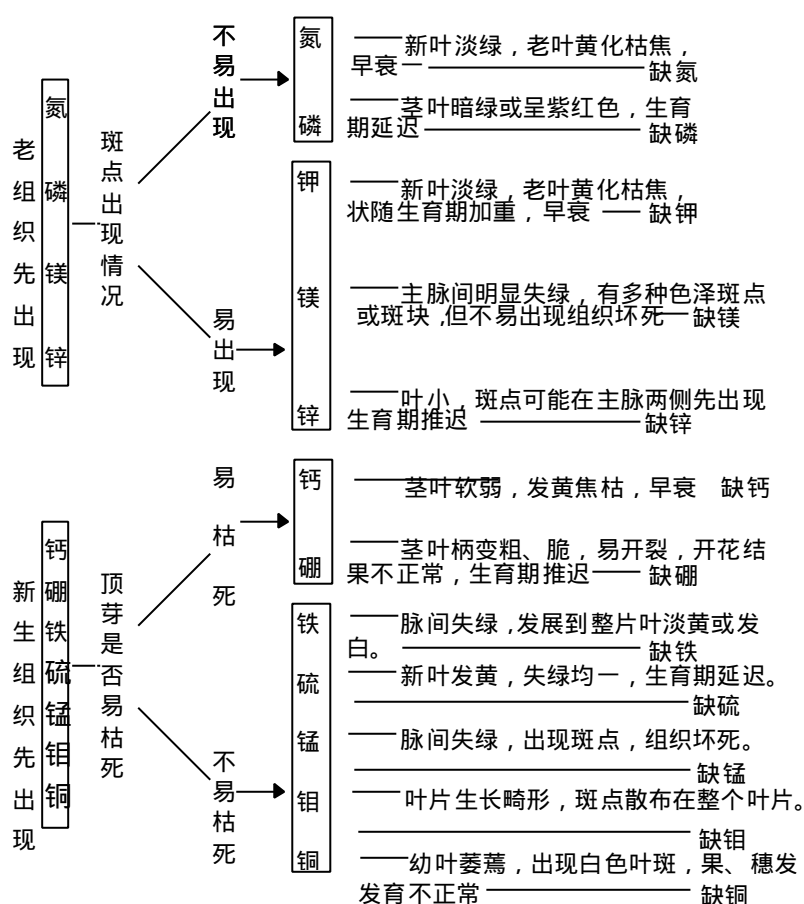
可能造成作物的毒害而被误认为是缺素症状。

46. 什么是目视诊断法？

目视诊断就是根据缺乏症状进行诊断的一种方法。微量元素供给不足时，引起植物营养失调。严重缺乏时，就会表现出种种症状，因此，惯以根据作物病症特点，诊断出缺乏那一种微量元素。目视诊断有人又叫外形诊断或外观诊断法。常用人工培养一些植物，在出现缺乏症状时，制成彩色相片或幻灯片，以供检索之用。许多单位已制成图片出售可供检索与学习，并列有检索表（见表9）。

目视诊断，只有在严重缺乏某种元素时适用，中度缺乏微量元素时，在植物外部有时不表现出明显的缺乏症状，往往不能作出正确的判断。因此，一般说来，目视诊断只是初

表9 作物营养元素缺乏症检索简表



步的诊断法，经常需要用其它方法来进一步验证，应结合在发生症状的田间进行实地考察，对地理环境作一宏观了解（地形、水势、平整度等），以推测涝害或干旱影响。对发病植株观察包括地下和地上部分，一般说来缺素症多在叶片和茎秆上呈现病斑。

47. 什么是土壤化学分析诊断法？

在进行实地调查和考察以后，往往不能肯定是缺乏什么元素引起的生理病害，这时就要进行土壤化学分析，一般说来，土壤中有效态的微量元素含量在临界值低限以下的会产生缺素症，或施用该种微量元素有良好的效果。具体做法是，在地块中用对角线法，或蛇形法，采集一定量土壤样品，送到有条件的化验室，用一定的溶液来处理土壤试样，测定所溶解的微量元素含量，作为这块地的土壤对植物有效态养分供给多寡的一个指标。然后对照土壤评价标准，判断土壤是否缺乏，或做为是否能引起缺素症的一个依据，这个过程就称为土壤化学分析诊断作物缺素症法。

48. 分析微量元素时取土样有什么要求？

前已述及，所谓微量元素指土壤中含量甚微的意思。因此，土壤样品的采集应注意取样工具和包装品的清洁，最好用竹木工具或不锈钢刀取样，用清洁塑料袋盛装。晾干土样时，要用塑料布或白纸，不能用报纸，同时在土样上面覆盖一层白纸以免灰尘落到土面，引起分析误差。分析土壤中微量元素时比常规分析氮、磷、钾时的取土要求更严格，前者自始至终不能接触铁器，或有污染的化学品，否则分析误差会很大。

采回的土样，晾干后用聚乙烯塑料板、棒研磨。分别通过 80 目和 100 目尼龙网筛，贮放塑料袋中待测。常规分析时，可用粉碎机研磨，网筛可以用铜筛。分析微量元素则一定要用塑料板，尼龙筛，区别就在于此。

49. 什么是植物化学分析法？标准是多少？

在判断土壤或作物缺乏什么元素时，除了要采集土壤样品进行分析外，还应采集相应的植株进行微量元素分析。然后根据植物体内微量元素含量高低，与临界值相比较，来综合判断丰缺程度，这一过程就是利用植物化学分析法来判断作物缺素症的意义所在。

那末作物养分含量指标是多少？

下面所列的表 10、表 11 是国外的一些作物养分含量指标因为土壤、品种不同，分析方法不同，因此使用时只能作为参考。表 10 各种作物的微量元素含量指标

作物	部位	平均值或临界值	ppm					
			铁	锰	硼	铜	锌	钼
水稻	叶片	平均值	120	145	5	6	19	0.9
		临界水平	25	50		2		
玉米	穗叶	平均值	130	80	13	10	33	1.1
		临界水平	25	30	4	4	13	
	全植株	平均值	140	50	9	8	26	0.8
小麦	叶片	平均值	80	60	8	8	32	0.8
		临界水平	20		4	4		
大麦	叶片	平均值	70	35	10	7	26	0.6
		临界水平	20	18	4	4	14	0.3
大豆	叶片	平均值	130	95	35	11	36	2.2
		临界水平	25	20	15	6	15	0.6
花生	叶	平均值	130	95	32	8	27	2.0
马铃薯	叶和叶柄	平均值	200	120	35	13	44	5
		临界水平	75	30	9	6	15	
高粱	叶片	平均值	85	50	12	8	27	1.1
		临界水平	30	18	4	3	10	0.3
棉花	叶和叶柄	平均值	120	85	50	12	35	3
		临界水平	70	25	20	6	15	
烟草	叶	平均值	200	190	31	15	36	1.1
		临界水平		35	16	5	18	
甘蔗	叶	平均值	85	45	7	8	20	0.9
		临界水平	25	17	3		7	

表 11 果树、蔬菜、牧草微量元素含量指标

作物	部位	平均值或临界值	ppm					
			铁	锰	硼	铜	锌	钼
柑橘	成熟叶	平均值	85	45	36	12	24	
橘	叶	平均值	130	120	54	15	60	
		临界水平	35	15	8	6	10	
苹果	成熟叶	平均值	90	65	22	12	25	0.8
		临界值	15	6	8	4	5	0.05
桃	叶	平均值	130	90	18	12	40	0.7
山核桃	叶	平均值	100	115	55	20	42	3
樱桃	成熟叶	平均值	45	60	25	19	27	1.2
番茄	成熟叶	平均值	160	130	52	20	36	1.0
		临界值	40	40	20	3	15	
黄瓜	叶	平均值	140	115	45	16	35	
芹菜	外叶和茎	平均值	125	90	40	11	36	3
莴苣	全顶部	平均值	120	120	32	14	45	0.8
甜菜	叶和叶柄	平均值	180	105	35	14	35	1.1
		临界值	95	30	18	5	14	0.5
苜蓿	开花初期	平均值	95	60	44	11	35	0.2
	全顶部	临界值	25	25	20	5	18	0.6
三叶草	全顶部	平均值	65	45	30	11	34	2.0
		临界值	25	25	15	6	11	0.7

50. 植株样品采集应注意哪些问题？

植株应采集足够数量的、有代表性的、相同部位的样本，并按规定用去离子水或蒸馏水清洗烘干。如需要测定其中某些有机物含量，应及时置于80~90℃烘箱中烘半小时杀酶。发病与未发病植株应是同一品种，同生育期，其栽培、施肥条件也应一致的样本为最好。常用的是采集倒数第一、第二全展叶或心叶分析。正常的植株和不正常的植株，测定后的结果进行对比，根据含量差异作出判断，确定缺乏的是何种微量元素。

美国植物分析的方法已普遍采用，每年至少为生产单位分析样品达400万个以上。

51. 如何开展温室和田间试验来诊断缺素症？

对作物缺素症最可靠的判断方法是进行生物试验，即把相应的肥料施用于产生缺素症的作物上进行验证。如果有效，肯定缺乏这种元素；如果生物试验无效，则可排除这种元素缺乏的可能性。

这一方法可以在已经发病的作物上进行，也可以重新播种试验，但都要有多次重复。

(1) 田间试验。田间试验是效果的验证，一般用大面积对比法，小区试验法。严格按照肥料试验操作规程在典型发病土壤上作肥效试验。

(2) 温室盆栽试验。温室盆栽试验可以比较和测定土壤的养分供给能力和肥料需要量，可以排除外干扰，进一步验证诊断结果。

盆栽试验最好在发病地区进行，用当地发病的土壤和当地的水灌溉。如果搬到别处去进行，可能有外来干扰和环境污染。盆栽试验可搞幼苗法，在幼苗期看到差异即可停止，也可进行到收获产量为止。

无论是田间试验或温室盆栽试验，最好用发病地区种子播种。因为种子中富集了很多微量元素，不同地方的种子含量差别很大。如用含微量元素丰富的地区的种子到缺素地区播种，很可能幼苗或整个生育期都不出现缺素症。

52. 怎样开展根外喷施诊断？

从外型诊断（目视诊断）作物缺乏微量元素的症状，有时存在一定的困难，一般作物缺乏营养元素的初期大多数表现在叶色缺绿，除非你是十分内行，否则将很难得出缺乏哪一种营养元素的可靠结论。就拿缺绿来说吧，有经验的同志就可根据失绿部位来判断，缺乏什么元素。缺锰、缺镁的叶片，只有叶脉间失绿，叶脉本身和叶脉附近仍然保持绿色，而缺铁的叶片，只有叶脉本身保持绿色，叶脉间和叶脉附近全部失绿。

那么，如果目视诊断后不能肯定怎么办呢？可以用叶片喷施注射来诊断。具体做法是，将含有微量元素盐类，配成适当浓度的溶液向植物注射，观察缺乏症状消失与否来证实缺乏哪种元素。这里讲的注射与喷施，包括将溶液涂抹到植物上，或将植物浸入溶液中。

在发病现场喷施时，喷与不喷的小区一定要用塑料布隔开，以免肥液飞溅到对照区，影响试验结果的准确性。

叶片灌注或浸渍就是将待测的微量元素制成 0.05 ~ 0.1% 的溶液，设法引入发病植物的体内，注意观察植物色泽的变化。引入渠道有叶脉间、叶尖、枝条和根尖。脉间引入是在叶片间穿一个 2 毫米大小的小孔，孔间穿入一根灯心，灯心另一端浸入待试验液中，这样溶液可以不断地沿灯心进入叶片。叶尖浸渍是将叶片切去一部分浸入试液中，禾本科作物叶片一般切去约 1/8，宽叶植物约 1/4。枝条灌注是将嫩枝尖端剪去，将其插入相同直径胶管中，使紧密不漏液，另一端连接上盛有试液的玻璃瓶，瓶子应高于枝尖，使试液具有一定压力能将试液注入枝条。根部灌注的方法与枝条同。

（六）微肥选购、贮藏、运输及混用技术

53. 选购微肥应注意哪些问题？

选购微肥时，首先要看你区土壤缺乏什么种类肥料，例如，如果你处土壤不缺铜、铁就不要购买铜肥、铁肥。你处土壤缺乏何种微量元素，就购买什么微量元素肥料。如果一时搞不清自己土地缺乏什么元素。不妨可以写信到当地农业科学研究所或农业技术推广站，他们会根据土壤或植株分析结果，告诉你处土壤缺乏何种微量元素肥料，让你购买何种微量元素肥料。

其次，要看你用在什么作物上。有的作物对某些微肥敏感，增产效果就好，有的效果就差些，使用不那么经济，因此要看作物购买微肥。例如：钼肥对豆科作物的大豆、花生及某些蔬菜增产效果明显，经济效益显著。而对许多作物则虽有增产效果，只因钼肥昂贵，经济效益不一定明显，我们认为暂可不必施用。

第三，在购买微肥时应注意质量问题。这里说的质量指两个方面：一个方面是指微肥的有效成分含量。拿锌肥来说吧，同样是硫酸锌，有的是一水硫酸锌，有的是七水硫酸锌，两者含锌量相差 10%，效果当然是一水硫酸锌好。而同样是一水硫酸锌，各厂家生产出来品种其纯度又不一样，有的厂家纯度达 98%，而有的只有 96%，相同的价格，自然要购买纯度 98% 的锌肥。可是，选购时不一定以为含量越高越好，这里就有一个经济施肥问题，因为化学药品选购时，有一个纯度，产品越纯价格越贵，这就需要综合考虑了。我说纯度越高效果越好，有些人就去购买化学纯试剂来用，那就不经济了。另一个方面是，微肥中不应含有太高的有毒成分。因为微肥中含有的毒物会被作物吸收，通过食物链会随之进入人体，影响人体健康。微肥中若含有过量的镉 (Cd)、汞 (Hg)、铬 (Cr)、铅 (Pb)、砷 (As)、硒 (Se) 以及其它放射性元素等，则会污染环境，造成危害。目前发现有些厂家，为了赚钱，粗制滥造，质量没有保证，购买时不要上当。农业上应提倡施用高效、低毒、优质的微肥产品，不合格的产品应当坚持不卖不用。

此外，对那些含量低、耗费劳力多的炉渣、矿渣和工厂废液，更应详细了解其成分，要严格把关，以防不良后果。

许多微量元素的盐类都是由强酸或强碱制取的。成品中一般都残留有一些氢离子或氢氧根离子，使肥料偏酸或偏碱。这些产品用作底肥施用问题不大，但在浸种、拌种和喷施时，则因肥料过酸过碱将对作物生长不利，拌种会影响发芽，叶面喷施也容易造成烧伤。因此，在购买或使用微肥时，也应引起足够的重视。

54. 微肥贮运中应注意哪些问题？

微肥应切实搞好包装。微肥一般都有一定的腐蚀性，有的还易吸潮结块。商标容易弄脏弄坏，或者散装没有标签把微肥当成氮、磷化肥施用，带来了农作物减产和环境污染。因此，贮运中应特别注意标签不要被腐蚀、丢失、搞混。有腐蚀性肥料要用塑料袋包装，易吸潮的则尽量密闭保存，防止水分进入。例如，在保存铁肥时（象硫酸亚铁）要密封，不要开口，以免氧化成高价铁而发黑，影响其有效性。又如钼酸铵长期保存氨易挥发掉，虽不影响钼的含量，但是溶于水就较为困难。这时可以滴加几滴氨水，就可溶解。保存所有微肥都不要沾上水，否则会溶解或结块，影响使用和肥效。

55. 微肥能否长期保存？

锌、铁、铜、硼、锰、钼等微肥都可以长期保存，不会失效。因为微肥不象碳酸氢铵等，保存时间长了因挥发而影响肥效，而保存几年都不会有问题。因此，购买微肥时，一次可以多买一些，以免费工或临时购买不到错过施用季节。随着农业生产发展，广大农民都用起来了，微肥供应会越来越紧张，这一点应引起大家足够重视。

56. 微肥和氮、磷、钾化肥有什么区别？

微肥和氮、磷、钾化肥都是农作物所需要的营养物质，只是有的农作物吸收数量多些，有的吸收数量小些，它们之间互相不能代替，但应配合施用。为什么要配合施用呢？因为这些营养元素有相互促进的关系。氮、磷、钾肥的施用量增加以后，农作物对微肥吸收的数量也会相应增多。如果这时候施用微肥，就可以促进农作物对氮、磷、钾肥料的吸收利用；如果没有施用微肥，就会影响农作物对氮、磷、钾肥的吸收利用。因此，微肥和氮、磷、钾化肥必须配合施用才能充分发挥肥效。

那末微肥与常用氮、磷、钾肥有何区别？常用氮、磷、钾肥料亩用量几十斤到百余斤，而微肥亩用量只要几克至几斤，这是区别之一。二是农作物对微肥较敏感，只要在缺乏微量营养元素的土壤上施用微肥，农作物产量急剧上升；用量如超过限度，产量立刻下降，农作物还有中毒症状发生。因此，施用微肥，无论是用作基肥、追肥、拌种、浸种或喷洒，必须严格控制用量、浓度和施用方法，大手大脚地施用，往往会得到相反的结果。

为了经济合理施用微肥，需要广泛开展科学实验，了解微量元素在土壤和作物中的动态和作用，掌握作物缺乏某种微量元素的症状和诊断方法，明确有效施用的条件和方法。

57. 微肥与植物生长刺激素有何不同？

微肥是植物必需的营养元素，互相之间是不能代替的。缺乏任何一种元素都会使作物生长不良，产量下降。严重缺乏时会不开花、不结果，引起死亡。植物生长刺激素（如九二〇、三十烷醇、大豆激素……等）是作物生长过程中锦上添花的东西，只有氮、磷、钾及各种微肥充分满足作物生长的前提下，才能起到增产的作用。有些农民误认为生长激素就是微肥，那是十分错误的。作宣传时应该科学地、全面地向农民交待清楚，不要用生长激素代替微肥和化肥。

58. 微肥之间、微肥和常规化肥之间能否混用？

在作物施肥中，常常把氮、磷、钾化肥，或速效肥与迟效肥，有机肥与无机肥以及微肥和生长激素等，按照土壤的性质和作物要求、养分供给情况等配合起来施用，人们俗称肥料的配合使用。把性质不同、作用不一样的两种以上的肥料混合起来施用的，则叫肥料的混合施用。配合施用与混合施用两者之间既有联系又有区别，无论哪种施肥方法都是农业生产上科学施肥、提高经济效益的重要手段。微肥之间、微肥与常用化肥之间混合施用，必须遵循以下几点原则：一是要适合于作物营养和土壤肥力状况的需要；二是混合后能使肥料的物理性状得到改善；三是不能使其中任何一种肥料的肥效降低。

根据上述原则，只要你所耕种的土壤养分缺乏，适于碱性土壤的锌、锰、铁等微肥可以混合施用。但需要注意一点，微肥之间混合施用，浓度和用量不要超过规定量，否则浸种、拌种后种子不出苗，叶面喷洒会烧苗。

微肥与常用化肥之间混合要注意几点：一是锌肥不要与氨水等碱性较强的肥料混施，最好也不要同过磷酸钙等可溶性磷肥混施，以免形成磷酸锌沉淀，降低肥效；微量元素肥料最好不要同草木灰混用，以减少损失。

尿素与微肥混合施用是允许的。

各种微肥在与堆渣肥混合施用，要注意逐渐稀释，充分和匀，最好是先同少量细泥土充分和匀后再加堆渣肥一起拌和。

微肥对水、对粪应先把肥料对少量水溶液，再逐步分配到水、粪中去，并充分搅拌，以免造成局部浓度过大而烧种烧苗。

59. 微肥与农药能否混合使用？

许多农民为了节约劳动力，提出了在拌种与叶面喷施时，能否与农药混合使用的问题。我们认为微肥能否与农药混合作叶面喷施，要看混合后是否产生浑浊或沉淀而定，混合后产生浑浊、沉淀者不能混合使用。例如，锌肥可与酸性农药混合喷施，但不能与石硫合剂等碱性农药混用。反之，微肥与农药混合后不产生沉淀或浑浊的可以混合使用，因为不浑浊对微肥本身的肥效不会有损失。据我们在河南省封丘试验，微肥与锌硫磷、1605 等农药混合拌种效果不变，即达到增产又可防治病虫害的双重效果，各地可以推广应用。

60. 微肥在砂土地或低产地使用增产显著吗？

会增产的。只要土壤中缺乏微量营养元素，无论是高产地区还是低产地，在使用得当的情况下都能起到增产作用。据我们的土壤分析和布点试验，砂姜黑土，风沙土、盐碱土等低产土壤都十分缺乏多种微量营养元素。实践证明，施用微肥的效果十分显著，一般花上几角钱能增产 10%左右，经济效益成几十倍增加，群众称它为“化肥精”。

高产地区由于氮、磷、钾肥料施用量多，相应地微量营养元素就失调，要想再增产就非施用微肥不可，否则难以获得更高产量。

（七）硼肥的作用和施用方法

61. 硼肥对农作物生长发育有什么作用？

硼在作物中的含量，一般为干重的万分之二、三至百万分之一。其中以豆科和十字花科作物含硼较高，而禾本科作物较低。在作物的各个器官中，以叶的含量最高，花次之，茎、根、果实和种子量最少。硼素不是作物体内各种有机物的组成成分，但能加强作物的某些重要生理机能。硼素供应充足，植物生长繁茂，子粒饱满，根系良好，丰收有保证；反之硼素供应不足，植株生长不良，产品的质量和产量下降；严重缺硼时，甚至颗粒无收。具体地说：

（1）硼能促进作物生殖器官的正常发育，有利于开花结实。施用硼肥得当，可以加速花器官的发育，增加花粉数量，促进花粉粒的萌发和花粉管的生长。缺硼时作物花药、花丝萎缩，花粉不能形成，油菜产生“花而不实”（只开花不结实），棉花出现“蕾而不花”（即只现蕾不暴桃），小麦出现“不穗症”，花生出现“有壳无仁症”等。

（2）硼能加强作物光合作用，促进碳水化合物的形成。当作物硼素不足时，就会造成叶片内糖和淀粉等碳水化合物的大量积累，不能运送到种子和其它部位中去，从而影响作物产量。

（3）硼能促进豆科作物根中维管束的正常发育，使根瘤菌得到碳水化合物的充足供应，从而增强豆科作物的固氮能力，提高蛋白质的含量。硼也可提高马铃薯的淀粉含量和甜菜的糖分含量，增加麻类作物的纤维量，并改善它的品质。

（4）硼能在作物体内与6—磷酸葡萄糖酸形成络合物，使4—磷酸赤藓糖不能形成（是酸类化合物合成的重要原料），而作物缺硼时，有机酸在根中积累，根尖分生组织的细胞分化和伸长受到抑制，发生木栓化，引起根部坏死。硼素能使作物的根尖和茎的生长点等分生组织正常生长。

（5）硼与醇类、糖类以及其它有机物相化合能形成过氧化物，从而改善作物根部氧气的供应。特别是在缺氧情况下，施用硼肥可以促进作物根系发育。所以，块根、块茎作物如甜菜、土豆、萝卜等，施用硼肥效果较好。据巩县有关单位试验，萝卜施用硼肥后增产30~50%。

（6）硼能增强作物的抗旱、抗病能力。硼在作物体内有控制水分的作用，能提高向日葵、荞麦等作物原生质的粘滞性，增强胶体结合水分的能力。供给作物的硼素不充足，会使作物产生一定生理病害，如甜菜的“心腐病”、花椰菜、萝卜的“褐腐病”、土豆的“疮痂病”、芹菜茎秆开裂、萝卜的空心、白菜、菠菜生长不良等。（7）促进作物早熟。据有关资料报道，在硼的影响下，冬小麦通过春化时间会缩短八天。我们在封丘县黄陵实验中，也观察到小麦喷硼能提前三四天成熟。棉花施硼，霜前花增多，籽棉产量和纤维品质均有提高。玉米、水稻施硼使各主要生育期提前，种子提早五天左右成熟。硼的这种促进早熟作用，特别引人注目，对山地寒冷地带以及两熟、三熟制地区发展农业生产有一定的积极意义。

另外，在水稻杂交制种中施用硼肥，可使父、母本植株的生殖器官成熟期趋于一致，促进制种产量的大幅度增加；同时还能提高远缘杂交种的结实率。可见，硼在育种工作中，也同样能起重要作用。

62. 哪些作物需硼较多？

硼肥是作物必须的微量营养元素之一，而双子叶植物含硼量一般比单子叶植物高。根据大量科研资料和生产实践，作物对硼的反应大致可分为3类：

(1) 需硼较多的作物。有油菜、甜菜、苜蓿、三叶草、白菜、花椰菜、莲花白、萝卜、芹菜、莴笋、向日葵、茉莉花、苹果、桃等。

(2) 需硼中等的。有大麦、棉花、麻、烟草、花生、大豆、豌豆、苕子、土豆、葡萄、番茄、洋葱、辣椒、胡萝卜。

(3) 需硼较少的有小麦、燕麦、柑橘、西瓜、梨、核桃、樱桃、玉米等，但在土壤缺硼时，施用硼肥仍有显著地增产效果。

63. 硼肥有哪些种类？

硼肥种类很多，常见的有以下几种：

(1) 硼砂。分子式为 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ，含硼量 11.3% 左右，为无色透明结晶或白色粉末，溶于 40℃ 热水，是很好硼肥。

(2) 硼酸。分子式为 H_3BO_3 ，含硼 17.5%，无色透明结晶或白色粉末，易溶于水，也是很好的硼肥。

(3) 硼镁肥。分子式是 $\text{H}_3\text{BO}_3 \cdot \text{MgSO}_4$ ，硼镁肥是制取硼酸的残渣，灰色或灰白色粉末。所含硼主要是硼酸形态，能溶于水，含硼 (B_2O_3) 1% 左右，含镁 (MgO) 20 ~ 30%。

(4) 硼镁磷肥。用酸处理硼泥和磷矿粉制成，含有效硼 (B_2O_3) 0.6% 左右，含镁 (MgO) 10 ~ 15%，含有效磷 6% 左右。是一种含两种大量元素 (磷、镁) 和一种微量元素 (硼) 的复合肥料，含游离酸 < 2 ~ 5%。

另外还有含硼石膏，含硼粘土、含硼过磷酸、钙含硼硝酸钙、含硼碳酸钙。硼泥，含硼量约 2%，是生产硼砂时下脚料，可直接施入田间。农家肥中草木灰、厩肥中也含有一些硼。

我国目前使用最多的硼肥是硼砂和硼泥。

64. 怎样施用硼肥？

硼肥使用方法主要有以下几种：

(1) 蘸根。每亩用硼砂 0.05~0.15 公斤，对水（40℃ 热水）少量溶化开，然后加细泥土和水做成浆糊状，在移栽油菜或其它作物植株时蘸根。

(2) 作底肥。每亩用硼砂 0.5~1 公斤，与细干土、磷肥或氮肥混匀，在棉花或其它作物播种或移栽时施入穴内。施用一次，肥效可持续 2~3 年，一般当季增产 10% 以上。硼泥作基肥较多，价格低廉，每亩用量 15 公斤左右，可与有机肥拌匀施入。柑橘、苹果等果树，每株用硼泥 1.5~2 公斤。作底肥时，一定要施用均匀，避免局部地方硼的浓度过高引起作物中毒。硼泥呈碱性反应，含镁（ MgO ）30~40%，适于南方土壤。

(3) 浸种。用浓度为 0.02~0.05% 硼砂或硼酸溶液，玉米、高粱浸种 4~5 小时，小麦浸种 3 小时，捞出晾干（切勿在太阳光下暴晒）后即可播种。豆类作物以及在盐碱土上种植的作物不宜浸种。

(4) 拌种。每 0.5 公斤种子用硼砂或硼酸 0.2~0.5 克，最多不能超过 1 克。种子拌完时，溶液全部被吸净为好，阴干后播种。

(5) 叶面喷洒。每亩用硼砂 0.05~0.1 公斤或硼酸 0.05~0.07 公斤，对水溶化后再加清水 50 公斤（喷洒浓度在 0.1~0.2% 之间），在晴天下午 4 时后，进行叶面喷施。溶液用量视苗株大小而定，苗大多喷，苗小少喷。

硼肥直接影响着作物繁殖器官发育，应及早施用。硼在植物体内运转能力差，应多次喷洒为好。例如：油菜在移栽前 2~3 天，每亩苗床用 100 克硼砂，配成 50 公斤水溶液进行喷雾，可以提高成活率。抽苔到初花期可喷施 2~3 次。棉花要在蕾期就开始喷施，每隔半月喷一次连续喷 2~3 次为好。果树在幼果期、盛花期喷洒较好，也可以和波尔多液，0.5% 尿素配合成混合液进行喷施。果树根外追肥，可用 0.2~0.3% 的硼砂或硼酸溶液。

65. 使用硼肥应注意哪些问题？

在配制硼砂或硼酸水溶液时，要充分搅拌，待硼砂或硼酸全部溶解后，再倒入喷雾器。切勿将硼砂或硼酸直接装入喷雾器，以免影响效果。

作物对硼的缺乏、适量、过度之间的浓度差异较小，对于硼肥的用量和施用技术要特别注意，在砂质土壤上尤其要小心，因为砂土的缓冲性能差。在生产中，因为硼肥浓度过高而浸过的种子不能出苗；土壤中本来含量较高而施用硼肥后，引起中毒的事例常有可见，应引起我们重视。据报道，有的工厂没注意到硼泥废渣或含硼废水的安全处理，随便排放而引起土壤和地下水中的水溶性硼超过一定含量限度，农作物就要中毒减产，有时会颗粒无收。人和牲畜饮用超标准的含硼井水会得“硼肠炎”。

硼中毒的作物同样以花器官为敏感，授粉不全、秃顶、秕粒增加，果菜畸形等症状。生长中期的玉米叶片和瓜类叶片边缘形成界限十分清晰的封闭黄边，这是硼中毒的特殊症状。一般而言，蔬菜作物比禾谷类作物受害要重，尤以黄瓜最为敏感。用黄瓜作硼害（叶边出现金黄色封闭镶边）的指示作物，可以得到较为准确的信息。

66. 怎样诊断棉花缺硼症？如何防治？

棉花严重缺硼时，顶芽萎缩，芽腋丛生形成多头棉，或是顶部心叶变小，叶的边缘和主脉失绿，叶片收缩向上反卷，但无红蜘蛛、蓟马等虫害；下部老叶较大、肥厚、色深、易脆，叶脉突出，严重时木栓化坏死，叶柄出现明暗相间的环带，在颜色较深的环带处的组织发生膨胀，向外突出，使整个叶柄呈节状，不平滑。剖视可见与环带相应髓部变白，严重时变褐坏死，好似有虫咬食，不久则脱落，花小而少，花冠缩短不易伸出，并向中心包裹不张开，花粉生活力差，幼铃发育迟缓，往往较尖，也易脱落，果节数少而短。

防治棉花缺硼症的有效办法是补充硼素。具体的有两个措施：

(1) 用 0.1% 硼砂或硼酸浸种 12 小时，然后进行播种。(2) 苗期至花期用 0.1~0.2% 硼液喷施 2~3 次。

过多的钾会加重缺硼，因此使用钾肥的田块更应配合施硼。

67. 油菜缺硼的症状有哪些？怎样防治？

油菜苗期缺硼症状是生长迟缓，心叶卷曲，叶肉变厚，下部叶片失绿，叶片出现紫色斑点，叶缘枯焦，叶柄上部开裂，茎的木质部发育不良，韧皮部比正常植株肥大。茎秆龟裂，但在肥水条件好，生长旺盛的情况下，茎秆也要龟裂，应注意区别。根呈橘黄色，细根少，主根肿大或心腐而萎缩。

开花时油菜缺硼表现为果荚不膨大，或是花蕾脱落，造成严重减产。群众称这一现象为“远看一片黄，近看心发慌”。

油菜缺硼花器官发育不完全，或不能受精，主花序萎缩，或者一边开花一边脱落，甚至未开花就脱落。已经开花的花瓣淡白色，雌蕊柱头细小突出，果荚不膨大，即使膨大，种子也很少。由于顶芽死亡和不结实，营养物质无处运转消耗，所以腋芽不断萌发，出现丛生和不断翻花现象，同一时间栽的油菜都收了，缺硼田的油菜还在开花。

油菜开花到结荚期的吸硼量占全生育期需硼量的60%以上，因此苗期不缺硼的，后期也可能发生缺硼症，即形成“徒长型”的花而不实。若苗期就严重缺硼，则前期生长受阻，产生“矮缩形”的花而不实。要想防治油菜缺硼症，每亩可用0.5~1公斤硼砂作底肥，但要注意拌匀，否则容易产生毒害；也可用0.2%硼砂液蘸根后移栽；同时可以在苗期和移栽至初花期前后用0.1~0.2%硼砂液喷施2~3次效果均很好。

防治油菜缺硼还应注意合理施用氮肥和适当灌溉。因为氮肥过多或干旱会加重缺硼。

68. 柑橘缺硼有什么症状？如何防治？

缺硼的柑橘开花量并不少，但幼果白色层变黑而大量脱落，甚至全树掉光。缺硼的成熟果实皮厚而硬，称为“石头果”，汁少渣多，种子多败育，果皮及中心核常流胶，果实产量低，品质差。缺硼的幼叶有不透明的水渍状斑点，老叶叶脉木栓化破裂，常反卷，无光泽，易脆裂，树梢增多，生长不良。

据试验，柑橘盛花期施硼对防治落果和提高产量效果较大，盛花期可能是喷硼的临界期；花期和开花后亦可喷硼。由于硼在柑橘体内利用率低，故多次喷硼比单次喷硼效果好。最常用的是0.1~0.2%硼砂或0.05~0.1%的硼酸溶液喷施。如用硼泥，可亩用10~25公斤撒施，注意避免与根直接接触。

69. 苹果缺硼有哪些症状？

苹果典型的缺硼症状是患缩果病。果实发病的表现有三种症状，即果皮软木型、果心软木型和锈果型。

果皮软木型症状，一般在谢花后半月内发生，以果顶处发病最重，成长果实以绿色部分发病较重。病果初期表皮出现圆形水渍状斑块，皮下果肉细胞脱水，变成棕褐色，坏死呈海绵状，病斑干缩凹陷，果小而畸形，常造成幼果大量脱落。

果心软木型症状，自苹果谢花后半月到采收前均会发生。果心软木型病果内部由萼洼开始至果心线内外的细胞木栓化，变为褐色。病果着色较早，呈暗红色，果型正常，果内维管束坏死，变成褐色，呈海绵状。

疣状锈果型症状，果实扁圆、畸形、果皮极厚，果面出现不规则的锈褐色症状突起，果肉松如海绵，风味极腴淡。

苹果缺硼枝梢发病常表现为两种症状：一种在早春发生，芽子多不萌发，或虽萌发但开绽后很快死亡。新梢从顶端枯死，有的一直死到多年生枝上。从枯死枝的下面又生出很多小枝，这些小枝又很快死去。此后，又萌生出很多小枝，呈扫帚状。如此下去，数年内整株死亡。另一种在早春新梢刚开始生长或夏末发生，新梢顶端枯死以后，由腋芽生长的副梢节间极短，节上生长很多小而厚脆的叶子，成簇生状。严重时可造成整株死亡。

缺硼苹果新梢嫩叶叶脉两侧有不同程度的绉纹，叶肉有不同程度的褪绿现象，以后变成微黄色，叶缘周围褪绿较重，叶片向反面弯曲。

70. 怎样防治苹果树缺硼症？

在土壤偏碱，过于干旱，结构不良、缺乏有机肥，偏施氮肥，使土壤可溶性硼含量降低时都会发生。因此，改良土壤，增施有机肥料，是防止苹果缺硼症的根本措施之一。在肥水管理中，避免偏施氮肥，适时灌水，有显著效果。

为了及时补充硼素，在苹果树发芽前、后用 1% 硼肥进行喷布，或在盛花期用 0.1~0.3% 硼肥喷布，也可在 5~6 月份用 0.2~0.3% 硼肥加适量生石灰进行喷洒，可以防止苹果缩果病，提高苹果着果率。在冬春结合施基肥，每株施硼砂 150~250 克，有效期维持 2~3 年。

71. 葡萄缺硼有哪些症状？怎样防治？

葡萄若缺硼素会抑制花粉发育与发芽，花蕾不能正常开放，花冠干枯不能正常脱落。严重缺硼时大量落蕾，新梢顶端卷须干枯，节间变短，组织硬而脆；叶脉间出现黄化，叶面凹凸不平，或向背面翻卷。

那么怎样防治葡萄缺硼症？

葡萄缺硼时，亩施 0.75 ~ 1.5 公斤硼砂，篱架每株用 30 ~ 60 克为宜。在开花前叶面喷布 0.1 ~ 0.2% 的硼砂溶液有明显效果。

72. 桃树缺硼有哪些症状？怎样防治？

桃树缺硼时幼叶小而扭曲，变厚呈革质；叶主脉变黄呈木栓状；新梢有枯顶现象，出现帚状枝；枝干流胶，冬季易死亡；树皮粗糙；萌芽不正常，随后常变褐枯死；果实蚕豆大小时发生畸形，由暗绿色转为深绿色，开始脱毛，逐渐呈木栓状斑块，畸形果直到成熟不脱落；种子枯萎。

桃树缺硼可在萌芽前、花前或盛花期喷布 0.1~0.2% 硼砂，也可在幼果期喷施，每隔半月喷一次，连续 2~3 次。硼肥也可与波尔多液或尿素（0.5% 浓度）配合成混合液进行喷施。特别是砂壤土，硼素缺乏症容易表现，应该引起注意。

73. 蔬菜缺硼有哪些症状？如何防治？

硼是蔬菜作物的重要营养元素之一，各种蔬菜缺硼时表现的症状差异较大，但共同的特点是花发育不全、根系不发达、生长点死亡。

根茎类蔬菜对硼的需求量最大，缺硼其表现，初期是在根部最粗部位出现深色斑点。生长缓慢，叶片少而且小。例如，萝卜等若缺硼，常常会表现出植株叶子卷曲、叶片中脉也随之迅速卷曲而退绿，植株生长点腐烂而死亡，根部达不到正常植株大小，肉质根表面不平滑，呈灰色。

芹菜缺硼会引起茎部开裂：缺硼初期，叶部边缘会出现病斑，接着茎脆度增加，沿茎面表皮中出现褐色带，最后在茎表面出现横裂纹，破裂处组织向外卷曲。根系变褐色，侧根死亡，最后形成小的块根附属物，植株常常死亡。

花椰菜缺硼时，主茎和小花茎上出现分散的水浸斑块，花球内部和外部变黑。花球周围的小叶发育不健全和扭曲，在花球不同成熟期都可能表现出硼缺乏症，但随着植株生长年龄的增加而加重。

洋葱植株缺硼时，发育不良或畸形。叶色从深灰绿色到深蓝绿色。在幼叶上呈现黑黄和绿色斑点，茎部叶片表面皱缩和横裂。叶片水平伸出状而变脆。

番茄缺硼，茎生长点变黑，茎基下部生长出新叶植株好似丛生。幼苗叶片及幼株的真叶都呈现为深红色，茎停止生长，顶枝卷曲，变黄而死亡。茎部输导组织破坏，中肋和叶柄非常脆弱是番茄缺硼典型症状，根部生长缓慢，具有黄或褐色，果实常出现黑斑块或组织干枯。果皮轻微裂开，部分木栓化，产生小龟裂，成熟、着色推迟。

蔬菜作物吸硼量高于其他作物，而根菜类、豆类蔬菜含硼最高。生长在同一土壤上各种作物含硼量比较（见表 12）。

防治蔬菜缺硼症的方法，目前用的较多的是叶面喷施，硼砂浓度为 0.1~0.2%，每亩喷 50 公斤。喷施时期视蔬菜品种不同而异，例如茄果类蔬菜在定植前、催果期、盛果期喷洒为宜。绿叶菜类（芹菜、菠菜等）在苗期与旺盛生长期喷洒为好。

表 12 各种作物含硼量比较 单位 ppm/干物重

作物	含硼量	作物	含硼量	作物	含硼量	作物	含硼量
大麦	2.3	菠菜	10.4	胡萝卜	25.0	萝卜	49.2
黑麦	3.1	芹菜	11.9	苜蓿	25.0	甜菜	75.6
小麦	3.3	马铃薯	13.9	甘蓝	37.1		
洋葱	4.3	番茄	15.0	大豆	37.2		
玉米	5.0	豌豆	21.7	菜豆	41.4		

74. 硼肥的增产效果如何？

硼肥是我国施用面积较大的微肥品种之一，全国各地试验报道，增产效果显著。

油菜对硼十分敏感，施用硼肥增产率居各种作物之首位。1979 年以来，据河南省农牧厅组织了全省 12 个县 63 个点，对油菜每亩喷 0.2% 浓度硼砂溶液 50 公斤，平均增产 14.8%。四川微肥协作组进行的 106 项油菜施硼试验，平均增产 16.2%。1982 年 66 个县土肥站在 20 个土种上 75 个试点统计，其中增产 10~20% 的占 23.5%，增产 20% 以上的占 31.6%，平均增产幅度 14.3%。

浙江省丽水地区农科所，油菜施硼试验较早，无论苗期或苔期喷硼比对照均增产 5~8 倍。在河南省信阳地区试验，油菜施硼后，油菜空角率下降 4.3%，株角数增加 1.76 倍，千粒重增加 0.2 克。

棉花对硼属中度敏感作物。陕西省兴平、渭南等地，用硼作基肥或根外追肥，使棉花增产 20%。华中农学院 1978 年开始，16 个示范片典型调查结果，平均亩增产皮棉 12.8 公斤，增产率 16.0% 左右。全国棉花施硼试验网在安阳、新乡、周口等几个点试验，当土壤含有效硼在 0.3~0.4ppm 情况下，施硼棉花增产 13~15%，同时棉花质量有所提高。

河南省棉区属中度缺硼，造成棉花蕾铃脱落或光开花不结桃。1983 年、1984 年，在西华县棉田进行了大面积飞机喷硼试验，面积达 1200 余亩，考种结果表明，增产率达 8~14%，同时能使棉花纤维长度增加 1~1.4 毫米。

四川省微肥协作组，1977~1979 年进行的 23 项棉花试验，蕾铃脱落率降低，且有促进早熟的效应，使伏桃增多，暴花提早，纤维长度和强度都有所增加，平均增产 11.7%。尼日利亚、赞比亚、美国、英国报道：在提高大量元素和微量元素（如锰）施肥水平，施用石灰增加了土壤钙离子、干旱，以及土壤缺硼的情况下，施硼是增产棉花的一项重要措施。

豆科作物对硼肥也有良好的反应。1984~1985 年在封丘黄陵、兰考、修武、林县、巩县试验，花生在苗期、花期和荚期喷硼肥亩增花生 42.8 公斤。中国科学院南京土壤所在江苏铜山县试验，硼肥使花生产量提高 28.8%；大豆施硼肥产量提高 10.8%。

硼肥在水稻上的增产作用，据江西红壤地区试验，表现在提高水稻株高、穗长、千粒重，空瘪率降低，产量提高 7~14%。硼肥促使水稻根系生长加快，干重量增加 20~195%，有利于养分吸收。插秧后提前返青，提前成熟 4 天。

除此之外，硼肥在柑橘上增产幅度也很大。河南省淅川县从温州引进了柑橘，施用硼肥后增产效果特别明显，尤其在干旱的 1986 年增产幅度 10~50%。四川省重庆市 360 万株柑橘，施硼后一般增产 60% 左右，高的竟达一倍以上。苹果施硼，使产量大大增加，而且果皮光滑，色泽鲜明，品质也有所改善。

甜菜、马铃薯、萝卜、三月瓜、韭菜、芹菜施硼表现出更大的增产幅度。

（八）锌肥的作用和施用方法

75. 锌对作物生长发育有什么作用？

锌在作物体内的含量，一般为干物质重量的十万分之几至百万分之几。尽管含量极少，但作用较大。

首先锌能增强作物的光合作用。它是作物体内碳酸酐酶等一些酶的重要组成部分。含锌的碳酸酐酶主要存在于叶绿体中，催化二氧化碳的水合作用，促进碳水化合物的转化，从而提高光合作用的强度。锌又是影响醣类代谢的重要因素，众多的试验证明，西瓜、葡萄等使用锌肥后，降低了果实酸度，提高了含糖量。锌还能促进和加强碳水化合物，尤其是蔗糖向繁殖器官的运输，从而对该器官的发育具有积极意义。

第二，锌元素有利于吲哚乙酸等植物生长素的形成。锌含量与植物生长素吲哚乙酸的合成紧密相关，含锌部位高的，生长素含量也高。因为，锌能促进体内丝氨酸合成色氨酸，而色氨酸又是吲哚乙酸的前身。缺锌就必然导致吲哚乙酸含量减少，作物茎和芽中的生长素也随之减少，从而生长处于停滞状态，植株矮小。

第三，锌有促进氮素代谢的作用。缺锌植株体内的氮素代谢容易发生紊乱，蛋白质的积累被抑制而造成氨的积累。施锌后能改善植株失绿现象，其原因就是促进了蛋白质的合成，使籽粒中蛋白质的含量提高。锌与对植物遗传特性具有重要影响的核糖核酸的形成有相当密切的关系。施锌后能使体内的核糖核酸含量增加，促进植物生长发育。

第四，锌有增强抗逆性的作用。锌肥能提高燕麦对散黑穗病，大麦对坚黑穗病，冬黑麦对稈黑粉病的抗病力。1985年，我们对河南省小麦施锌与抗赤霉病进行了试验，结果锌肥拌种的发病率在0.4%左右，而对照区产量大幅度下降。另外，施锌还能防治玉米白苗病，提高菜豆对炭斑病的抵抗力，降低棉花的萎蔫病、向日葵的白腐和灰腐病的危害。

实验证实，锌素还能提高玉米等作物的抗寒、抗旱、抗热、抗盐性。

76. 哪些作物施锌肥效果好？

根据试验结果，对锌肥最敏感的作物有玉米、大豆及多种豆类、高粱、棉花、亚麻、番茄、蓖麻、柑橘、葡萄、桃子、油桐、乌桕、苹果、甜菜。柠檬对锌尤为敏感，可以作为良好指示植物。

中等灵敏的，有土豆、洋葱、水稻、三叶草等。小麦、大麦、胡萝卜、苜蓿、豌豆等不太灵敏。对反应最灵敏和中等灵敏的作物进行适量施锌，效果较好。在土壤缺锌情况下，在反应不太灵敏的作物上施用锌肥，增产作用也很明显。

目前从全国来看，锌肥在玉米上施用面积最大，其次是水稻。世界上很多国家和我国的四川省、山东省、河北省都已在玉米上大面积推广施用锌肥，增产效果很好，现已作为一项重要的增产措施。

77. 锌肥的种类有哪些？

锌肥品种有各种硫酸锌 ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 两种)，含锌量各不相同。七水硫酸锌含锌量为 23%，一水硫酸锌含锌量为 35%，均易溶于水；氧化锌 (ZnO)，含锌量为 78%，难溶于水；氯化锌 (ZnCl_2) 含锌量为 45%，易溶于水；碳酸锌 (ZnCO_3) 含锌量 52%，难溶于水；碱式硫酸锌 [$\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$] 含锌量 55%，可溶于水；锌螯合物 (NaZnEDTA) 含锌量为 12~14%，易溶于水。

我国目前施用较多的是 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，肥效高，效果也较理想。

78. 锌肥的使用方法有几种？

锌肥的使用方法大致有以下几种：

(1) 作底肥。亩用硫酸锌 1~2.5 公斤，可将锌肥和有机肥、生理酸性化肥（不要和磷肥混合）、细土混合使用。锌在土壤中移动能力差，表施效果不好，应随耕地翻入土中，施肥要均匀。锌在土壤中残效较长，基肥不必每年施用。

(2) 蘸根。用氧化锌（0.1~0.2%浓度）溶液蘸根，但蘸根时间不易过长，一般 3 分钟即可，时间过长会产生药害。蘸根特别适用于水稻、蔬菜移栽。

(3) 浸种。将硫酸锌配成 0.02~0.05%的溶液，种子和浸种液以 1 : 1 为宜（即一公斤种子配一公斤溶液），浸 6~12 小时后捞出晾干（切忌在太阳光下曝晒，应阴干）。水稻浸种可用 0.1%浓度浸 24 小时。其余锌肥品种用法大致同硫酸锌。

(4) 拌种。硫酸锌拌种量，每公斤种子拌 2~6 克为宜。具体操作是，首先以少量水溶解锌肥，再用清水稀释，拌种时以所有种子都沾上锌液为止，溶液不宜过多，最后能够将全部溶液吸完为好。一般是 500 克种子用 50 克水为宜，花生、大豆可适当增加一些。种子晾干后进行播种。在实践中发现，花生、大豆等种子拌种较为稳妥，不宜浸种。因为浸种后种皮会发皱易破裂而影响出苗。

(5) 追肥。亩用硫酸锌 0.5~1 公斤与一定数量细土等混合或对水，于作物生长期中施入土中。稻田可用细土拌和撒施，也可对水泼施。撒施应在晴天露水干以后进行，否则肥料会沾附叶面造成灼伤。施肥后需及时薅秧，关好田水，不让肥水外流。旱地一般是对入干粪和水粪中施用。

根外追肥，即喷施。各种作物、果树、蔬菜上均可施用。喷施作物吸收快、节约成本，效果好，同时可以结合农药或尿素一起喷施。根外追肥，每亩用硫酸锌 50~100 克，用清水溶解后对水 50 公斤，于下午 4 时后进行叶面喷施。玉米喷施时，注意溶液尽量不要灌进心叶，以免灼伤植株。叶面喷洒锌肥浓度和喷洒量可以随植株的大小，酌情增减。在喷洒中，如果浓度过大会伤害叶片，最好加入 0.2%熟石灰以调节溶液的酸碱度。一般作物苗期、拔节期、花期各喷一次。

79. 水稻缺锌有哪些症状？如何防治？

水稻缺锌研究，几乎所有产稻国家均有报道。国际水稻研究所在亚洲十一个国家调查，25种水稻生理病害中许多是因土壤缺锌、缺镁、缺铁而引起的。湖北省农科院土肥所、四川省农科院开展得比较早，积累了许多经验。他们的研究认为，水稻缺锌一般发生在本田中，其症状表现为“僵苗”、“缩苗”，有的地方称之为“坐蔸”。一般症状出现在秧苗返青后，即栽后10~30天内。严重的田块也有栽后一直不返青就开始坐蔸的。其秧苗下部叶片的中部首先出现细小的褐色斑点，叶背比叶面明显，这些斑点逐渐连成一片并向两端发展，使整个叶片都变成褐色，而且变得易碎。严重时整株的叶片变褐。严重缺锌的水稻叶片中脉和叶梢颜色变淡，甚至发白。这种情况在田中有零星分布。

水稻缺锌叶片变窄，生长停滞，植株矮小，不分蘖或很少分蘖，老根变黑逐渐死亡，新根不长或生长迟缓。严重时整株死亡，甚至全田死亡，只有犁翻重栽。坐蔸未死的秧苗后生分蘖多，无效分蘖多，小花不孕增多，空秕率高，成熟期推迟。需要指出的是，水稻“缩苗”或“僵苗”现象虽然根本原因是，土壤锌含量低，但还与长期大量施用化肥有密切关系。

此外，水稻“僵苗”，“缩苗”现象的发生与高产品种的引入也有密切关系。因为高产品种的生物产量高，需要较多的锌。同时，这些品种又要求早生快发。土壤锌一时供应不上，供需矛盾大。有些土壤pH值高，碳酸盐含量高，也是水稻“僵苗”形成的原因之一。

当然水稻“僵苗”除了上述原因外，缺磷、缺钾，以及低铁、硫化氢和有机酸中毒都会引起的，一定要加以仔细区别。

缺锌土壤可以采用各种方法补充锌肥，其方法有：以亩施0.5公斤锌肥沾秧根最好，据试验每亩可增产57.35公斤。其次为亩施1公斤锌肥作耙面肥，每亩增产50公斤，这两种用法都能在早期土壤供锌不足时保证水稻对锌的需要。也可以用0.2%锌肥喷施3次水稻叶面，但效果没有沾根和耙面肥好。

防治水稻缺锌，同位素示踪法测定表明，每亩基施1公斤硫酸锌的锌肥利用率，早稻为1.2~3.5%，后作晚稻为0.6~1.5%，说明大量锌肥仍残留在土壤中。据湖北农科院报道，施锌当季早稻增产18.7%，第二年早稻增产19.4%，第三年早稻增产5.5%。一年施锌后效与三年连续施锌相同，增产率也相近。据此说明锌肥有后效，可以隔年施用。

80. 玉米缺锌有哪些症状？怎样防治？

玉米缺锌症主要表现在花白苗，出苗一周后即可发生，大面积发生多在3~4叶期。出苗初期，幼苗发红，叶片褪色或变白。新生的幼叶呈淡黄色或变白、幼苗老龄叶出现细小白色斑点，最后整片发白。典型症状是老龄叶沿叶脉平行地出现白色条带，未失绿部分与失绿部分界线明显。这种条带从叶舌处一直平行引伸延到叶尖。严重时叶片变紫干枯。缺锌玉米节间缩短、不满尖、中部也是稀癩子。

但是，玉米花叶病应与遗传白化现象、花叶萎缩症状区别开来。

那末如何防治玉米花白苗？

据各地试验结果可知，对缺锌玉米花叶病喷施0.1%锌肥，4天后缺锌花叶病降到6.3%，而未喷锌区仍有32%。

防治玉米缺锌症，有几种方法：

(1) 移栽玉米时，每亩苗床亩施2.5~5公斤硫酸锌，要注意肥料与营养土充分混匀。

(2) 作底肥，每亩施1公斤锌肥；

(3) 喷叶面，浓度为0.1~0.2%硫酸锌浓度溶液，喷施2~3次，在苗期，到喇叭口时为好，气温高浓度宜低，注意不要让肥液过多流入心叶。

(4) 拌种，每公斤玉米种子用4~6克。

(5) 浸种，硫酸锌浓度0.1%浸泡12~24小时。但土壤特别干旱时，浸种会妨碍出苗，不如拌种为好。

(6) 从根部追施，每穴0.5克硫酸锌。

各地试验结果：当玉米出现花白苗后，用硫酸锌溶液喷洒，增产的原因在于施锌后穗长，每穗粒重、百粒重等都增加。

81. 桃树、柑橘、葡萄、苹果缺锌有何症状？怎样防治？

桃树叶片含锌量在 17~30ppm 为正常，若在 15ppm 以下可表现缺素症，缺锌时，桃枝顶呈丛生小叶，或称小叶病。叶脉间先呈现黄绿或黄色，有的叶可出现紫红色花斑，后期叶尖出现枯腐斑时老叶脱落。由于尖端生长受抑制，易发生徒长枝。严重时，果实畸形、品质低劣。

柑橘轻度缺锌时，叶片失绿，但叶脉附近仍是绿色。严重缺锌时，幼枝顶端叶片变小、变窄、向上直立、节间缩短，叶片聚在一起，呈簇生现象，失绿也加重，甚至有的顶端叶片脱落，形成顶枯。严重缺锌果实可能畸形。

葡萄缺锌时，新梢间短，叶片小，叶脉间叶肉黄花，严重时干枯脱落，果穗上形成大量无核小果，产量显著降低。缺锌在嫩梢顶端的组织内反应最为敏感，梢头锌量为 9~11ppm 时即引起严重缺锌，含量为 16~20ppm 时，为轻度缺锌，含量在 20ppm 以上则生长正常。

春天，在苹果园中常常可以看到这样的情况：有些发芽晚的树，叶片狭细而短小，叶质硬脆，颜色浅而浓浅不匀。新梢节间极短、顶端簇生小叶，发芽后很快停止生长。这种梢、叶发育不正常的现象，通常叫作“小叶病”，是由于缺乏锌肥引起的症状。

小叶病在沙滩地、碱性土和贫瘠的山地果园普遍发生，尤其在重茬地或苗圃地上建立苹果园，发病更重。

苹果的栽培品种中，以青香蕉、国光、红玉、秋花皮等发生较重。

无论是苹果、葡萄、桃树、柑橘，实践证明，改良土壤，加强水土保持，增施有机肥料，是防止缺锌症（小叶病）的基础。树冠喷锌和土壤施锌肥，是防治果树缺锌的有效措施。

果树施锌肥方法有以下几种：

（1）基肥。果树施基肥，每株 100~150 克硫酸锌，多层施入果树周围，最好不要与磷肥混合施用，作基肥头年效果稍差，但第二三年效果明显。

（2）叶面喷雾。在早春果树萌芽前 3~4 周，用 3~5% 的硫酸锌喷洒，可防止苹果等小叶病。在果树萌芽后浓度应降到 0.5%，最多不要超过 1% 硫酸锌溶液喷雾。也可用 2~3% 的硫酸锌溶液用毛笔或毛刷，刷涂一年生枝条的办法，实践证明效果也较好。叶面喷雾在生长期也可以进行 1~2 次，硫酸锌浓度以 0.2% 为好，第一次开花前 2~3 周，第二次开花后数周。有的地方在冬剪后随即涂抹短梢修剪枝条的剪口，硫酸锌浓度 1.0%。但对长梢修剪的枝条则效果不好。据天津市大港农场试验，5 月初用 4~5% 的锌肥，涂抹 2~3% 年生枝条，病株于涂后 5 天即可恢复生长，有效期可达 1~2 年。

82. 蔬菜缺锌表现什么症状？怎样防治？

锌对蔬菜作物组织的正常发育具有重要意义。多数蔬菜缺锌，顶端先受影响，如顶枯现象，有些蔬菜缺锌，叶片上产生感染斑点或失绿，严重的叶片坏死或死亡。

蔬菜中以南瓜缺锌时受害最严重。一旦缺锌嫩叶生长不正常，芽呈丛生状、生长受到抑制。番茄缺锌时，叶片很小，失绿、生长不正常，常呈现出皱缩，叶柄有褐斑并向后卷曲，受害叶片迅速死亡，几天内全部叶片萎落。芥菜缺锌时，常表现为叶片不正常，而且小，发黄或斑枯等。

蔬菜缺锌症防治，首先要增施有机肥，或在有机肥中掺入硫酸锌作底肥。试验证明：施用锌肥不但能矫正缺锌症状，也可提高番茄的维生素 C 含量，同时对番茄植株色氨酸含量和蛋白质生产有一定影响。

另一个有效办法就是叶面喷施。硫酸锌浓度控制在 0.1~0.2% 左右，喷施时期视蔬菜种类而不同。但是，无论那种蔬菜，苗期要早施，瓜果类蔬菜（南瓜、黄瓜等）在初果期、盛果期再喷 1~2 次效果最佳。茄果类蔬菜在苗期、催果期、盛果期喷洒为最佳。

83. 锌肥的增产效果如何？

锌肥是目前施用面积较大品种之一，增产效果较好。

据河南省在 63 个试验点上试验结果表明，玉米平均增产 10%，增产幅度 2.2~67.7%。邓县城郊含锌 0.62ppm 砂质土上玉米施锌，比对照株高增加 26 厘米，茎粗增加 0.2 厘米，穗长增加 1 厘米，虚尖缩短 0.3 厘米，千粒重增加 31 克，平均增产 17.4%。吉林省 1978~1979 年试验土壤有效锌含量 2.5ppm 以下，对玉米施锌肥后，最高增产率 73.8%。黑龙江省 1982 年经过 63 次试验，对玉米拌种、喷施比其它方法效果好，尤其在苗期、孕穗期和拔节期喷施最好。

水稻、小麦施锌也有一定增产效果（见表 13）。

表 13 锌对作物的增产效果

作物	施肥方法	试验单位	增产幅度	作物表现
小麦	拌种	河南地理所	10 %	施锌小麦有抗旱、抗寒、抗赤霉病和抗阴雨作用。 分蘖增加，叶宽、茎粗增加 千粒重增加，叶色浓绿
	喷施	武陟县科研点	19.5 %	
	浸种	西峡县五里桥乡	20 %	
	开沟撒施	内黄县农牧局	15.6 %	
	喷施	山东省 20 个县	9.9 %	
玉米	抖种加喷施	吉林农科院 17 个点	22.5 %	出苗提前，生长健壮，叶色深绿 茎部粗壮。后期抗斑病，灌浆快 籽粒饱满，能防治白苗病
	喷施	邓县城郊乡	17.4 %	
	拌种加喷施	黑龙江省 63 次试验	9.1 %	
	浸种	南阳县	17.6 %	
水稻	底施、喷施	四川省 66 个县	12 %	施锌后株高，有效分蘖数、每穗粒数、千粒重提高，提前成熟
	底施、浸种	湖北省农科院	10 %	

锌肥对苹果、葡萄、蔬菜的增产效果十分明显，特别是防止果树小叶病有特殊作用。

例如：河南省西华县、淮阳县土壤有效锌在 0.3ppm 左右，用 0.2% 硫酸锌溶液于花期、座果期浇喷 15 年左右树龄的苹果树，成花率提高 3%；座果率提高 3%；单果重提高 11.8%；每株增产 36 公斤，增产 19.8%。施锌后，苹果硬度提高 1.1 公斤/cm²，含糖量增加 2.3%，百叶重增加 7 克（增加 6%）；春枝生长量增加 11.6cm，比对照增加 20%，短枝增加 23%；秋枝生长量和长枝百分率有明显下降。锌肥使苹果小叶病和锈果病分别减轻。

综上所述，在缺乏锌的土壤上；施用锌肥有显著增产效果，并能提高作物抗寒、抗旱、抗病、抗阴雨的作用。

（九）钼肥的作用和施用方法

84. 钼在植物体内的功能是什么？

钼是作物生长发育必不可少的微量元素之一。它在作物体中的含量，以豆科作物中较多，约为干物质重量的百万分之几至十万分之几；非豆科作物含钼较少，只有干物质重量的百万分之几至亿分之几。钼的作用是多方面的：

（1）促进生物固氮。根瘤菌、固氮菌固定空气中的游离氮素，需要钼黄素蛋白酶参加，而钼是钼黄素蛋白酶的成分之一。可见，钼与生物固氮作用的关系极为密切。豆科植物含钼多，而且集中在根瘤内。钼素能促进根瘤的产生和发展，而且还影响根瘤菌固氮的活性。据报道，钼能提高根瘤菌的固氮能力，固氮能力的提高促使固氮量的增加，多则固氮量可提高6~7倍。所以钼素不足时，根瘤不发育显得少而小。

（2）能促进氮素代谢。钼是作物体内硝酸还原酶的成分，参与硝酸态氮的还原过程。植物将硝态氮吸入体内后，必须首先在硝酸还原酶等的作用下，转化成胺态氮之后，才能参与蛋白质的合成。在缺钼情况下，硝酸的还原反应将受到阻碍，植株叶片内的硝酸盐便会大量累积，给蛋白质的合成带来困难。反之，施用钼肥可以促进作物对氮素，特别是硝态氮素的吸收利用，有利于蛋白质的合成。

（3）能增强光合作用。钼有利于提高叶绿素的含量与稳定性，有利于光合作用的正常进行。钼素能否直接参与光合作用，目前还不得而知，但的确能提高冬小麦、玉米、荞麦等的光合作用强度。在玉米叶片开始衰老时，钼仍能促进其光合作用。使叶子的生活能力得以长久地保持在较高的水平上。

（4）有利于糖类的形成与转化。钼能改善碳水化合物，尤其是蔗糖从叶部向茎秆和生殖器官流动的能力，这对于促进植株的生长发育很有意义。施钼可促进小麦、水稻种子的萌发和幼苗的生长，提高棉花种子的发芽率，降低蕾铃脱落率，促进早结桃、早开花，从而提高了籽棉产量和品质。

（5）增强抗旱、抗寒、抗病能力。据研究表明，钼能增加土豆上部叶片的含水量，以及玉米叶片的束缚水含量；调节春小麦在一天中的蒸腾强度，使早晨的蒸腾强度提高，白天其余时间的蒸腾强度降低。喷洒钼肥，可以使冬小麦的保水能力明显增强，这在一定程度上等于提高了冬小麦的抗旱能力。

钼素对作物抗寒性能力增强，其原因有二。一是钼可使作物中的抗坏血酸（维生素丙）含量增高。抗坏血酸能维持植物为适应恶劣环境所需要的氧化还原状况。二是钼能提高种籽的含糖量，特别是对抗寒性有决定意义的蔗糖的含量。因而使细胞质的浓度增大，降低了冰点，减轻了低温的伤害和植株的死亡率。

钼对增强植物抗病力有良好效应。据试验，钼可使小麦黑穗病的感染率明显下降。盆栽试验表明，施用高剂量的钼肥（4克/盆），不仅能使感染花叶病的烟草植株具有健康植株的外观，而且可以使烟草产生对花叶病的免疫性。

85. 哪些作物施用钼肥效果好？

钼肥对豆科和十字花科作物反应最好，增产幅度最大。如大豆、花生、豌豆、蚕豆、绿豆、紫云英、苕子、苜蓿、油菜等。其次，大白菜、番茄、萝卜、海椒、三月瓜、韭菜、花椰菜、菠菜等施钼也有不同程度的增产效果。

钼肥对禾本科植物小麦、玉米和果树、棉花、烟草、土豆、甜菜等，在严重缺钼土壤上施用，也有一定增产效果。

86. 钼肥有哪些品种？

钼肥品种很多，目前我国常用的品种是钼酸铵。它是微黄色，易溶于水的物质，分子式 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ，含钼量 54%。

另外，有钼酸钠 $(\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ，易溶于水，含钼 36%，也是常用钼肥之一；三氧化钼 (MoO_3) 含钼 66%，难溶于水；含钼过磷酸钙和经过熔烧的辉钼矿石以及含钼工业废渣等。

87. 怎样施用钼肥？

(1) 作底肥。一般每亩用钼酸铵 0.01~0.1 公斤，与过磷酸钙混合成钼过磷酸钙，也可与钾肥、硼肥混合施用，效果都可以。

(2) 种肥。因为肥钼价格昂贵，用作种肥是最常见的方法。实践证明，钼肥作种肥是一种省工、省肥、操作方便，效果好的方法，值得提倡。种肥分拌种与浸种。

拌种：每 0.5 公斤种子用 1 克钼酸铵，拌种时，先用热水（50℃）少量将钼肥溶解开，然后用冷水稀释至所需要的体积（按 0.5 公斤种子 50 克水来计算），边喷边搅拌种子。搅拌时，不要弄破种皮，以免影响发芽，但一定要拌均匀。拌好后摊开晾干后即可播种。如果种子要进行农药处理，可以等种子晾干后，再拌入农药，也可以在拌肥时，一起拌进去。

浸种：用 0.05~0.1% 浓度的钼酸铵溶液（即 50 公斤水加钼肥 25~50 克），大豆、花生等豆科作物种子一般浸泡 6~12 小时，玉米等禾本科作物可浸泡 20 小时左右。浸后晾干即可播种。播种时，墒情要好，否则会影响发芽。

(3) 叶面喷洒的方法，一般喷雾采用 0.05~0.1% 浓度，用量可视植物大小而定，一般每亩用液 50~75 公斤，在苗期或花前期喷 2~3 次较好，每次相隔 7~10 天。大豆是需钼较多的作物，在开花结荚期是需钼的临界期，抓住时机对大豆进行叶面喷洒效果十分明显。1984 年，临汝县尚庄乡玉皇科研组在大豆初花期转入盛花期，分别两次对 8 亩大豆进行了喷施，结果喷施的比不喷施的增产 30%，而极个别地块没有喷施，光结角不上籽，造成裸粒无收。

(4) 钼肥与磷肥配合施用。钼与磷有相互促进，增强肥效的作用。钼肥和磷肥配合使用，再配合氮肥更好。例如，每亩用钼酸铵 15 克、尿素 0.5 公斤、过磷酸钙 1 公斤配合。其方法是先将过磷酸钙加水 75 公斤搅拌放置过夜，翌日将沉渣滤去加入钼肥和尿素即可进行喷雾追施。

88. 使用钼肥应该注意什么问题？

- (1) 钼肥拌种或浸种不能使用铁器。
- (2) 用钼肥处理过的种子不能再用来喂牲口、或者人吃，以免引起钼中毒。
- (3) 用钼肥浸种播种时，土壤墒情一定要足，播时若墒情不好，播种后土壤会倒吸走浸过种子的水分，引起芽干而影响发芽。
- (4) 钼肥用来处理牧草，浓度不宜过高，喷洒次数不宜过多，以免引起牲畜钼中毒。
- (5) 钼肥浸种或拌种后，最好阴干后随时播种，不要隔天或拖几天后播种。
- (6) 钼酸铵若保存时间过长，溶解于水较困难，滴加几滴氨水，就可以溶解。但滴加氨水不能过量，氨水过量就要影响种子发芽。

89. 蔬菜缺钼有哪些症状？怎样防治？

花椰菜缺钼时，叶呈狭长条状，叶边弯曲，凹凸不整齐，幼叶和叶脉失绿，人称牛尾病。严重缺钼则不结花球。

番茄缺钼时，老叶先退绿，叶缘和叶脉间的叶肉呈黄色斑状，叶边向上卷，叶尖萎焦，渐向内移。严重者死亡，轻者仅开花结实受到影响。

豌豆、蚕豆缺钼时，叶色黄绿，生长不良，根瘤不发达，老叶枯萎上卷，叶缘呈焦状。

包心菜缺钼，叶片弯曲，叶缘为水渍状，叶脉常呈紫色，叶肉为橄榄绿色。叶片向四面张而不易包心。幼叶褐色坏死，叶缘变形。

甜菜缺钼，叶片变窄，由灰绿色发展成均匀黄绿色，与缺氮相似。叶脉间失绿不明显，将叶片迎着阳光观察时，才可以看到失绿部分。叶片小叶柄凋萎，叶柄凋萎常发展到坏死，全叶枯萎而死亡。叶缘向上卷曲，全叶由主脉向上弯曲，有时呈焦灼状，严重缺钼时枯萎。轻度缺钼时，只有叶片呈黄绿色，叶缘粉红色，叶片卷曲、凋萎。

防治蔬菜缺钼症，用 0.05 ~ 0.1% 浓度钼酸铵，每亩地 50 公斤溶液，于苗期与花期喷洒为常见。喷洒时，叶片正反两面均应有肥液。喷洒叶面是蔬菜防治缺钼症有效办法。花椰菜包心菜在苗期（六叶期）、发棵期（莲座期）、结球期（外叶 24 片左右）喷施钼肥为好。豌豆、蚕豆在苗期、结荚前后喷钼肥为最佳。

90. 小麦缺钼有哪些症状？怎样防治？

小麦缺钼也显出花叶症，易发生在苗期，发病时叶色褪淡，开初老叶叶片前半部沿叶脉平行出现细小的白色斑点，以后逐渐接连成线状，叶缘向叶面一侧卷曲、干枯。直至整株枯死或不能抽穗。小麦缺钼和锰同样要产生严重失绿条文，但两者有区别，缺锰失绿开始主要发生在叶片中部，而缺钼则发生在叶片前部。

那么如何防治小麦缺钼症？

每亩拌种 15 克钼酸铵可防止缺钼症。施用钼肥拌种的小麦比未施用钼肥的小麦体内硝态氮积累低，光合效率提高，据试验可增产 11% 以上。

河南省大部分土壤有效钼含量低于临界值，因此，应该重视钼肥的应用问题。

91. 豆科作物的缺钼症有何特点？怎样防治？

一般说来豆科作物对钼比其它作物敏感，容易产生缺钼症，轻微缺钼只是叶色褪淡，与其它作物缺氮症相似，因为缺钼降低了根瘤的固氮能力。中度缺钼豆类作物叶片上出现失绿斑点，严重时叶缘干枯，直到整个叶片干枯，缺钼不能形成根瘤或根瘤少而小呈灰白色，固氮能力弱。

防治豆科作物缺钼症，经济用法是每 0.5 公斤种子拌钼酸铵 0.5~1.0 克。苗期至花期用 0.05~0.1% 浓度钼液喷施，但效果没有拌种好。

92. 钼肥的增产作用如何？

微量元素钼对固氮菌生长的重要性是美国 Bortels 在 1930 年发现的，他是豆科作物田间小区上施钼反应的第一个观察者。30 ~ 40 年代，澳大利亚和新西兰牧草缺钼达到了严重限制生长的程度，施用钼肥后使产量成倍增长。可见钼对豆科作物增产作用十分显著。

据河南省农牧厅，1980 年、1982 年 38 个试点对大豆喷施钼肥，平均增产 12%，增产机率占 97%，如郸城县城郊乡王娄一队，在含有机质 1.068%，pH8.1，有效态钼在 0.032ppm 的两合土土壤上，增产 22.2%，有效分枝增加 0.4 个，单株荚数增加 2.9 个，单株粒数增加 4.2 粒，百粒重增加 1 克。又如开封县八里湾公社在沙土地上。用钼肥拌种的大豆增产 16.2%，单株荚数增加 2.6 个，千粒重增加 14.3 克。

我们在封丘县黄陵乡万亩沙地上试验，土壤有效态钼在 0.042ppm 时，钼酸铵 0.1% 浓度溶液花生浸种，比对照增产 7.6%，浸种后再用 0.1% 溶液喷洒苗期、花期，增产率在 15.7%，究其增产原因是，施用钼肥后株高，百粒重、双仁果数增加，从田间观察来看根瘤数增多，根瘤体积增大。

在南阳砂姜黑土实验点，大豆用钼肥浸种增产 17.1%，而大豆喷施钼肥的增产 26.5%；洛宁县褐土试验点用钼肥喷施大豆增产 9.8%，花生喷钼肥增产 10.7%。河南省大面积土壤有效钼含量低，钼在豆科作物反映敏感，若能推广钼肥，经济效益是十分显著的。例如，1979 年，三门峡丘陵区大面积使用钼肥浸种，使 3500 亩花生增产 16 ~ 29%，获得了较好的经济效益。

湖南省农科院土壤肥料研究所，在全省 35 个大豆施钼的试验均比对照增产，平均增产率为 24.7%，亩产大豆 105 公斤，比对照增产 22 公斤。25 个施钼试验平均亩产花生 176 公斤，比对照增产 32 公斤，增产率为 21.0%。另外，对蚕豆、紫云英、绿豆、箭舌豌豆、苕子、苜蓿施钼肥也有一定增产作用，鲜草量提高 12 ~ 44.1%。

钼肥对柑橘增产作用据报道也十分明显的。在开花前或幼果期喷施，柑橘增产在 16 ~ 30% 之间。

（十）锰肥的作用和施用方法

93. 锰在植物体内的功能是什么？

锰是作物生长发育不可缺少的微量元素之一。在作物体中的含量通常为干物质的千分之几至十万分之几。以十字花科植物含量最少，平均为45.7ppm，以玄参科植物含量最多。十字花科植物以干物质重计算，含锰<20ppm就可能出现缺锰病症，适宜范围为20~50ppm。不同器官含锰是不一样的，一般是叶>茎>种子。例如，小麦正常叶片含锰26~103ppm，含量低于45ppm就有可能出现缺锰症状，降低到25~26ppm就会出现严重的缺锰症状。概括起来锰的作用有：

（1）促进光合作用。锰是叶绿体的结构成分，在叶绿体内有丰富的锰，是维持叶绿体结构所必须的元素。作物缺锰，常引起失绿，光合作用受到抑制，碳水化合物的合成减少。一旦补充锰素，能促进作物体内抗坏血酸含量增加，使光合作用正常进行，有利于体内碳素同化过程。

（2）能调节体内的氧化还原反应。锰一般以二价离子形态被作物吸收利用，又可以四价离子形态参加各种物质的还原过程。锰能增强植物呼吸强度，调节体内氧化还原过程。例如，当作物吸收硝态氮时，锰起还原作用，使硝态氮转化为氨基酸，进而合成蛋白质。所以缺锰时，植物体内蛋白质的合成就大大减少。而植物吸入铵态氮时，锰又起氧化剂的作用。

锰还能调整二价铁和三价铁彼此间的转化关系，进而影响铁盐完成的氧化还原反应。说明铁、锰之间存在相互影响作用，植物体内锰含量过高会导致缺铁，反之亦然。锰作为植物一种催化剂，与铜和锌也有密切关系。

（3）加快氮素代谢。小麦施锰肥，籽粒中全氮量和蛋白质成分中的麦胶蛋白质含量均有提高。花生施用锰肥，根系中的根瘤数目和体积有增加。豆科作物施锰，根瘤菌的固氮能力增强，根的重量和土壤耕层中的含氮量均有提高。

锰对植物氮素代谢有着显著影响，缺锰的叶片中，游离氨基酸有积累，减少了蛋白质合成。因此，在实验中发现小麦施锰，籽粒全氮量增加等现象。

（4）促进种子萌发，有利于生长发育。在锰的刺激下，对种子胚芽鞘的延伸有促进作用，并加强了萌发时种子淀粉和蛋白质的水解过程，使单糖和氨基酸的含量，比未经处理的种子要高，对促进小麦、水稻种子的萌发以及幼苗生长十分有利。

锰能加速同化物质（尤其是蔗糖）从叶部向根部和其它部位转移，为植株各部位提供充足的能量，促进植物的生长发育。据我们在封丘鲁岗乡刘留横村试验，棉花施锰，落蕾现象减轻，而且收获的棉花纤维长，色泽光亮，一级籽棉增多。

（5）抗病力提高。锰素营养充足可以增强作物对某些病害的抗性。施锰能减轻大麦黑穗病、黑麦的黑粉病和坚黑穗病的发病率。冬黑麦种子用高锰酸钾浸种，可提高对锈病的抵抗力。锰能提高土豆对晚疫病、甜菜对立枯病和褐斑病的抗性。锰对亚麻（主要作种肥）可减轻炭疽病、立枯病和细菌病的感染。

此外，锰素能增强小麦等作物的抗寒性。

94. 哪些作物施用锰肥效果好？

总的说来，锰对许多作物都有较好的效果，包括粮、棉、油、糖和一些经济作物，蔬菜、果树等。

粮食作物以小麦、高粱、大麦、玉米、谷子、土豆、红薯等对锰肥最为敏感，增产效果十分显著。我们在封丘、辉县等地试验及全省各地的情况看，一般增产小麦 10~20% 之间。辉县北云门乡姬家寨姬常修小麦施锰后，麦苗浓绿，分蘖增多，株高、穗长、小穗数、千粒重都有增加（见表 14）。

表 14 1984 年小麦拌锰肥与对照比较表

处理项目	每平方尺株数	分蘖数	叶色	叶面宽度	茎粗	调查日期
拌锰	381	7 ~ 8	嫩绿有光泽	1.2 厘米	0.3 厘米	1985 年 3 月 15 日
对照	176	2 ~ 3	黑灰绿无光泽	0.8 厘米	0.1 ~ 0.2 厘米	同上

锰肥对花生、大豆、豌豆、绿豆、苜蓿、苕子、田菁、箭舌豌豆、紫云英等豆科和绿肥作物肥效反应相当于钼肥，十分良好。这些作物对锰需要量大、反应敏感，尤以花生、大豆的增产效果最佳。能使花生的成荚率和荚果数增多，空瘪率减少，百果重和百粒重提高。例如，1984 年我们在封丘黄陵乡曹寨、文荏等村试验，施锰一般增产 20% 左右，最高达 26%。

棉花、烟草、甜菜、油菜、麻类反应也很好，甜菜是需锰量大的作物之一，可作为土壤中锰的供给情况的指示植物。

锰肥对黄瓜、萝卜、菠菜、青笋、番茄、洋葱、窝笋、土豆、芹菜、花椰菜等多种蔬菜也有良好的增产效益。四川省渡口市锰肥用于番茄、土豆和三月瓜分别增产 23.3% 和 41.2%。我们在郑州郊区试验，菠菜增产 30%。

苹果、桃、柑橘、葡萄等果树对锰十分敏感。因此，在缺锰土壤上对这些果树施用锰肥，往往获得大幅度增产。苜蓿、花菜等需锰较少。

我国石灰性土壤范围大，潜在缺锰土壤较多，因此施用锰肥大有前途。

95. 锰肥有哪些品种？

锰肥大致有以下几种：

(1) 硫酸锰，分子式为 $\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ，含锰 26 ~ 28%，在目前最为常用。硫酸锰白色稍带微桃红色粉末，易溶于水。

(2) 氯化锰，分子式 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ，含锰 17%，浅红色结晶，有吸水性，易溶于水。

(3) 碳酸锰，分子式 MnCO_3 ，含锰 31%，是一种白色粉末，空气中渐变浅黄色，不溶于水，溶于稀酸。

(4) 氧化锰， MnO ，含锰量 41 ~ 68%，呈黑色或绿色粉末，不溶于水。

(5) 螯合锰，如 MnEDTA 等，含锰 12%。

(6) 磷酸铵锰，化学分子式为 $\text{Mn}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，含锰量 29%。此外，有含锰过磷酸钙、含锰玻璃肥料，含锰工业矿渣等。

96. 锰肥使用方法有哪些？

锰肥使用方法如同钼肥、锌肥，有拌种、浸种、基施、叶面喷洒等等。但总的一条原则，最好在作物生育早期施用。

(1) 基肥。一般每亩用硫酸锰 1~2.5 公斤，与生理酸性化肥或农家肥混合条施或穴施。砂性的石灰质土壤用量宜多。如果用含锰工业废渣用量每亩可达 5~10 公斤，撒施于地面，耕时翻入土中

(2) 种肥。锰肥拌种量是各种微肥中最大的一种，一般可以按每公斤种子 4~8 克锰肥使用。拌种方法同于钼、锌等微肥。

(3) 浸种。硫酸锰浸种浓度为 0.05~0.1% (即 50 公斤水加 50~100 克锰肥)，种子与溶液比例为 1 : 1，浸泡时间 12~24 小时。

(4) 叶面喷洒。硫酸锰叶面喷洒浓度可在 0.05~0.2% 之间，视苗大小而定。每亩喷洒 30~50 公斤即可。一般喷洒时期，棉花在盛蕾期和棉铃形成初期分别喷施，小麦在苗期或拔节期为好，总的来说，试验证明，小麦在返青时喷洒效果最好，因为那时地温低，容易造成缺锰条件，一旦补充锰肥效果显著。

97. 小麦缺锰有何症状？怎样防治？

小麦、大麦、燕麦和玉米常因缺锰而患灰斑病。发芽后 3~4 天就可出现初期症状。病害发生早而严重时，植物死亡较快。发病较轻时，减弱开花势，结实率降低。除了叶斑的各种色泽外，最典型的是在叶子上出现膨压极弱的或干枯的窄横条，有时称之为干枯条斑。小麦干枯条斑是靠近叶子尖端，叶子沿条斑弯曲，向内卷起。四川省有关单位研究指出，小麦缺锰花叶症最早出现在小麦 3~4 叶期。远看麦田一片淡黄，好象被氨气熏过或遭受过霜打一样，将病株拔起观察，麦苗无分蘖，根系不发达或变黑死亡。最典型的特征是病叶沿叶片中脉平行地出现许多细小的淡黄色或白色斑点，这些斑点最初只在老叶叶片中部出现，并逐渐连接成线状、片状，至使叶片中部干枯下垂，但叶尖部分基本上还是绿色的也比较完好。这一症状逐渐从下部叶片发展至上部叶片，有的甚至全叶死亡，元旦到春节前后，病势达到高峰。病势较轻的，在气温回升后，由于小麦根系下扎吸收了底层淀积的锰，病状有所好转，但发病严重的剑叶上也有白色条纹。由于缺锰，光合产物大为减少，麦粒千粒重降低。

那末怎样防治小麦缺锰症？

主要防治办法每 0.5 公斤小麦种拌 3~4 克硫酸锰，严重的缺锰田还应增加 2~3 次叶面喷施，浓度为 0.2% 左右。

化学氮肥施用过多会加重缺锰。因此要注意氮肥的合理使用。

缺锰土壤一般在石灰性反应强烈的地方，由于 pH 值增高，化学原因降低锰的有效性；砂土地全锰低，有效锰也低，加之砂土漏渗严重，灌水量大时，在还原条件下锰随水流失的量也大；特别在水旱轮作田，应注意缺锰的问题。在种稻时，锰被大量渗漏，种麦时又被很快氧化为不可给态，反复数十年，表层土壤含锰量逐年减少，作物会出现缺锰症。

98. 蔬菜缺锰有哪些症状？防治效果如何？

蔬菜作物缺锰共同症状是叶片发黄，下面就常见几种蔬菜分别作一介绍。

番茄：番茄产量高，一季消耗土壤锰较多，容易引起缺锰症。如果番茄缺锰叶绿素合成受阻，生长发育受到影响。首先茎叶先变成浅绿色，而后逐渐发黄，叶脉仍保持绿色，主脉间叶肉变黄，所以黄色叶肉组织与绿色叶脉相同，呈现出黄斑状。后期黄色逐渐扩大，直到中肋旁边，茎叶全部发黄，植株不开花、不孕蕾结果。

黄瓜：一旦黄瓜缺锰，叶片大块呈黄色，可使叶脉发绿，如同地图上水系一般绿色叶脉到处可见。黄瓜缺锰后，蔓变短、细弱、花芽常呈现黄色，果实细长。

菠菜：菠菜缺锰首先表现在新生叶上失绿，初期呈浅绿色，而后成金黄色，不几天可蔓延到全株，逐渐叶肉会出现白色坏死组织。叶片常出现卷曲、皱缩和坏死斑块，俗称菠菜黄化病。

蔬菜对锰比较敏感，缺锰后喷洒锰肥增产幅度在 10~20% 之间。硫酸锰浓度 0.1~0.3% 左右，亩喷施量视菜大小而定，苗期 25 公斤即可。生长旺盛时每亩应喷 50 公斤溶液。喷时叶正反两边均应喷上肥液。喷洒时期宜在苗期为最佳，塑料大棚或地膜覆盖时可多喷几次。黄瓜、冬瓜、南瓜、丝瓜、苦瓜、西葫芦除苗期外，可在初果期、盛果期喷 1~2 次。番茄、茄子、辣椒等可在苗期、催果期、盛果期喷洒。菠菜、芹菜、茼蒿、莴笋、苋菜、空心菜等可在苗期、旺盛生长期喷 1~2 次。

99. 锰肥的增产效果怎样？

锰肥对许多作物都有良好的增产作用。我国从 70 年代初期开始了较多的田间试验，1984 年在较大面积上施用，在缺锰土壤上表现了较大增产效益。

锰肥对小麦增产作用比较明显。四川省温江地区冲积土，长年施用石灰提高了土壤 pH 值，加之水旱轮作促使了锰的流失。在这样土壤上施锰（浓度 0.15%）喷洒两次，每亩增产小麦 54 公斤。小麦在施用氮、磷、钾肥基础上，配合施用锰肥增产效果更为明显。多年来试验证明，在黄淮海平原地区施用锰肥是一项值得推广的增产措施。此外，黄土高原、

表 15 锰对作物增产作用

作物	施肥方法	试验单位	增产幅度	作物表现
小麦	0.1 % 浓度拔节期喷施	河南地理所	9.7 %	穗长、小穗数、每穗粒数千粒重均有增加 叶色浓绿、叶宽增加、出苗率提高、抗不良气候、抗病性提高
	底施硫酸锰 1 公斤/亩	江苏铜山县	23 %	
	喷施	徐州、淮阳农科所	10 ~ 20 %	
	拌种、喷施	陕西农科院	21.6 ~ 25 %	
花生	浸种 0.1 % 浓度	河南地理所	12.95 %	出苗整齐，单株荚果数、百仁重增加，空瘪率下降叶色深绿，根瘤增多增大。增加抗病虫害能力提高
	浸种加喷施	河南地理所	26.97 %	
	拌种（4 克/公斤）	南京土壤所	8.3 ~ 33.2 %	
	拌种	广东湛江地区	10.8 %	
蔬 菜	番茄 喷施	四川渡口市	23.3 %	叶色深绿，抗病能力提高
	三月瓜 喷施	四川渡口市	41.2 %	
	菠菜 喷施	郑州郊区	30 %	
棉花	喷施	南京土壤所	15 ~ 21 %	施锰后叶色深绿，植株生长稳健，叶片较厚，单株桃数增加促使早开花结桃，百铃重增加
	追施	江苏铜山	22 %	
大豆	喷施	江苏铜山	10.9 ~ 28 %	单株、荚果数、单株粒数、百粒重增加
	拌种、喷施	河南地理所	25 %	
烟叶	喷施	陕西农科院	15 %	株高、叶片数增加，花叶病减少需锰较多作物，缺锰失绿、矮化
甜菜	喷施	陕西农科院	15 %	糖分提高 1.5 %，块根增大，甜菜可作指示作物
	喷施	江苏铜山县	13 %	

游离碳酸钙较多土壤、肥力较低、碱性较大的沙碱土、沙土地区也有显著增产作用。

锰肥对花生、大豆、棉花、烟草、甜菜、蔬菜、甘薯上的作用是不容忽视的，经济效益更为明显（见表 15）。

（十一）铁肥的作用和施用方法

100. 铁在植物体内的作用是什么？

铁在植物体内是一些酶的组成成分。它居于一些重要氧化酶和还原酶的活性部位，起着传递的作用。具体说有以下几点作用。

（1）铁有利于叶绿素的形成。铁虽不是叶绿素的成分，但是它在叶绿素的形成中是不可缺少的条件，植物缺少铁时因叶绿素形成受到障碍和破坏，叶片便会失绿，严重时叶片变成灰白色，尤其是新生叶更易出现这类失绿现象，必然会影响到植物光合作用和碳水化合物形成。有些树木缺铁严重时，会发生顶枯，甚至树木死亡。

（2）促进氮素代谢正常进行。铁是作物体内，多种氧化酶、铁氧还蛋白和固氮酶的组成部分。铁和铜一样，在硝态氮还原成铵态氮的过程中起着良好的作用。在铁缺乏时，亚硝酸还原酶和次亚硝酸还原酶的活性降低，使这一过程变得缓慢，影响蛋白质和氮素的合成与代谢。缺铁的根瘤固氮能力减弱，并且限制了植株对氮、磷的利用，而且，铁与其它元素之间，有密切相关性，如植物体内铜、锰、锌、钼、钒含量偏高，都会减弱对铁的吸收利用。

（3）增强植株抗病性。保证植物的铁素营养，有利于增强一些植物的抗病能力。有人用氯化铁溶液对冬黑麦进行春化处理，提高了冬黑麦对锈病抗性。施铁肥可使大麦和燕麦对黑穗病的感染率降低，能增强柠檬对真菌病的抗性。

101. 哪些作物对铁肥敏感？

对铁肥敏感植物有高粱、蚕豆、花生、大豆、玉米、甜菜、菠菜、番茄、花椰菜、土豆、甘蓝、大麦、燕麦。多年生果树，如柑橘、苹果、杏、梨、桃等更易引起缺铁症。槐

表 16 部分铁肥肥源表

来源	分子式	Fe % (近似值)
硫酸亚铁	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	19
硫酸铁	$\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	23
氧化亚铁	FeO	77
磷酸亚铁铵	$\text{Fe} (\text{NH}_4) \text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	29
氧化铁	Fe_2O_3	69
硫酸亚铁铵	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	14
铁玻璃肥料	组成不定	含量不定
聚磷酸铵铁	$\text{Fe} (\text{NH}_4) \text{HP}_2\text{O}_7$	22
铁的螯合物	NaFeEDTA	5 ~ 14
	NaFeHEDTA	5 ~ 9
	NaFeDTPA	10
	NaFeEDDHA	6

树，核桃树也极为敏感。

102. 铁肥有哪些种类？施用时应注意什么？

现在铁肥有硫酸亚铁、硫酸亚铁铵、氧化铁、氧化亚铁、磷酸亚铁铵、硫酸铵铁、螯合态铁等。目前常用的是硫酸亚铁。

硫酸亚铁 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)，为天蓝色颗粒状或粉末状，可溶于水，在干燥空气中风化成白色粉末，遇水又重新变为天蓝色。硫酸亚铁含铁量 19.0% 左右（见表 16）。

铁在叶片中很难转移，故喷洒时次数宜多。叶片正反两面都应喷洒。硫酸亚铁很容易氧化变为高铁，从而降低肥效，应注意密闭保存。铁肥若直接施入土壤很快会被转化成难溶性高铁而失效。因此，叶面喷洒最为常见。

近年，科研单位用螯合态铁（FeEDTA）等有机铁，含铁 5~14% 有较高活动性，在土壤中不易被固定，效果较好。

103. 如何施用铁肥？

施用铁肥如直接施入土壤易被固定，为此目前多数采用叶面喷洒的方法。

叶面喷雾浓度在 0.05 ~ 3.0% 之间，用 0.2 ~ 1% 为多数。铁在叶片中运转很慢，喷到肥料的地方才能点状复绿，因此，一般连续喷雾 2 ~ 4 次，相隔时间 5 ~ 6 天为宜。每亩每次喷雾用液 50 ~ 100 公斤之间，在 50 公斤硫酸亚铁溶液中加入 50 克洗衣粉，能提高溶液在叶面上的附着力。选在晴天下午 4 点以后喷为宜，使叶片正反两面都着上水，以利叶片对铁素吸收。一般植物，喷施后 3 ~ 4 天叶脉转绿，7 天以后新生复叶可转为绿色。

在植物缺铁地块增施有机肥料，可利用有机肥分解时释放出来的二氧化碳，来降低土壤 pH，能提高铁的有效性和土壤供肥能力，促进植物正常生长。

铁肥用作基肥，最好与 10 ~ 20 倍的有机肥混合施用，效果较好。

如果用尿素铁喷雾，浓度控制在 1%，用黄腐酸铁二胺，可用 200 倍稀释液喷施。

铁肥也可用来浸种，浸种时浓度控制在 0.01 ~ 0.1% 范围，浸种时间在 12 小时左右。

104. 柑橘、苹果缺铁症有何特点？

柑橘缺铁产生失绿，严重时全株黄化。它与其他缺素失绿不同的特点是：缺铁失绿严重，且失绿部分在叶脉间，而叶脉仍为绿色，呈网纹状，绿色与白色差异明显；缺铁严重时，侧脉也要失绿，只留下主脉是绿色。也有落叶和顶枯现象。缺铁使果实未熟先掉，或果皮褪色。

苹果树缺铁，引起黄叶病。铁是叶绿素合成必不可少的一种矿质元素，缺乏时就会影响叶绿素的合成，使苹果叶片失绿或黄化。据烟台地区果树实验站研究，在 0~40 厘米深的土层中，当 pH 为 7.4~8.28、氯化钠含量为 0.1111~0.2046 克/100 克干土时，足以使许多苹果发生缺铁黄叶病。黄叶病的发生程度，随着树龄和结果量的增长而加重，甘肃省黄羊农场调查认为，土壤含水量长期高于 14%，是发生黄叶病的重要条件。以国光、红香蕉、红玉等发病最重，青香蕉、金帅等较重。各地区发病轻重的品种也不尽相同，不同砧木抗病能力也不一样。

105. 果树怎样施铁肥？

果树缺铁会引起黄叶病，但叶子主脉仍是保持绿色。严重时整个叶面发白，新梢变成黄色或黄绿色。下面仅葡萄、苹果等施铁肥方法介绍一下。

葡萄缺铁素可以直接补充铁肥。葡萄叶面对铁的吸收与运转很慢，叶面喷施效果不如在土壤中施用铁螯合物的效果好。篱架每株沟施铁螯合物（Fe—EDDHA）15克，连续2年有效。

苹果、桃、核桃树等可以用喷施1%浓度的铁肥，但铁在叶片中运转能力差，一次喷布不能使全叶复绿，而只是喷到肥料的地方才能点状复绿。因此，连续喷施才能见效。也可以在每棵树上钻孔，塞上1~2克硫酸亚铁盐，或者在根部用注射法来防止果树缺铁症状，具体做法是，将0.1~0.3%硫酸亚铁溶液盛在玻璃瓶内，在距树干1米处挖土，露出树根，选直径5毫米粗的树根，切断后插入瓶中，然后埋好土，埋瓶时间在早春、花前、秋后均可。

除了补充果树铁素来防治缺铁症外，采用控制结果量，维持土壤含水量在12~14%的范围内，同时选用适宜的品种、砧木组合也可减轻果树黄叶病的发生。在果树生长季节，用0.05~0.1%柠檬酸铁，也可以防治缺铁黄叶病。

106. 铁肥的增产作用怎样？

据河南省农牧厅农业技术推广总站多年试验，小麦上施用铁肥增产幅度在 0.9 ~ 15.7%，平均增产 7.2%，平均亩增小麦 25 公斤。喷施浓度为 0.1 ~ 0.2% 硫酸亚铁，在小麦拔节、开花和孕穗期喷施。

水稻上喷施铁肥多数有增产作用。据固始县分别在丘陵地、畝田沙湾地的汪棚、陈集和洪卜 13 个乡试验，在水稻拔节、开花期分别喷施铁肥增产 0.9 ~ 34%，亩增水稻 15 ~ 85 公斤。

河南省在黄河冲积平原的沙碱地上，花生、槐树缺铁症状十分明显。作者先后在新乡地区封丘等地和开封县、尉氏县、新郑县进行考察，花生叶片发黄、发白和槐树叶发白现象特别严重，用 0.1% ~ 0.2% 铁肥溶液喷施花生叶面，一般在 5 天左右转绿，中等大小槐树叶片一般 7 天左右转绿。例如：宁陵县在土壤有机质含量 0.505%，有效态铁较为缺乏薄碱地上，花生用铁肥浸种，结果亩产较对照 70 公斤增加 25 公斤，增产 42.8%。

中国科学院南京土壤所微量元素专家朱其清，在封丘县举办了花生施用铁肥学习班，黄陵、潘店等地进行了大面积示范使用；开封县是有名花生产区，县科委、县农科所等单位组织了示范，取得了可喜的成绩。

1980 ~ 1981 年北京市园林局东北郊苗圃和河北省卢龙县苗圃场的 410 亩（22 万株）苗木施用了铁肥，每亩增加收入 150 ~ 700 元。

（十二）铜肥的作用和施用方法

107. 铜在作物体内的作用是什么？

据研究，铜在植物体内的功能是多方面的。它是多种酶的组成成分。铜与植物的碳素同化、氮素代谢、吸收作用以及氧化还原过程均有密切联系。

（1）铜有利于作物生长发育。铜素的存在能促进蔗糖等碳水化合物向茎秆和生殖器官的流动，从而促进植株的生长发育。铜肥有利于花粉发芽和花粉管的伸长。在缺铜情况下，常因生殖器官的发育受到阻碍，而使植株发生某些生理病害，引起各类作物的穗和芒的发育不全，甚至不能结穗，空秕粒很多，产量显著降低。

（2）影响光合作用。植物叶片中的铜几乎全部含于叶绿体内，对叶绿素起着稳定作用，以防止叶绿素遭受破坏。可见，铜素供给充足能提高植物的光合作用强度，能减轻晴天中午期间光合作用所受到的抑制。铜素能增加叶绿素的稳定，对蛋白质的合成能起良好作用。铜素不足，叶片叶绿素减少，出现失绿现象。

铜与铁一样能提高亚硝酸还原酶和次亚硝酸还原酶的活性，加速这些还原过程，为蛋白质的合成提供较好的物质（氨）条件。

（3）铜能提高作物的抗寒、抗旱能力。铜能提高冬小麦的耐寒性，而且还能增强茎秆的机械强度，起到抗倒伏的作用。用硫酸铜来处理种子，在低温条件下，对提高棉花种子的发芽率有极好的反应，对玉米发芽率也有明显影响，并能增强其抗御冻害能力。同时，铜对柑橘类的耐寒性也有一定的作用。

铜能提高植株的总水量和束缚水含量，降低植物的萎蔫系数，因此，铜素营养充足有利于抗旱性的提高。一旦缺乏铜肥，就会破坏作物的水分平衡，促进植株吐水量增多，严重者会显著增加萝卜等作物萎蔫病的发病率。

（4）铜能增强植株抗病能力。铜能提高植物抗病能力作用最为突出。铜对许多植物的多种真菌性和细菌性疾病均有明显的防治效果。在果树上，使用含硫酸铜的波尔多液来防治作物的多种病害，已成为普遍采用的植保措施之一，从这一侧面可以看到铜素对提高植物抗病力的重要作用。据实验表明，土豆施用铜肥，不仅可提高整个生长发育期包括块茎形成期、以及贮存期对晚疫病的抗性，而且能减轻细菌病、疮痂病、粉痂病和丝核菌病的感染，甚至在施铜后第二年，仍有作用。如果连续施用2年铜肥，其块茎经贮藏后，细菌性软腐病可得到彻底根除。施用铜肥可使菜豆炭疽病、番茄的褐斑病以及亚麻的立枯病、炭疽病和细菌病的感染率显著降低。

108. 哪些作物对铜肥较敏感？

目前国内对铜肥的试验及大田应用较少。苏联、美国研究较多，特别是苏联在泥炭土上施用铜肥非常普遍，苏联学者早就证明了在疏干的泥炭土和沼泽土上施铜素有重大意义。在美国有机质土上，作物对铜的相对反应（见表 17）。

表 17 美国有机质土作物对铜的反应

作物对铜反应的等级		
不明显	中等	明显
芦笋	大麦	胡萝卜
蚕豆	花茎甘蓝	苜蓿
禾本科草	卷叶菜	莴苣
豌豆	三叶草	燕麦
薄荷	黄瓜	洋葱
马铃薯	玉米	菠菜
留兰香	四季萝卜	苏丹草
大豆	糖用甜菜 甜玉米 芜菁	食用甜菜 小麦

小麦、燕麦在缺铜的土壤上，据实验证实，植株发生失绿现象，穗和茎发育不全，空穗率高，产量显著降低，一旦施用铜肥效果较好。

另外，铜对大麻、亚麻、桃、杏、李、苹果、柑橘等也十分敏感，都可因缺铜而降低产量和品质，正常的作物含铜 5~20ppm，主要集中在幼嫩部分。

109. 铜肥有哪些种类？

铜肥有以下几种（见表 18）。

表 18 常见铜肥种类表

种类	分子式	元素含量%	性状	
硫酸铜	—一水	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	35	蓝色晶体状，溶于水
	—五水	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25	蓝色晶体状，溶于水
	—碱式	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	13 ~ 53	
氧化铜	CuO	75	难溶于水、黑色，溶于酸	
氧化亚铜	Cu_2O	89	不溶于水、红棕色结晶性粉末	
磷酸铵铜	$\text{Cu}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	32		
硫化铜	Cu_2S	80	黑色、不溶于水，溶于酸	
铜矿渣		0.3 ~ 1	难溶于水（又名黄铜矿渣）	
碱式碳酸铜	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57		
	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	75		

应当提出的是，铜肥因品种和来源而异，其含量也不一样，例如美国的碱式硫酸铜，其中铜的含量就不一样，分别有 13%、26%、34%、53% 等四种含量。

110. 怎样使用铜肥？

需铜量最多的作物有：小麦、洋葱等；需铜较多的作物是：大麦、燕麦、胡豆、向日葵等；需铜中等的作物有：土豆、甜菜、苜蓿、蔬菜等；需铜较少的作物有：玉米、大豆等豆类和油菜等。因此，铜肥在小麦、洋葱上施用较多。

铜肥品种有：硫酸铜、碱式硫酸铜、碳酸铜等，多数为蓝色透明结晶或颗粒、粉末状，易溶于水。最常用的铜肥是硫酸铜，含铜 25%。由于价格较贵一般都作种肥和根外喷施。

拌种：每 0.5 公斤种子拌 0.5 克硫酸铜。

喷洒：可用 0.02~0.1% 浓度的硫酸铜溶液，每亩视苗大小，喷洒 50~100 公斤即可。最好在溶液中加入少量熟石灰，以免产生药害。

浸种：浓度为 0.01~0.05% 的硫酸铜溶液为宜，浸 12 个小时后，捞出阴干再播种。

若用黄铜矿渣等难溶性铜肥，一般在早春耕地时或冬耕时施入。用量折算含铜量每亩不超过 250 克为宜。根据经验，一般每亩施入黄铜矿渣 30~50 公斤。有人称黄铜矿渣为硫矿渣，因为是制硫酸后的残渣。

若用硫酸铜作基肥，每亩用 1~1.5 公斤为好。最好与其它酸性肥料配合使用，每隔 3~5 年施用一次。

铜肥使用要十分慎重，多次使用后会土壤中累积，引起残留，污染水果、作物。因铜引起环境污染的例子，在日 129 本、西德、美国时有报道。铜肥后效很高，在土壤中移动又小，特别是在沙性土施用，沙土缓冲性小，更要注意用量。

拌种时，用量要严格控制，弄得不好，会影响发芽。有些果园，为了治虫防病，经常施用波尔多液，这些果园就不必再施用铜肥了。

全国对铜肥的肥效研究较少，在生产上我国没有大面积施用，从土壤分析来看缺乏面积也不大。各地可根据自己本地作物、土壤、气候情况进行实验研究。

111. 施用铜肥有哪些增产效果？

铜肥是作物正常生长所必须的，供应不足会引起特有的病症，合理施用可使作物产量提高。铜还可增强作物抗病力和抗逆性。

河南省农技推广总站 31 处试验，小麦拔节、开花和孕穗期分别喷施 0.1 ~ 0.2% 铜肥，增产幅度为 1.9 ~ 36.4%，平均增产 11%，每亩增产在 15 公斤以上。水稻喷施铜肥多数有增产作用。例如固始县在土壤有机质含量为 1.664 %、0.245% 及 1.437%，微量元素有效态铜为 2.34ppm 的汪棚、陈集和洪卜三个乡三处实验，在水稻拔节、开花期分别喷施硫酸铜增产幅度在 3 ~ 11.8 %，亩增稻谷 15 ~ 25 公斤。

1976 ~ 1977 年，据西北水土保持生物土壤研究所彭琳等试验，在 土和黄绵土上进行六次谷子、玉米和油菜浸种、拌种、基施结果，五次表现增产，增产幅度在 11 ~ 22%（见表 19）。

表 19 黄土区部分土壤施用铜肥肥效

土壤	作物	作物产量（公斤亩）		增产率（%）	施肥方法
		对照	施铜		
黄绵土（川地）	谷子	104	127.5	22.0	基施
黄绵土（山地）	谷子	232.5	259	11.4	基施
黄绵土	玉米	370	375	1.3	基施
河滩沙土	玉米	339.5	388	14.3	浸种、基施
土	玉米	166.5	186	11.7	拌种、基施
土	油菜	58.5	70.5	20.5	喷施

施用铜肥对谷子株高、穗长、穗重、根重均有影响，对玉米果穗长、每穗粒数、百粒重均有增加，因而能增加产量。

(十三) 稀土微肥的作用与施用方法

112. 什么叫稀土？发展情况怎样？

对人们来说，稀土元素较为陌生，然而，稀土元素很早就伴随着人类的生活。早在 1903 年人们就用含铈 30% 的铁合金来制造打火石，这是稀土元素最早的用途之一。稀土是一类化学性质相似的金属元素总称，元素周期表中镧系元素的镧(La)、铈(Ce)、镨(Pr)、钕(Nd)、钷(Pm)、钐(Sm)、铕(Eu)、钆(Gd)、铽(Tb)、镝(Dy)、钬(Ho)、铒(Er)、铥(Tm)、镱(Yb)、镱(La)，以及与其性质极为相似的钇(Y)、钪(Sc)元素等十七种。为此，有人称之为“稀土十七姐妹”。

稀土一词是从 18 世纪沿用下来的，当时认为提取稀土元素的矿石稀少，而且只能获得外观象土一样的氧化物，故名为“稀土”。其实稀土不“稀”，它们广泛存在于地壳中，甚至于要比铅、锌、锡、钨、钼等金属多几十乃至几百倍。稀土也不是“土”，它们是能够提取成单一的金属元素。在有色金属中，稀土较为年青。农业上多采用它们的水溶性盐类，叫农用稀土。

人类开始大量使用稀土只是近二三十年的事，特别是近 10 年，随着工业的发展，稀土应用范围逐渐扩大，需求数量不断增加。1955 年至 1970 年间，稀土产量平均年增长 11%，目前稀土生产能力（按氧化物计）每年约 3 万多吨。稀土将在未来世界的经济发展中，显示出十分重要的作用。

在我国，由于党和政府对稀土工业十分重视，发展很快。据现有地质资料表明，我国是稀土资源最多的国家，它分布广，类型多，品种齐全，使用价值大。在已探明的稀土氧化物储量中，仅工业储量为国外总储量的 5 倍。远景储量一亿多吨。仅包头白云鄂博矿储量即超过美国、加拿大、苏联等国稀土氧化物的总和。总生产能力（以 R_2O_3 计）已达万吨以上，仅次于美国居世界第二，初步形成了开采、选矿、冶炼到分离单一稀土元素等一整套稀土工业体系，发展前景是极其广阔的。

113. 稀土微肥在农业上应用效果怎样？

稀土元素在农业上的应用是 1935 年苏联植物化学家特甫洛柯夫首先开始的。我国将稀土元素作为肥料的试验研究，是 1972 年开始的。十多年来我国科研工作者在稀土农用研究方面取得了重大的突破性成果。据多年的验收统计，施用稀土后，每亩平均比对照田可多产粮食 15 公斤，白菜约 1000 公斤。1983 年 170 万亩示范田，施用了约 110 万元的稀土，结果多收粮食 5 千万斤以上。

稀土元素在农业生产中作用具体有以下几点：

(1) 可促进作物生根，增加叶绿素的含量和增强光合效应。促进营养器官内暂存的碳水化合物向穗部转移，从而提高结实率和千粒重。

(2) 能促进作物对氮、磷的吸收，特别是加强了果实磷素的供应。

(3) 可增强作物抗寒力和抗旱性。

(4) 能提高农产品质量。比如，提高烤烟的优质品比率，烟叶叶片厚、宽，烤烟后正黄烟上黄烟增加。茶叶使用稀土后提高了茶多酚、氨基酸含量。西瓜施用稀土后能促进早熟，提高糖分 1~3%。

(5) 用稀土拌种或浸种能提高小麦、水稻出苗率并能提前出苗。根外喷施可增加水稻苗高度；叶数、叶宽；棉花可减少蕾铃脱落，提高纤维长度。

114. 稀土微肥种类有哪些？哪些土壤和作物需施稀土微肥？

稀土从广义上讲也是一种微肥，但与前面讲的硼、锌、铁、锰、铜、钼有一定区别。

稀土施用后能使作物增产是可以肯定的，但稀土是不是植物生长的营养元素或组成部分，以及它们在植物体内的生理生化过程和机制，至今没有明确，国内外都有争论。

农用稀土多数是用工业稀土元素生产的中间产物或含稀土元素的矿渣制成的，均属于混合稀土。

我国目前使用的以硝酸稀土微肥为主，另外有少量的氯化稀土、硫酸稀土。

硝酸稀土主要含有镧、铈、钕、镨、钆、铽、钇等元素，有液体和结晶两种。分子式为 $R(NO_3 \cdot 4H_2O)$ ，其中 R 代表稀土，是低毒的水溶性稀土溶液。结晶固体稀土微肥易水解，不用时一定要密封保存，但水解后仍可继续使用。

稀土必须在氮、磷、钾、硼、锌、锰、铁、钼、铜等元素充分满足作物需要情况下，才能取得一定效果，并应该针对稀土元素含量比较少的土壤施用，例如石灰岩发育土壤稀土含量少，施用效果会好。一般土壤稀土含量在 0.015 ~ 0.02%，酸性火成岩的花岗岩中，稀土含量较多，一般为 0.023% 左右。并且应首先针对敏感作物施用。各地试用证明：茶叶、烟草、豆科作物效果较好。用于蔬菜、果树、甜菜、甘蔗、棉、麻、玉米、小麦、水稻也有一定增产效果。

115. 稀土微肥施用方法有哪些？

(1) 拌种。一般用量为每亩 10~24 克,最高不要超过 40 克稀土氧化物。将硝酸稀土溶于 5~110 倍水中(如 100 毫升稀土溶于 0.5~1 公斤水中),然后把溶液倒入种子与种子一起拌合均匀。拌后阴干,勿晒,以免种皮破裂,影响发芽。一般说来,豆科、小麦、玉米均可采用,效果较好。拌种时不要用铁器,剩余种子不可食用。

据试验,以 0.02~0.03%的稀土溶液 1 毫升拌 0.5 公斤种子为好。小麦拌种后,对苗期生长有促进作用,增强小麦幼苗抗寒能力,幼苗在越冬期间生长健壮,叶片鲜绿。

(2) 浸种。稀土对水配成 0.03~0.05%溶液,浸种 10~12 小时,捞出晾干,播种。

(3) 喷洒。始花期喷施,浓度 0.03%(每亩地按 10 克稀土氧化物,加水 40~500 公斤水),至少喷两次间隔 7~10 天。于晴天无风下午 4 点以后为好。如没有拌种和浸种作物,苗期再喷一次为佳。水稻、棉、麻、烟、茶、蔬菜最宜根外喷施。

116. 稀土有毒吗？

稀土微肥推广中，有争议的一个问题是，施用稀土后是否会对粮食、环境造成放射性污染。国外争议较大，国内也有不同意见。

稀土作为一种金属资源，在矿石中常与少量放射性矿物共生，但经过加工的农用稀土放射性极低。据国内许多单位测定研究，农用稀土的放射性与常用的氮肥相当，低于磷肥。系统研究测定，施用稀土的与不施稀土的粮食、蔬菜等样品相比，没有明显差异。施用稀土小区土壤与对照区土壤的放射线水平也无明显差异，可见，稀土微肥的施用不会对粮食、环境造成大的污染。当然，目前有些工厂和单位，把含有稀土元素的工业废渣运往农村，当作微量元素肥料施入土壤，这种做法是不妥的。

(十四) 附录

1. 一般作物必需营养元素的主要生理作用

营养元素	主要生理作用
碳、氢、氧	作物在光能的参与下进行光合作用时，用碳、氢、氧制造碳为蛋白质、脂肪等重(C、H、O)要化合物。氧和氢在作物体内生物氧化水化合物—糖类。糖进一步形成复杂的淀粉、纤维以及转化还原过程中也起着很重要的作用
氮(N)	氮是构成蛋白质的主要元素，而蛋白质又是细胞原生质组成中的基本物质。氮也是叶绿素、酶(生物催化剂)以及核酸、维生素、生物碱等的主要成分
磷(P)	磷是核酸及核苷酸的组成部分，是组成原生质和细胞核的主要成分，核苷酸及其衍生物是作物体内有机物质转变与能量转变的参与者。作物体内很多磷酸类化合物(磷的一种贮藏形态)和许多酶分子中都含有磷，它对作物的代谢过程有重要的影响
钾(K)	钾能调节原生质的胶体状态和提高光合作用的强度，与作物体内糖类的形成和运输有密切关系，对作物的氮代谢也有良好的影响。钾还能增强作物的抗逆力，减轻病害，防止倒伏

营养元素	主要生理作用
钙(Ca)	钙对于作物体内碳水化合物和含氮物质代谢作用有一定的影响，能消除一些离子(如铵、氢、铝、钠)对作物的毒害作用。钙主要呈果胶酸钙的形态存在于细胞壁的中层，能增强作物对病虫害的抵抗力
镁(Mg)	镁是叶绿素和植酸盐(磷酸的贮藏形态)的成分，能促进磷酸酶和葡萄糖转化酶的活化，有利于单糖的转化，因而在碳水化合物代谢过程中起着很重要的作用
硫(S)	硫是构成蛋白质和酶的主要成分。维生素B ₁ 分子中的硫对促进植物根系的生长有良好的作用。硫还参与植物体内的氧化还原作用
铁(Fe)	铁是叶绿素形成不可缺少的条件，直接或间接地参与叶绿体蛋白质的形成。作物体内许多呼吸酶都含有铁，铁能促进作物呼吸，加速生理的氧化
硼(B)	硼对根、茎等器官的生长、幼小的分生组织的发育以及作物的开花结实均有一定的作用。硼能加速作物体内碳水化合物的运输，促进作物体内氮素的代谢。硼能增强作物的光合作用，改善作物体内有机物的供应和分配。硼能增强豆科作物根瘤菌的活动，提高其固氮能力，还能增强作物的抗病能力
锰(Mn)	锰是酶的活化剂，对作物的光合、呼吸以及硝酸还原作用都有密切的关系。锰与叶绿素的形成也有一定的关系
铜(Cu)	铜是作物体内各种氧化酶活化基的核心元素，在催化作物体内氧化还原反应方面起着重要作用。铜能促进叶绿素的形成。含铜酶与蛋白质的合成有关

营养元素	主要生理作用
锌 (Zn)	<p>锌是作物体内碳酸酐酶的成分，能促进碳酸分解过程，与作物光合、呼吸以及碳水化合物合成、运转等过程有关。锌能保持作物体内正常的氧化还原势。对于作物体内某些酶具有一定的活化作用。作物体内生长素的形成与锌有关</p>
钼 (Mo)	<p>钼是作物体内硝酸还原酶的成分，参与硝酸态氮的还原过程。钼还能提高根瘤菌和固氮菌的固氮能力</p>
氯 (Cl)	<p>氯在叶绿体内光合反应中起着不可缺少的辅助酶的作用。在细胞遭破坏、正常的叶绿体光合作用受到影响时，它能使叶绿体的光合反应活化</p>
钴 (Co)	<p>钴与种子中某些水解酶和作物体内某些酶的活化有关。钴能防止吡啶乙酸的破坏，与促进细胞生长有关。钴对有效能源 ATP 合成反应的某一阶段有促进作用，对花粉的发芽、生长和呼吸有显著的促进作用，对豆科作物的固氮起一定的作用</p>

2. 作物缺乏营养元素的一般形态特征

缺乏元素	植株变态	叶	根、茎	生殖器官	指示作物
氮	生长受抑制，地上部受影响较地下部明显。	叶小，整个叶片呈黄绿色，严重时下部老叶几乎呈黄色，干枯死亡	茎细小，多木质。根受抑制，较细小	花、果实发育迟缓，严重时落果。不正常地早熟。种子小，千粒重低	玉米
磷	植株矮小、生长缓慢，分蘖少。地下部严重受抑制，次生根极少	叶色暗绿，无光泽或呈紫红色。从下部叶子开始，叶缘逐渐变黄，然后死亡脱落	茎细小，多木质。根不发育，主根瘦长，侧根没有长出	花少，果少，果实迟熟，种子小而不饱满，千粒重下降	番茄
钾	较正常植株小，叶变褐枯死，植株较柔弱，易感染病虫害	开始从老叶尖端沿叶缘逐渐变黄，干枯死亡，叶缘似烧焦状，并出现斑点状的死亡组织，有时叶卷曲显皱纹	茎细小而柔弱。易倒伏	分蘖多而结穗少，种子瘦小。果肉不饱满。果实畸形	玉米 番茄

续表 1

缺乏元素	植株变态	叶	根、茎	生殖器官	指示作物
钙	植株矮小，组织坚硬，病态先发生于根部及地上幼嫩部分，未老先衰，死亡	幼叶卷曲，脆弱，叶缘发黄，逐渐枯死。叶尖有粘化现象	根系发育受抑制，根尖分生组织的细胞腐烂、死亡，有粘化现象	不结实或很少结实	—
镁	病态发生在生长后期，黄化，植株大小没有显著变化	首先从下部老叶开始缺绿，叶脉仍呈绿色，只有叶脉间的叶肉变黄色。以后叶肉组织逐渐变褐色而死亡	变化不大	开花受抑制，花的颜色苍白	玉米
硫	植株普遍缺绿，后期生长受抑制	幼叶开始黄化，叶脉先缺绿，遍及全叶，严重时老叶变黄，甚至变白，但叶肉仍呈绿色	茎细长，很稀疏，支根少	开花结实期延迟，果实减少	—
铁	植株矮小，缺绿，失绿症状首先表现在顶端幼嫩部分	新出幼叶叶肉部分缺绿，黄化，严重时叶子枯死	茎、根生长受抑制，果树长期缺铁，顶部新梢死亡	果实小	槐树 桃树

续表 2

缺乏元素	植株变态	叶	根、茎	生殖器官	指示作物
硼	植株矮小，病态首先出现于幼嫩部分，植株尖端发白。茎及枝条的生长点死亡	新叶粗糙，淡绿，常呈烧焦状斑点。叶片转红，叶柄、叶脉易折断。如芹菜的茎折病	茎脆，分生组织（如根尖、茎尖）退化或死亡，根粗短、根系不发达，生长点常有死亡。如甜菜的心腐病，萝卜的溃疡病	蕾、花和子房脱落，果实、种子不充实。油菜缺硼时花而不实。果实畸形，果肉有木栓化现象或干枯	油菜 苜蓿
锰	植株矮小，缺绿病态	幼叶的叶肉黄白，叶脉保持绿色，显白条状，叶上常有斑点	茎生长势衰弱，黄绿色，多木质	花少，果实重量减轻	—
铜	植株矮小，缺绿病态，易感染病害	禾谷类叶尖开始黄化，缺绿，叶尖萎蔫。果树缺铜，上部叶片畸形，变色，新梢萎缩，如梨树的“枯顶病”	发育不良。果树茎上常排出树胶	果实和种子均少。谷类作物穗和芒发育不全，有时大量分蘖而不抽穗	—

续表 3

缺乏元素	植株变态	叶	根、茎	生殖器官	指示作物
锌	植株矮小	形成叶簇，缺绿，新叶呈灰绿色或黄白色斑点	叶簇，黄色小而卷曲，根系生长差	果实小或变形。核果、浆果的果肉有紫斑	苹果 玉米
钼	植株矮小，易受病虫害	幼叶黄绿，叶脉间显出缺绿病，老叶变呈蜡质。叶脉间肿大，并向下卷曲	豆科作物根瘤不发育	豆科作物有效分枝数和结荚数减少，百粒重下降。棉花蕾铃脱落严重。小麦灌浆很差，成熟延迟，籽粒不饱满	大豆 小麦

3. 几种主要大田作物缺乏氮、磷、钾养分的典型症状

作物	缺氧	缺磷	缺钾
水稻	植株矮小，分蘖少，叶片小，呈黄绿色，从叶尖至中脉扩展到全部叶片发黄。结穗短小，成熟提早	叶片细弱，叶色暗绿，严重时赤褐色斑点。稻丛呈簇状。鞘叶比例失调，叶鞘长，叶片相对变短。根系发育不良。分蘖少。生育期延长，造成坐蔸（发秋、落秋）	豆色暗绿，呈青铜色，老叶软弱下垂，心叶挺直。分蘖期前易患胡麻叶斑病。分蘖期后，老叶叶面有赤褐色斑点，叶缘呈枯焦状，茎易倒伏和折断。根部褐色有黑根。抽穗期提前。籽粒不饱，空秕粒多。容易感染病害，如纹枯病等
小麦	叶片稀而小，叶色黄绿，植株细长，叶形似马耳、分蘖少、穗短小	叶色暗绿，无光泽，植株细小，分蘖少，次生根极少，前期生长停滞；出现缩苗。冬前、返青期叶尖紫红。抽穗成熟较迟。籽粒不饱满，千粒重低	老叶尖端及边缘逐渐黄焦。茎秆细小而柔弱，易倒伏
玉米	植株矮小，生长缓慢。叶片由下而上，从叶尖沿中脉向基部黄枯	苗期叶尖和边缘呈紫红色，老叶变黄。茎秆细小，生长缓慢。果穗秃尖，弯曲畸形，行列不齐，籽粒不饱满	老叶边缘枯焦发褐，直至枯死，幼叶变黄。植株矮小软弱，易倒伏

续表

作物	缺氮	缺磷	缺钾
棉花	植株矮小，叶色黄绿，蕾少，单株成铃少。植株易早衰	叶色暗绿，植株矮小，结铃成熟期延迟，棉籽不饱满	叶片有黄白色斑块，叶尖及叶缘有棕色斑点，向下卷曲。棉铃瘦小，吐絮差，难以正常成熟
大豆	叶片出现青铜色斑块，渐渐变黄而干枯。植株矮小，分枝少	叶色浓绿，叶片尖窄直立。生长缓慢，植株矮小。开花后叶呈棕色斑点，根瘤发育不良	叶色黄绿，叶面皱缩，叶尖及叶缘黄色部分最后呈棕色而干枯
花生	叶片淡黄，基部发红。根瘤很少，植株生长不良，分枝少	老叶蓝绿色，基部发红。根瘤发育不良	叶色淡绿，边缘枯焦，生长受抑制
甜菜	叶片形成迟缓，叶数显著减少，老叶先由淡绿变为黄绿色，继而全株呈黄绿色，老叶枯死	叶色暗绿，叶丛矮小，叶片较直立，以后叶缘出现红色或红褐色枯斑，并逐渐扩大，直至枯落	老叶叶尖和叶缘开始变为黄色，继呈枯焦状，并由叶尖叶缘蔓延至中部，叶面皱曲，叶柄不易折断，呈棕色斑点或条纹
油菜	全株长势不旺，矮小瘦弱。苔期分枝短小，全株上大下小，形成“油纤”形式。叶片小而苍老。白菜型叶色黄绿，甘蓝型叶色红紫，叶片早衰脱落	叶片小而苍老，呈暗绿色。根、茎及叶柄呈紫红色，根系发育减缓。抗逆性减弱，不正常地早熟	植株瘦小，茎叶早枯。症状一般出现在生育后期

4. 几种主要蔬菜缺乏氮、磷、钾养分的典型症状

蔬菜	缺氮	缺磷	缺钾
大白菜	早期缺氮，植株矮小，叶片小而薄，叶色发黄，茎部细长，生长缓慢。中后期缺氮，叶球不充实，包心期延迟，叶片纤维增加，品质降低	生长不旺盛，植株矮化。叶小，呈暗绿色。茎细，根部发育细弱	从下部叶缘变褐枯死，逐渐向内侧或上部叶片发展，下部叶片枯萎。抗软腐病及霜霉病的能力降低
番茄	生长停滞，植株矮小。叶色淡绿或呈黄色。叶小而薄，叶脉由黄绿色变为深紫色。茎秆变硬，富含纤维，并呈深紫色。花芽变为黄色，易脱落。果小，富含木质	早期叶背呈现红紫色。叶肉组织起初呈斑点状，随后则扩展到整个叶片，而叶脉逐渐变为红紫色，叶簇最后呈紫色。茎细长，富含纤维。叶片很小，结果延迟。由于缺磷，影响氮素吸收，后期呈现卷叶	植株生长很慢，发育受阻。幼叶轻度皱缩，老叶最初变为灰棕色，而后在边缘处呈现黄绿色，最后变褐死亡，茎秆变硬，富含木质，细长。根部发育不良，细长，常呈褐色。后期果实不圆而有棱角，果肉不饱满而显空隙，果实缺少红色素
黄瓜	早期缺氮，生长停滞，植株细弱。叶色逐渐变为黄绿或黄色。茎细长，变硬，富含纤维。果实色浅，在具有花瓣的一端，呈淡黄色至褐色，变为尖削	植株矮小，细弱。叶脉间变褐坏死。缺磷影响花芽分化，雌花数量减少。果实呈畸形	叶缘附近呈现青绿色的腐烂组织，下部老叶首先变黄。果实的尖端膨大，果柄发育不良

续表 1

茄子	植株矮小。叶片小而薄，叶色淡绿。结果期缺氮，落花落果严重	叶呈深紫色。茎秆细长，纤维发达。花芽分化延迟，结实延迟	下部老叶叶缘变为黄褐色，逐渐枯死。抗病力减低
萝卜	生长停滞。叶片窄小而薄，叶色发黄。茎细弱。根细小，发芽不良，多木质化。辣味增强	叶背呈现红紫色，叶小而皱缩	最初叶片中部呈现深绿色，叶缘卷曲并呈淡黄至褐色。下部叶片和茎秆，显现深黄至青铜色，叶片增厚。根部不正常地膨大

5. 几种主要果树缺乏某些微量元素的典型症状

果树	缺硼	缺锌	缺锰
苹果	<p>茎、根的生长点死亡。新梢自顶端向下变枯，形成“枯梢”。在枯梢枝下部的侧芽，萌发出很多小而厚脆的小叶，形成“簇叶”。花器发育不好，花粉管生长慢、不受精而大量落花。果实上出现缩果病--“软心”或“干斑”</p>	<p>萌芽晚，顶芽不能萌发，下部侧芽先萌发，呈簇叶状。叶子狭长，发生“小叶病”。嫩梢长期不生长，严重时由上向下枯死。果小，色不正，品质差</p>	<p>叶脉间失绿，有斑点，从叶缘向中脉发展，失绿处细，叶脉不显，失绿遍及全树，只有顶条小叶仍长绿色。严重时，叶片全部为黄色</p>

续表 1

果树	缺硼	缺锌	缺锰
桃	枝条从顶端开始死亡，但在死亡顶端的下面，能形成许多不正常的新嫩枝。幼龄叶片变厚，脆弱，严重皱缩或畸形。果实畸形，分泌树脂	早春桃树顶端形成叶簇（常称“小叶病”），呈现褪绿的杂色。来年春季，在叶脉间出现黄色的区域，逐渐变为淡黄或紫红色。叶簇过早脱落。树的先端生长受到抑制，梢尖死亡，有徒长枝发生。花芽减少，结果很少。果实波状，果小，皮厚，品质极差	嫩叶和刚成熟的叶片叶脉间比主脉色浅，许多主脉仍为绿色。严重时，叶脉间有死斑，并出现早期落叶，新梢也可能死亡，整个树体叶片稀少。果实色泽不好，品质也差。果实早落，有时裂皮
葡萄	幼龄叶片呈现扩散的黄色或失去绿色。在顶端长葡茎上形成褐色的水浸区域，离叶枝顶端的第二或第四叶片呈杯状。新梢先端节间较短，脆而易折。幼龄叶片较小，常呈畸形，并向下弯曲，无籽小果增多	初夏，主副梢的先端首先受害。叶片变小（小叶病），叶柄洼变宽，叶片斑状失绿，节间短。某些品种则易发生果穗稀疏，大小粒不整齐和少籽的现象	症状出现较晚，最初在主脉与侧脉间出现淡绿至黄色。黄化面积扩大时，大部分叶片在主脉之间失绿，而侧脉之间仍保持绿色

续表 2

果树	缺硼	缺锌	缺锰
柑橘类	叶片细小，有水浸斑点，随后呈半透明状。叶片和幼果早期脱落，老龄果实呈畸形，不形成种子。果实不正常地硬而干，果皮厚，果肉褐色部分，含糖量很低	老叶沿主脉及侧脉处具有不规则的绿色条带，其余的组织则呈淡绿色至淡黄色。植株生长减缓，在节间很短的枝条上着生狭窄的小叶片，并多直立。果小皮厚，果肉富含木质，果汁很少，且淡而无味	幼叶淡绿色并呈现极细的网纹。随着叶片的老化，网纹变为深绿色，在主脉及较粗侧脉处出现不规则的条带，并在叶脉间呈现淡绿色的区域。严重时，叶脉间出现许多不透明白色斑点，从而使叶片变为白色或灰色。大部分细小枝条死亡

6. 主要国产原子吸收分光光度计型号和性能

型号	主要性能	生产单位
WFD----Y ₂	单光束, 火焰原子化系统, 表头直读透光率或吸收度, 双灯架, 自	北京第二光学仪器厂
	带乙炔发生器和空压机	
WFD---Y ₃	配有石墨炉原子化系统, 其他同 WFD_Y ₂ 型	北京第二光学仪器厂
WFX--IA	单光束, 火焰原子化系统, 脉冲	北京第二光学仪器厂
	调制, 自动控零, 数字显示	
WFX--IB	配有石墨炉原子系统及程序控制	北京第二光学仪器厂
	电源, 氘灯背景扣除系统和曲线校正功能, 其他同 WFD_Y ₂ 型	

续表

WYX--401	与 WFD — Y ₂ 基本相同	沈阳分析仪器厂
GFU---201	双光束, 脉冲供电, 火焰原子化系统, 背景校正, 自动调零, 波长自动扫描, 有量程扩大, 数字积分和数字显示, 配有石墨炉原子化系统和空压机	北京分析仪器厂
	双光束, 火焰原子化系统, 波长自动扫描, 自动记录, 表头直读吸收率, 有量程扩大	
310		上海分析仪器厂

7. 土壤有效性微量元素的测定

(1) 土壤有效硼的测定。

(沸水浸提——姜黄素比色法)

方法选择的依据：土壤中的硼可分成水溶性硼、酸溶性硼和难溶性硼。全硼含量一般不宜用来判断土壤对植物供应硼的能力。土壤有效性硼一般用水溶性硼表示。水溶性硼指沸水溶解的硼，是对植物有效的。

土壤有效硼用沸水浸出后，常用比色法测定。比色测定硼的显色剂很多，以姜黄素应用得最为广泛。姜黄素与硼的显色在水溶液蒸干过程中进行；而四羟基蒽醌、胭脂红酸、1,1-二蒽醌亚胺等试剂则只能在浓 H_2SO_4 中显色，试剂溶液的配制、贮存和比色操作都十分不便，对玻璃器皿也有较高的要求。姜黄素法避免了这些缺点，灵敏度也较高，适用于土壤和植物中硼的测定。

方法要点：土样经沸水浸提 5 分钟，浸出液中的硼用姜黄素比色法测定。姜黄素是由姜中提取的黄色色素，以酮型和烯醇型存在，姜黄素不溶于水，但能溶于甲醇、酒精、丙酮和冰醋酸中而呈黄色。在酸性介质中与 B 结合成玫瑰红色的络合物，即玫瑰花青苷。它是两个姜黄素分子和一个 B 原子络合而成，检出 B 的灵敏度是所有比色测定硼的试剂中最高的（摩尔吸收系数 $3=1.80 \times 10^5$ ），最大吸收峰在 550nm 处，在比色测定 B 时应严格控制显色条件，以保证玫瑰花青苷的形成。

玫瑰花青苷溶液在 0.0014 ~ 0.06ppmB 的浓度范围内符合 Beer 定律。溶于酒精后，在室温下 1 ~ 2 小时内稳定

主要仪器：石英（或其他无硼玻璃）；三角瓶（250 或 300ml）和容量瓶（100ml，1000ml）；回流装置；离心机；瓷蒸发皿（7.5cm）；恒温水槽；分光光度计。

试剂：95%酒精（二级）；无水酒精（二级）；姜黄素——草酸溶液：0.04g 姜黄素和 5g 草酸（ $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ 二级）溶于无水酒精中，加入 4.2ml 6NHCl，移入 100ml 石英容量瓶中，用酒精定容，贮存在阴凉处。姜黄素容易分解，最好当天配制。如放在冰箱中，有效期可延长至 3 ~ 4 天。

B 标准系列溶液：0.5716g H_3BO_3 （一级）溶于水，在石英容量瓶中定容成 1 升，此为 100ppmB 标准溶液。再稀释 10 倍成为 10ppmB 标准储备溶液。吸取 10ppmB 溶液 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0ml，用水定容 50ml，成为 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0ppmB 的标准系列溶液，贮存在塑料试剂瓶中。

INCaCl₂ 溶液：7.4g $CaCl \cdot 2H_2O$ （二级）溶于 100ml 水中。

操作步骤：待测液制备称取风干土壤（通过 1mm 尼龙筛）10.00g 到 250ml 或 300ml 的石英三角瓶中，加 20.0ml 无硼水。连接回流冷凝器后煮沸 5 分钟整，立即停火，但继续使冷却水流动。稍冷后取下石英三角瓶，放置片刻使之冷却，倒入离心管中，加 2 滴 INCaCl₂ 溶液以加速澄清（但不要多加），离心分离出清液。

测定吸取 1.00ml 清液（含硼不超过 1ug），放入瓷蒸发皿中，加入 4ml 姜黄素溶液。在 55 ± 3 水浴上蒸发至干并且继续在水浴上烘干 15 分钟除去残存的水分。在蒸发与烘干过程中显出红色。加 20.0ml 95%酒精溶解，用于滤纸过滤到 1cm 直径比色槽中，在 550nm 波长处比色，用酒精调节比色计的

0点。假若吸收值过大，说明B浓度过高，应加95%酒精稀释或改用580或600nm的波长比色。

工作曲线的绘制分别吸取0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0ppmB标准系列溶液各1ml，放入瓷蒸发皿中，加4ml姜黄素溶液，按上述步骤显色和比色。以B标准系列的浓度(ppm)对吸收值绘制工作曲线。

结果计算：

有效B, ppm=C × 液土比

式中C—由工作曲线查得B的ppm数；

液土比—浸提时，浸提剂毫升数/土壤克数=2。

注释：

用本法测定B时，应严格控制显色条件。姜黄素与B络合形成玫瑰花青苷，需要在无水条件下进行。有水残存会使络合物颜色强度降低。显色时的蒸发条件如蒸发时的温度、蒸发速度和空气流动速度等都必须保持一致，否则再现性不良。所用的瓷蒸发皿要经过挑选，以保证其形状、大小、厚薄尽可能一致。恒温水浴应尽可能采用水层较深的水浴，并且完全敞开，将瓷蒸发皿直接漂浮在水面上。水浴的水面应尽可能高，使蒸发皿不致被水浴的四壁挡住而影响空气的流动，以保证蒸发速度的一致。蒸发至干后继续在同一温度下保持15分钟，使脱水完全。蒸发和脱水时的常用温度是 55 ± 3 ，温度更高时，可能导致B的损失。

硬质玻璃中常含有硼，所使用的玻璃器皿不应与试样溶液作长时间接触。加热浸提土壤水溶性硼时，最好使用石英玻璃制的三角瓶。用其他玻璃的制品时，应先进行空白试验，观察空白值的大小，决定其是否能用。用扣除空白的方法来消除玻璃器皿的污染有时是难于奏效的。在加热温度不高时，瓷器皿可用于B的测定。聚四氟乙烯制品是适用的。

配制试剂及浸提用的水均须用石英蒸馏器重蒸馏过的水或用去离子水。

若 NO_3^- 浓度超过20ppm，对B的比色测定有干扰，必须加 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 使呈碱性反应，在水浴上蒸发至干，再慢慢灼烧以破坏硝酸盐。再用一定量的0.1N HCl 溶解残渣。吸取1.00ml溶液进行比色测定硼。

若土壤中的水溶性硼含量过低，比色发生困难，可以准确吸取较多的溶液，移入蒸发皿中，加少许饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液使之呈碱性反应，在水浴上蒸发至干。加入适当体积(例如5.00ml)的0.1N HCl 溶解，吸取1.00ml进行比色。由于待测溶液的酸度对显色有很大影响，所以标准系列也应按同样步骤处理。

蒸发显色以后，应将蒸发皿从水浴中取出擦干，随即放入干燥器内，待比色时再随时取出。蒸发皿不应长时间暴露在空气中，以免玫瑰花青苷因吸收空气中的水分而发生水解，使测定结果不准确。

显色测定过程中，最好不要中途停顿。如因故必须暂停工作，应在加入姜黄素以前暂停，而不要在加入姜黄素以后，否则会使结果不准确。

比色过程中，由于乙醇的蒸发损失，体积缩小，使溶液的吸收值发生改变，故比色工作应尽可能迅速。比色时用酒精作参比，调整比色计吸收值的零点。

(2) 土壤有效钼的测定

(草酸——草酸铵浸提)

方法选择，依据土壤中的钼可区分为四部分：

水溶性钼：一般土壤中含量极少，不易测出，但与植物对钼肥反应的相关性很高。

交换性钼：指被土壤粘粒矿物或铁锰的氧化物吸附的 MoO_4^{2-} 离子，对植物也是有效的。

难溶性钼：包括原生矿物、次生矿物和铁锰结核中所包蔽的钼以及与无定形氧化铁铝等形成的难溶态钼，是对植物无效的。

有机结合态的钼：指与土壤有机质结合的钼。随着有机质的矿化，可以被释放出来，为植物吸收利用。

对植物有效态钼的提取以草酸—草酸铵溶液（Tamm 溶液）应用得最为广泛，并经过大量田间试验的校正。所浸出的钼包括交换态钼和一部分铁铝氧化物中的钼。上述草酸盐溶液的缓冲容量较大，基本上适用于各种反应的土壤，而其它浸提剂所浸出的钼则易随土壤 pH 增高而增多。

土壤浸出液中钼的测定可以用比色法、极谱法、原子吸收分光光度法（AAS 法）。钼的比色测定以 KCNS 法和二硫酚法应用得最为广泛。KCNS 法灵敏度较高，但对显色条件有严格的要求；二硫酚法的专一性不强，铜和铁均干扰测定，必须先行分离后再用二硫酚显色，分析过程较长，但对显色条件的要求不如 KCNS 法严格。目前以 KCNS 法应用较为广泛。

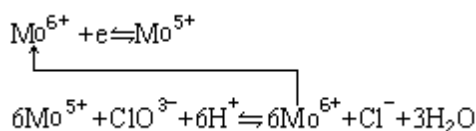
近年来极谱法测定钼，由于催化波的作用，灵敏度远远地超过了比色法，有取代比色法的趋势。

用 AAS 法测定钼时，由于钼的离解能较高。在使用乙炔—空气火焰时，仅有部分钼原子化，测定的灵敏度较低，并且受碱土金属的干扰，需要用乙炔—氧化二氮高温火焰，或用分离及浓缩的方法，使钼的浓度提高到能适应 AAS 法的灵敏度。因此，用此法测定土壤及植物中的微量钼有一定的困难。

鉴于上述原因，我们只论述极谱法测定钼的方法。当然极谱法测定钼也有一定的缺点，例如在测定时需要接触汞，对化验员有一定的污染。

方法要点 利用钼-苯羟乙酸-氯酸盐-硫酸体系的极谱催化波来测定微量钼的效果很好，测定结果远较 KCNS 比色法灵敏（最低可检出 0.06ppbMo）、稳定而且易于掌握。

Mo^{6+} 在滴汞电极上被还原成 Mo^{5+} ， Mo^{5+} 立即又被 ClO_3^- 氧化成 Mo^{6+} 。由于苯环的存在，大大地提高了被 ClO_3^- 氧化成 Mo^{6+} 的反应速度，从而使扩散电流大大增强。 Mo^{5+} 则起着催化活性物质的作用，其主要反应如下，



同时，钼与苯羟乙酸等形成的络合物在电极上有一定的吸附浓集现象，与电极发生强烈的吸附作用，产生吸附电流，更进一步地提高了灵敏度。这样，电极反应与化学反应反复进行，从而获得了很大的催化电流。催化波的波形呈峰形，其峰值电位为 -0.22V。

铁锰含量高时，干扰钼的测定，可以用阳离子交换树脂除去铁和锰后用本法测定。铁锰含量不高时，则可取 5~10ml 土壤浸出液，破坏草酸盐和有机质后，不经分离，直接用本法测定。

主要仪器有往复振荡机；高温电炉；125ml 分液漏斗；极谱仪。

试剂有草酸——草酸铵浸提剂：24.9g 草酸铵与 12.6g 草酸溶于水，定容到一升。酸度应为 pH3.3，必要时在定容前用 pH 计校准。所用药品不应含钼。

6.5NHCl：用重蒸馏过的 HCl 配制。

0.3NHCl 及 2NH₂SO₄（一级）。

1ppmMo 标准溶液：0.2522g 钼酸钠（Na₂MoO₄·2H₂O 二级）溶于水，加入 1ml 浓 HCl（一级），用水稀释成 1 升，成为 100ppmMo 的贮备标准溶液。吸取 5ml 贮备标准溶液准确稀释至 500ml，即为 1ppmMo 的标准溶液。

0.4M 苯羟乙酸（苦杏仁酸，二级）。

50%（W/V）NaClO₃ 溶液（三级）。*

732#强酸性阳离子交换树脂。新树脂需经过活化后使用，使用过的树脂经再生处理后可继续使用。再生时先用 2NaOH 溶液处理，用水洗去碱后，再用 2NHCl 处理，用水洗尽酸，沥干后备用。

操作步骤，土壤有效钼的浸提：称取风干土壤（通过 1mm 尼龙筛）25.00g，盛在 500ml 三角瓶中，加 250ml 草酸-草酸铵浸提剂。加瓶塞后在往复振荡机上振荡 8 小时后过夜，过滤，滤纸事先用 6NHCl 洗净，过滤时弃去最初的 10~15ml 滤液。吸取 5.0~10.0ml 浸出液（含 Mo0.02~0.24ug），移入 50mlGG-17 玻璃烧杯中，在电炉上于低温下蒸干。移入高温电炉中，在 450 下灰化 4 小时，取出冷却。

石灰性土壤或是有机质少的砂质土等的浸出液蒸干后烧灼成的残渣成灰白色或灰黄色时，可不分离 Fe、Mn，直接加 2.5ml2NH₂SO₄，2.5ml0.4M 苯羟乙酸溶液和 5.0ml50%NaClO₃ 溶液残渣。半小时后，移入电解杯中，在极谱仪上从 -0.1V 开始记录钼的极谱波，测量峰后波的波高。从工作曲线上查得 Mo 的浓度，换算成土壤中的有效钼含量，以 ppm 表示之。

酸性土壤或浸出液中铁锰含量高的土壤，需要分离铁锰后测定。

阳离子交换树脂分离法经灰化后的残渣加 1ml1 1HCl 溶解，在电炉上于低温下蒸发至干。加 10ml，0.3NHCl 和 1g732#强酸性阳离子交换树脂，摇动数次，放置过夜。次日将清液倾倒在另一只烧杯中，加 3~5ml0.3NHCl 清洗树脂，洗出液并入烧杯中。如此洗涤 7~8 次，将洗出液在电炉上于低温下蒸干，按上述的步骤测定。

工作曲线的绘制将 1ppmMo 标准溶液用水稀释成 0.02ppmMo 标准溶液。分别吸取含 0.02，0.04，0.08，0.16，0.24ugMo 的标准溶液于 50ml 烧杯中，加 1ml1 1HCl，在电炉上于低温下蒸干，加 10ml0.3NHCl 和 1g732#阳离子交换树脂 [如直接测定 Mo 时，则此处也不加树脂]，按样品的同样步骤操作。以波高为纵坐标，钼含量（μg）为横坐标，绘制工作曲线。

结果计算（注₃）

$$\text{有效Mo, ppm} = \frac{C \times \text{分取倍数}}{W}$$

式中 C——由工作曲线查得 Mo 的 μg 数；

分取倍数——浸提时所用浸提剂体积/测定时吸取浸出液体积。

W——土壤样品重量（g）。

注释：

极谱催化波受温度的影响比较大，温度系数为 4.4%。因此极谱测定

应在同一温度下进行。

用阳离子交换树脂分离铁锰时，HCl 的浓度应保持为 0.3N；树脂的用量也要控制在 1g（干树脂）左右。标准溶液必须同样用树脂处理。

我们在大批样品的测定中采用了下面的方法，前处理速度快，比较稳定，结果可靠，可供参考。

试剂配制：

Tamm 溶液：0.275M 草酸铵与草酸溶液。

称取 24.9 克草酸铵与 12.6 克草酸溶于水中，用无离子水移到近 1000ml 杯中，用酸度计校正 pH3.3，然后用无离子水定容

2.5% EDTA（乙二胺四乙酸二钠盐）

6% 苦杏仁酸。

6% 氯酸钾。

测定步骤：

称取通过 2 毫米（20 目）筛孔土壤样品 10 克，置于 250ml 三角瓶中，加入 Tamm 溶液 100ml，振荡 8 小时，用干滤纸过滤。

吸取清液 10ml 于 25ml 小烧杯中，加 1 ml 1HNO₃ 2ml，加 1 ml 1H₂SO₄ 2ml，在电热板上加热蒸发出现三氧化硫白烟即可，用水冲洗烧杯壁，再蒸至冒白烟。

将残渣用水溶解移到 25ml 比色管中，加 EDTA 1ml，苦杏仁酸 1.3ml 再放置半小时（待温度平衡一致），然后加入氯酸钾 12.5ml，再以无离子水稀释到刻度，在示波极谱仪上于 -0.25 伏起始作钼的导数极谱图。

标准曲线：分别取 0r，0.5r，1r，2r，5r，10r 钼于 25ml 小烧杯中，加 Tamm 溶液 10ml，1 ml 硝酸 2ml，1 ml 硫酸 2ml，在电热板上加热蒸发出现三氧化硫白烟，其他手续同样品测定。

$$\text{Mo}\% = \frac{E \times 10^{-6}}{1} \times 100 = E \times 100^{-4} = r \times 0.0001$$

钼的标准液：

准确称取经 500℃ 灼烧过的三氧化钼（A、R）0.1500 克于小烧杯内，加入 15~20ml 10% NaOH 溶液，加入 1 滴酚酞指示剂用 1 ml 1H₂SO₄ 溶解中和至红色褪去，移入 1000ml 容量瓶中用水稀释到刻度摇匀，此溶液为 0.1 毫克钼/ml。

（3）土壤有效锌、铁、锰、铜的测定。

土壤有效锌、铁、锰、铜的提取方法很多，大致可分为三类：一类是中性的盐提取剂，如 0.5M 醋酸铵，1M 醋酸铵等；一类是弱酸或强酸稀溶液，如 0.1N 盐酸，0.1N 硫酸镁加硫酸，0.05N 盐酸加 0.025N 硫酸等；最后一类是螯合剂，如双硫腙（简称 D₂），双硫腙——醋酸胺，乙二胺四乙酸（EDTA）或二乙三胺五醋酸（DTPA）等。上述几种提取剂中，有的可提取一或两种元素，个别的可以提取以上四种元素。

目前使用螯合剂提取上述元素的愈来愈多。特别要提出的是 DTPA 提取用得较为普遍，其原因是一次能同时测出锌、铁、锰、铜四种元素，而且既可广泛应用于石灰性土壤，亦可适用于中性土和酸性土。

试剂：

DTPA 提取剂：1.96 克二乙三胺五乙酸（酸型的）用水溶液，倒入 1 升容

量瓶中，加入 14.92 克 TEA，加水约 950 毫升，再加 1.47 克氯化钙（ $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ），用稀盐酸调节 pH 至 7.30，用水定容至刻度，此时为 0.05MDTPA，0.1MTEA 及 0.01M 氯化钙。

仪器和器皿：

百分之一工业天平；往复式振荡机（180 次/分）；原子吸收分光光度计；150~200 毫升三角瓶（具塞）；漏斗。

测定步骤：

称取过 2 毫米筛孔的土壤 20.00 克，放入 200 毫升三角瓶中，加入 DTPA 提取剂 40 毫升，盖好磨口玻璃塞，放在振荡机上振荡 2 小时，过滤。过滤前先将漏斗和滤纸用稀盐酸洗涤几次，待快干时进行过滤，滤液直接用原子吸收分光光度计测定锌、铁、锰、铜。测出之峰高或吸收度与标准曲线比较，即查出待测液之浓度（ppm）。

标准系列溶液的制配和标准曲线的绘制。

用锌、锰、铜的标准储备液，各吸出 2.5 毫升，分别放在三个 100 毫升的容量瓶中，用无离子水稀释至刻度，这些溶液分别含锌、锰、铜各 25ppm，称为锌、锰、铜的稀释标准液。

吸铁的储备液 5 毫升，放在 100 毫升容量瓶中，用无离子水稀释至刻度，此溶液含铁 50ppm，称为铁的稀释标准液。用上述稀释标准液，稀释成标准系列溶液，锌浓度范围为 0~2.0ppm，铁 0~10ppm、锰 0~10ppm、铜 0~2.5ppm。均用提取液稀释。标准系列溶液同样品一起测，绘制成曲线。

$$\text{微量元素含量 (ppm)} = \text{查表之 ppm} \times \frac{V}{W}$$

式中：W 为土重（克）；

V 提取液的体积（毫升）。

（测定方法引自：土壤农业化学常规分析方法 1984 年科学出版社出版及果树营养诊断法 1982 年农业出版社出版）

