

化学肥料施用知识丛书

微量元素肥料

(修订本)

刘 铮 编

化学工业出版社

化学肥料施用知识丛书

微量元素肥料

(修订本)

刘 铮 编

化学工业出版社

内 容 提 要

本书是在1979年版的基础上修订的，这次修订除改正了原书中的不妥之处外，还补充了近年来我国在微量元素研究和应用方面的新进展。

本书结合我国土壤和作物情况，较详细地介绍了微量元素在农业生产中的重要作用，微量元素肥料各品种——硼肥、钼肥、锌肥、锰肥、铜肥、铁肥、钴肥的施用技术和施肥效益，以及植物缺乏微量元素的诊断等。书末附有各种不同品种微量元素的成分换算表等。

本书可供农民、农村技术人员、社队干部阅读。也可供农业科技人员和有关院校师生参考。

化学肥料施用知识丛书

微量元素肥料

(修订本)

刘铮 编

责任编辑 王十君

封面设计 季玉芳

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

开本 $787 \times 1092^{1/2}$ 印张 37 字数 87 千字

1988年11月第1版 1988年11月北京第1次印刷

印 数 1—2,000

ISBN 7-5025-0183-5/TQ·145

定 价 1.30元

目 录

一、前言	1
二、微量元素在农业生产中的应用	4
三、微量元素肥料	13
四、微量元素肥料的施用技术	20
五、土壤中微量元素的供给情况	24
六、硼肥	40
七、钼肥	56
八、锌肥	68
九、锰肥	83
十、铜肥	95
十一、铁肥	100
十二、钴肥	104
十三、微量元素营养诊断	107
十四、附录	116
十五、参考文献	119

一、前 言

微量元素肥料在农业中的应用已有五十年以上的历史。微量元素是植物所必需的营养元素。土壤是植物所需要的微量元素的主要来源。当土壤中的微量元素供给不够充足的时候，许多农作物生长受到影响，产量降低，这时便需要施用微量元素肥料，使农作物生长正常，产量也会提高。科学研究和农业生产实践都证明了施用微量元素肥料是简便而且经济的增产措施。由于微量元素的用量很小而收效则很大，所以既能增产又能增收，是进一步发挥农业生产潜力的有效途径之一，可以认为在我国农业中应用微量元素肥料有广阔的前景。

近年来微量元素肥料的应用日趋普遍，已引起普遍的兴趣和重视。科学研究证实，我国存在着大面积的缺乏微量元素的土壤，在植物上也往往出现缺乏微量元素的症状，生长不良，产量很低。动物（家畜）食用微量元素含量不正常的植物和饲料，也会影响健康，或者患有缺乏微量元素引起的疾病，因而需要在饲料中添加所缺乏的微量元素，或者对牧草施用微量元素肥料来进行补充。

我国在农业中应用微量元素的研究，是根据国家有关的规划，在本世纪50年代中期开始的。首先在大豆上施用钼肥获得了成功，继而又证实了硼、锰、锌的良好作用。60年代初中国科学院召开了微量元素工作会议，制订了工作规划，推动了微量元素研究工作的进展。到现在为止，钼、硼、锰、锌等微量元素肥料已广泛的应用于农业生产。

硼肥是我国应用得最广泛的微量元素肥料，其中以甘蓝型油菜施用硼肥的效果最为突出。目前已证实在我国南方十多个省的部分地区存在着油菜缺硼的症状，即只开花不结实的现象，产量极低，严重的植株死亡，颗粒无收。施用少量硼肥便能够大幅度增产，有时产量会成倍的提高，缺硼程度的严重和缺硼土壤面积之大在世界上也是仅有的。近年来我国油菜丰产，与硼肥的施用是分不开的。此外，在其他农作物上也发现了缺硼引起的不结实现象，像黑龙江省的大面积小麦和大麦不结实便是一个例子。在甜菜上也广泛的存在着缺硼症状。

钼肥广泛的应用于豆科植物，像大豆、花生和豆科绿肥作物都因施用钼肥而增产。豆科绿肥作物是我国重要的有机肥源，钼肥使豆科绿肥作物的鲜草产量提高，氮磷含量也有所增加，对于粮食作物增产和土壤肥力的提高都有良好作用。

锌肥的作用近年在我国引起广泛的兴趣，不论在水稻、玉米和果树上都成功的应用了锌肥。自从60年代在国际证实水稻缺锌症状以来，世界各水稻种植国家都先后报道存在着水稻缺锌症状，施用锌肥后，水稻产量大幅度提高，以菲律宾为例，根据1979年的统计，该年度水稻增产，所增产的稻谷有半数以上应归功于锌肥；并且成本很低，每投资1元能够回收6元，被认为是增产增收的有力措施。在印度则证实半数以上的土壤是缺锌的，水稻、小麦和玉米都需要施用锌肥。在许多土壤上是否有收成或者是否会丰收，要取决于是否施用锌肥。因此印度把锌肥列为第三位重要的肥料；也就是说，施肥时首先要考虑氮肥和磷肥，其次便是锌肥了；并且把氮磷钾肥料三要素改称为氮磷锌。这些情况都说明对微量元素的重视情况。在果树栽培业中，锌肥的应用已有较长的历史。像美国的佛罗里达州是盛产柑桔的地方，据该州农业试验站统计，于1954起便把微量

元素肥料（包括锌肥）列入施肥计划，1954—1955年度该州因施用微量元素肥料而增加的收益为91,530,000美元，超过了该州历年拨给试验站基金35,210,855美元的几乎三倍。

锰肥的效果于50年代便在黄土高原上初步被肯定，继而在黄潮土上大面积试验成功，小麦因施用锰肥而增产。由于对锰肥有良好反应的农作物很多，几乎包括了各种农作物和果树、蔬菜等，并且我国北方缺锰土壤面积很大，这一巨大生产潜力有待进一步发挥。

土壤是植物所需要的微量元素的主要来源。在一定类型的土壤上经常发现缺乏微量元素的现象。一定的土壤天然的缺乏微量元素，有的则是不良的土壤条件所引起。所以考虑施用微量元素肥料时，首先要考虑土壤问题，再根据农作物的需肥特性分地区的施用，而不是在各种各样的土壤上对所有的农作物一律施用。

此外，还有人为造成或者加重缺乏微量元素的情况，大量施用常量元素肥料、在酸性土壤上过量施用石灰、不适当的平整土地、管理不良等都会引起微量元素缺乏，增加了施用微量元素肥料的必要性。

近年来，我国在微量元素研究和应用方面都取得了很大的进展，但是在如何结合我国具体情况正确施用微量元素肥料来提高农作物产量和质量的工作中，仍然存在着许多问题，有待进一步解决；对于微量元素肥料在农业生产中的重要作用，也有必要广为宣传和示范，才能迅速的推广微量元素肥料，收到事半功倍的效果，才能达到进一步发挥农业生产潜力，提高产量的目的。针对这种情况，本书系统的介绍微量元素对植物生理的作用和施用微量元素肥料的效果，我国缺乏微量元素的土壤的分布情况和在农业生产中应用微量元素肥料情况，以及植

物缺乏微量元素的诊断等。所列举的在农业中因施用微量元素肥料而增产的材料仅是一些事例，而不是我国目前应用微量元素肥料的全部情况，希望能够起着举一反三的作用。最后，由于我国幅员广大，土壤类型和农作物种类都很多，对在我国农业中应用微量元素肥料的前景作出了估计，希望能够引起从事农业工作的同志的兴趣和重视。就科研工作而论，有的人认为微量元素研究是土壤学的新的生长点之一，这就意味着不论在深度和广度方面还都有许多工作要做。

二、微量元素在农业生产中的应用

在植物体和土壤中存在的化学元素很多，几乎包括了元素周期表中的大多数元素。已经证实是植物正常生长和生活所必需的元素有16种，即碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁、硫、氯、硼、钼、锌、锰、铜、铁等，称作营养元素。有的植物还需要钴、硅、钒和硒，但是还没有证实它们是所有植物所必需。有的人把植物所必需的元素叫做必需的元素，来和非必需的元素相区别。上述最后的六个元素由于植物的需要量很小，叫作微量元素或者痕量元素，近年来又被称为微量营养元素或者微量养分，以便与那些非必需的但是含量也很低的元素相区别。当然，必需的和非必需的元素划分并不是绝对的，随着科研工作的深入，将会证实存在着新的必需的元素。

什么是营养元素呢？作为一个植物所必需的营养元素必须能够满足下列的三个条件：

(1) 植物缺少它就不能完成生长周期中的营养生长和生

殖生长阶段；

(2) 有专一性，它既是不可缺少的，也不能用其他元素来代替；

表 1 植物和动物必需的营养元素

碳 氢 氧	
(共同必需的)	
高等植物	高等动物
氮、磷、钾、钙、镁、硫、(硅) } 常量和中量元素	{ 氮、磷、钙、钾、镁、硫、硅、钠
硼、钼、铁、锰、铜、锌、氯 } (钴、钒)①	铁、锰、铜、锌、钼、钒、铬、锶、 硒、氟、碘、(钨、溴)
微量元素	

① 还未证实是所有的植物或动物所必需的元素。

(3) 生理作用已经明确，说明它是直接参与植物营养的。

到目前为止，已经证实植物所必需的16种营养元素包括含量较高的常量元素（或称为大量元素）和含量较低的微量元素（表1）。由表可知植物和动物所需要的营养元素不完全相同。对植物来说，碳、氢、氧来自空气和水，它们是不会缺乏的，而微量元素则来自土壤。图1说明了这些营养元素的来源，除碳、氢、氧来自空气和水以外，都来自土壤。植物体内铁的含量很低，属于微量元素，而铁在土壤中则是大

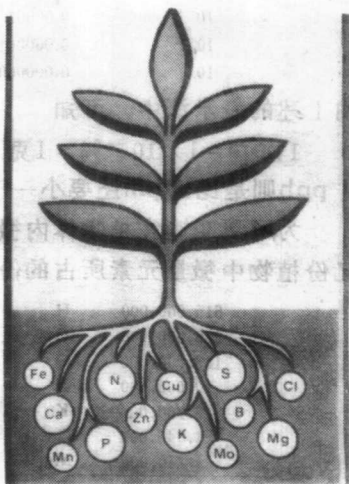


图 1 植物的营养元素的来源

量的，并不属于微量元素。随着科研工作的进展，这些必需的微量元素无疑会逐渐增多。

既然土壤和植物中的微量元素的含量都很低，那么它们究竟低到什么程度呢？这些元素的含量一般只有百分之几到十万分之几。但是一百万分之一又究竟是多少呢？我们常常说百分之一或千分之一，而一百万分之一比千分之一还要小一千倍，常用1ppm来表示，它仅仅表示比值，并且随着所使用的单位而改变，例如每吨中含有1克，或者每公斤中含有1毫克都是1ppm，都是一百万分之一。在科技书籍中常用下列方式来表示：

1×10^2	100%	1×10^6 ppm
10^1	10	10^5
10^0	1	10^4
10^{-1}	0.1	10^3
10^{-2}	0.01	10^2
10^{-3}	0.001	10^1
10^{-4}	0.0001	1 (1ppm)
10^{-5}	0.00001	10^{-1}
10^{-6}	0.000001	10^{-2}
10^{-7}	0.0000001	10^{-3} (1ppb)

由上述的表示法中，可知

$$1 \text{ ppm} = 1 \times 10^{-4} \% = 1 \text{ 克/吨} = 1 \text{ 毫克/公斤} = 1 \text{ 微克/克。}$$

1 ppb则是比1ppm还要小一千倍的单位，也是经常使用的。

为了更明确在植物体内微量元素的很低的含量，可以用十亿份植物中微量元素所占的份数(干重量)表示如下：

515,000,000	H	730,000	Cl
276,000,000	C	580,000	S
188,000,000	O	320,000	Na
10,000,000	N	130,000	Fe
3,760,000	K	3,000	B
1,840,000	Ca	1,000	Zn
1,740,000	Mg	100	Cu
1,000,000	P	5	Mo
		1	Co

微量元素在植物体和动物体内的含量既然这么少，为什么会起这么大的作用呢？这是由于微量元素大都是酶或辅酶的成分，它们最大的作用便是参与许许多多的酶系统的活动，酶在植物和动物体的生理活动中起着触媒也就是接触剂的作用，所以含量虽然小，却非常活跃，并且有很强的专一性。一旦土壤中的微量元素供给不能满足植物需要时，植物便会生长不良，有时则出现缺乏微量元素的特殊症状（也叫做缺乏症状），造成农作物减产和产品质量降低，严重时甚至于颗粒无收。从图2

可以看到甘蓝型油菜由于缺硼而引起的只开花不结实的症状，产量极低甚至于绝产。是典型的缺乏微量元素现象。这种油菜缺硼症状已在我国南方十个省的局部地区发现，及时的施用硼肥便能够防止或者矫正缺乏症状，使之生长茂盛，产量和产品质量提高。在缺乏微量元素的地区，动物（家畜）吃了缺乏微量元素的饲料或植物也会患一定类型的疾病，例如缺钴地区的牛羊吃了含钴量低的牧草，便会患缺钴引起的贫

血病。这些情况都说明微量元素的含量虽然很小，在植物和动物体中却起着十分重要的作用，一旦缺乏时，植物和动物便不能正常的生活和生长。在我国和其他国家，缺乏微量元素的现象已是屡见不鲜，不应因为需要量小而被忽视。否则农作物不能达到最高产量，动物健康也会受到影响。一定情况下还会影响人的健康，北方的地方病克山病，便与土壤缺硒有密切的关

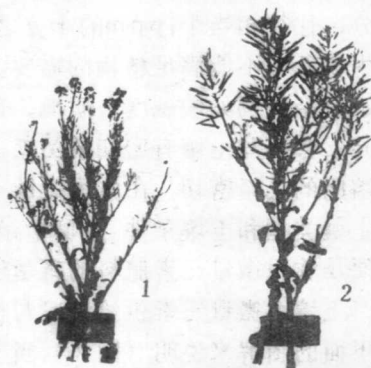


图2 甘蓝型油菜的缺硼症状

1—缺硼植株（只开花不结实）

2—正常植株

系,土壤缺碘时会使人患甲状腺肿大的疾病,都是典型的例子。

土壤是植物所需要的微量元素的主要来源。在土壤中或多或少的总会含有微量元素,植物的需要量既然很少,为什么又会供应不足呢?土壤中微量元素供给不足的原因主要有两种,有的时候是由于微量元素含量偏低,有的时候微量元素含量并不低,而是由于土壤条件不良,使土壤中的微量元素成为不能被植物吸收利用的形态。也就是说,土壤中的微量元素并不是全部都能够被植物吸收利用,能够被植物吸收利用的这一部分叫做“有效态微量元素”,只占这一元素的总含量(全量)的一小部分,往往相当于1ppm的十分之几或者百分之几,所以很容易发生缺乏,不能满足植物的需要。有效态微量元素的多寡,常受土壤条件例如酸碱度、质地、通透性的影响。所以植物的微量元素营养与土壤有密切的关系,并且这种关系比常量元素与土壤间的关系密切。在施用微量元素肥料的时候,因而必需考虑土壤类型和土壤条件。土壤中微量元素的含量、形态和分布规律便是施用微量元素肥料的科学依据。

土壤中微量元素供给情况与植物生长及产量的关系,可以用下面的图解来说明(图3)。当土壤中的微量元素供给十分贫乏的时候,植物严重的缺乏微量元素(横坐标的A部分),这时植物外部往往表示出特殊的症状——缺乏症状,生长不良,产量降低。假如及时的施用微量元素肥料,缺乏症状会消失或者减轻,产量也会有所提高。当微量元素供给情况稍好但是仍然不足时(横坐标的B部分),植物外部没有可见的症状,但是体内却存在着种种生理学的和组织学的不正常现象,叫做“潜在性缺乏”。这时,施用微量元素肥料仍然会有一定的效果,产量和产品质量都会有所提高,但是增产幅度则小于严重缺乏的场合。当微量元素供给良好的时候(横坐标的CD部分),植物生长正

常，对微量元素肥料没有反应，只会形成“奢侈吸收”，浪费肥料。当微量元素供给过多时（横座标的 EF 部分），植物生长会受到抑制，产量也会下降。曲线的（ c ）点称为缺乏微量元素的临界含量。微量元素含量低于 c 值时，属于缺乏范围，需要施用微量元素肥料，含量在 A 时农作物有可见的缺乏症状；在 B 时无可见的缺乏症状，为潜在性缺乏。在 CD 间为适量，不需要微量元素肥料， D 以上为过量，应采取适当措施加以补救。在田间情况下，严重缺乏微量元素是比较少的，大多数属于轻度缺乏即潜在性缺乏，由于没有可见的缺乏症状容易被忽略，以至于不能获得较高的产量，应当特别注意。下面的图解配合图3说明上述情况。

A	B	CD	E	F	微量元素 含量 增加
严重缺乏	潜在性缺乏	适量	奢侈吸收	过量	
有可见症状，施用微量元素肥料后显著增产，质量提高	无可见症状，施用微量元素肥料后产量和质量提高	生长最好，产品质量最高，不需要施用微量元素肥料	生长良好，但可能影响对其他元素的吸收	生长受抑制，产量下降，有中毒症状或者无症状	
	(B) 症状的 临界值	(C) 产量的 临界值		(E) 中毒的 临界值	
	缺乏的临界值				

假若植物对微量元素的需要未曾满足，有时会成为提高产量的限制因子。这时，纵然施用了足够的氮、磷、钾等常量元素肥料，产量并不能相应的提高如图4的左半部所示。但是假若施用了足够的微量元素肥料，在原有的氮、磷、钾肥料含量的水平下，产量会提高到应有的水平，如图4的右半部所示。

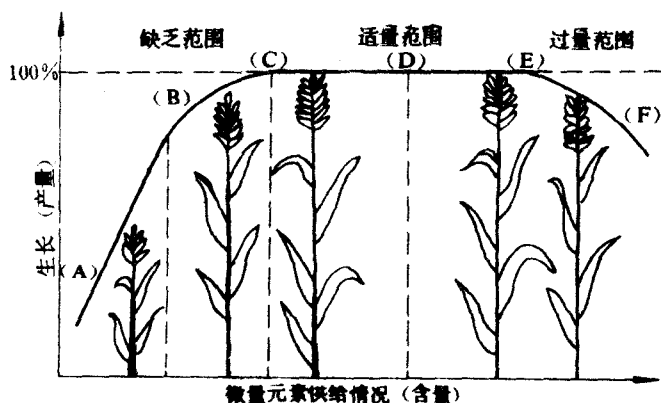


图3 微量元素供给(含量)与农作物产量的关系

在生产实践中这种例子是屡见不鲜的。上述情况说明排除限制因子和保持养分平衡的重要性。习用的氮、磷、钾肥料并不能代替微量元素的作用，微量元素同样的也不能代替氮、磷、钾的作用。它们是相辅相成的，要同时加以考虑，而不是只考虑

或者先考虑施用氮、磷、钾肥料，不考虑或者后考虑施用微量元素肥料，有的人认为微量元素不是营养元素，只是有点刺激而已，就像酱油、醋、味精一样是可有可无的，这种论点显然是错误的。就营养元素的定义而论，微量元素有专一性，并且是不可缺少的，不然的话它们

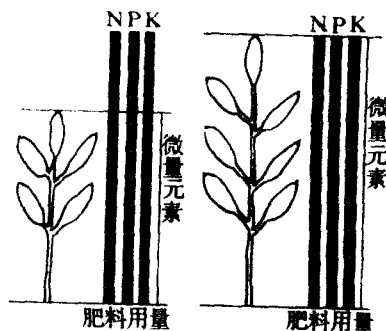


图4 养分平衡
与限制因子

就不是营养元素了。

为了更明确的说明限制因子的影响，可以将农作物产量比喻成水桶中的水，营养元素比喻成水桶。桶愈深则所盛的水也就愈多。水桶由许多木片组成（图5），每个木片代表一个营养

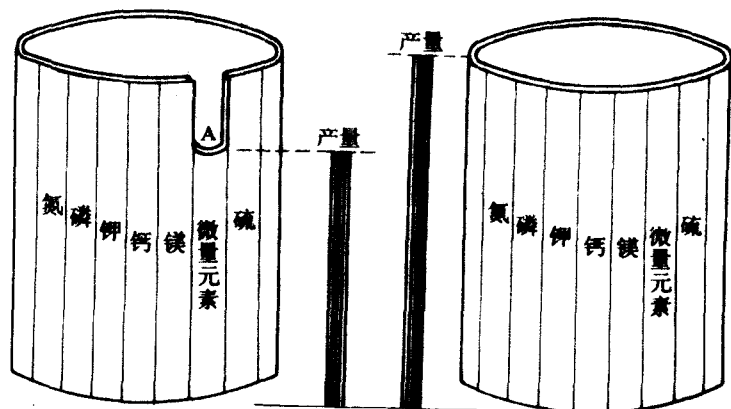


图5 影响农作物产量提高的限制因子

元素。假若有一个营养元素缺了一段而出现一个缺口（A），那么，桶里的水只能装到A处为止。只有所有的木片都不缺损，才能把水装满全桶。这些破损的木片可以指微量元素，也可以指常量元素，它们都可能成为限制因子。桶中的水装满了的时候代表最高产量。

此外，微量元素肥料的效果和农作物对微量元素需要的迫切性，常与氮、磷、钾肥料的施用水平有密切关系，一般的情况是氮、磷、钾肥料的施用水平愈高，农作物生长就愈茂盛，产量也就愈高。这时，对土壤中微量元素供给有更高的要求，并且会感到供给不足。从养分平衡角度考虑，氮、磷、钾供给增加时，农作物对微量元素的需要相应的增多。因此，不仅在

低产的土壤上，而且在较肥沃的土壤上，都可能存在着微量元素问题，都可能需要微量元素肥料。但是微量元素肥料的施用是有选择性的，只有在供给不足的情况下才应当施用，而不是在各种土壤上对所有的农作物都无条件的施用，这是不言而喻的。

农作物种类不同，需肥特点也不相同，对微量元素的需要量也不一样，应当区别对待。例如一些豆科植物和十字花科植物对微量元素的需要量大于禾本科植物，对微量元素肥料往往有较好的反应。所需要的微量元素的种类，各种植物间也有一定的差异，例如钼肥对豆科植物的效果最好，铜肥对禾本科植物效果最好，而一般的农作物、果树和蔬菜对锰肥都有良好的反应。微量元素肥料的效果便是这些元素在植物体内的生理功能的反映。

此外，各营养元素间的相互作用，与植物吸收利用微量元素的情况有密切的关系。营养元素间的相互作用有两种，就是拮抗作用和促进作用。有的时候两种元素间存在着相互矛盾的关系，这一个元素会减抵植物对另一个元素的吸收利用，或者这两种元素相互抑制，都叫做拮抗作用。有时候，两种元素间存在着促进的关系，这一个元素促进植物对另一个元素的吸收作用，或者两者间相互促进，都叫做促进作用，例如钼与磷之间存在着促进作用，同时施用钼肥和磷肥的效果，往往大于单独施用的场合，又如土壤中存在大量的磷，或者大量施用磷肥都会抑制植物对锌的吸收利用。各营养元素的相互关系如图6所示。

一定的农业技术措施对土壤中微量元素的可供性也有显著的影响。例如在微量元素本来很充足的酸性土壤上，施用石灰来调节酸度的时候，会使一些微量元素的可供性下降，过量施用石灰时，会导致农作物发生缺乏微量元素的现象，叫做“诱

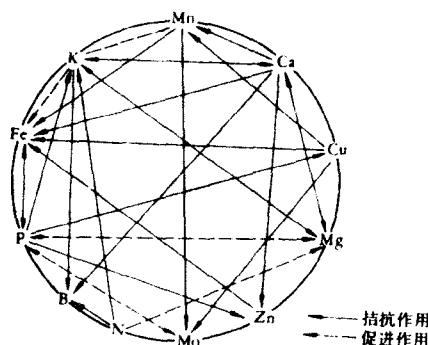


图 6 各营养元素间的关系

发性缺乏”。因此，在施用石灰时，应控制用量，使土壤酸度保持在pH6.5上下，这时，各种营养元素可给性都比较高，同时考虑配合施用微量元素肥料。另外一个例子便是在平整土地时或修筑梯田时，应使表土复位，避免底土或者含有多量碳酸钙的层次暴露，否则易于导致缺锌。

三、微量元素肥料

微量元素肥料的种类很多，可以按元素来区分、可以按化合物的种类来区分，也可以按肥料的形态来区分。

按元素区分可分为硼肥、钼肥、锌肥、锰肥、铁肥、钴肥等。这些肥料是根据农作物的需要，以一定原子价的化合物作为肥料（表2），有时则制成多元素的肥料，例如硼镁肥等。

按化合物区分可以分为无机的和有机的微量元素肥料。

按形态区分可分为固态和液态的微量元素肥料，后者例如