

# 植物营养、植物激素 和植物组织培养技术

孔庆浩 章亚莲 编著

中国农业科学技术出版社

# 序

现在《植物营养、植物激素和植物组织培养技术》一书即将出版。这是一部凝聚几十年心血的严谨著作，是一部传授现代农业知识和农业技术的实用著作。他们曾经是我的同事，我愿意为这本新书序言。

现代农业的快速发展，多半得益于农业新技术的不断成熟与推广，这在浙江省的新昌、嵊州等地体现得尤为明显。改革开放以来，新嵊两地依靠科技进步，走出了一条高效、生态、可持续发展的现代农业产业化之路，在这过程中，农业科技工作者功不可没，孔庆浩和章亚莲都是这方面的杰出人才。孔庆浩同志一直坚持花卉繁殖和水稻单倍体育种的组织培养、实验研究，章亚莲同志长期在基层从事农业技术推广和农业经济管理工作。他（她）们在大量的工作实践中积累了丰富的经验，有能力编著一本传授农业科技的实用著作。

全书分植物营养、植物激素在农业上的应用、植物组织培养技术三大部分，在框架上注重系统性与完整性，在内容上兼顾科学性与实用性，在风格上保持通俗性与可操作性，理论深入浅出，文字通俗易懂，可供农业科技工作者、农业院校师生、农业技术推广人员和广大农民朋友学习参考。

相信本书出版会得到广大读者的喜爱。

浙江省新昌县副县长

漆理明

2009年9月

# 前 言

为满足全社会对农产品需求日益增长的需要，在有限耕地和人口不断增长的前提下，必须依靠农业科学技术的进步，快速发展农业生产取得更多更优质的产品。随着当代科学技术突飞猛进，在农业上不断涌现出许多科技成果，在生产上推广后取得了提高产量和品质的显著效果。为此，萃集了有关资料汇编成《植物营养、植物激素和植物组织培养技术》一书。

全书内容分三部分。第一部分植物营养，主要介绍植物营养的种类、特性和在土壤中的转化以及科学施肥的方法。目的是防止盲目施肥造成浪费，以发挥最大的效益，同时提出了施用有机肥料的重要性。第二部分植物激素，主要介绍植物激素的种类、特性、生理功能和用途以及在农业上的应用。植物激素在生产上虽然用量极微，但发挥作用巨大，起到一般栽培措施不能达到的作用。植物激素不仅有促进植物生长或抑制植物生长的作用，诸如能使植物插条生根，防止落花落果，产生无籽果实，抑制贮藏的块茎（根）发芽变质，打破休眠促使发芽，果实催熟和增加雌花数量等作用。第三部分植物组织培养技术，植物组织培养技术是一门在 20 世纪发展起来的、在农业生产上十分有用的生物技术。植物组织培养可以用于植物品种的

快速繁殖，脱除植物病毒、生产无毒种苗和选育植物新品种以及生产天然代谢物。并具体介绍了兰花的快速繁殖和苹果树脱除病毒生产无毒种苗，以及水稻单倍体培育新品种的原理与方法。

该书中的内容，虽然在农业生产中起着不同作用，但三者又是相互联系的。如植物激素要在植物正常营养基础上使用，植物激素不能替代植物营养元素；又如植物营养可以借助激素的作用达到不同目的的要求；植物组织培养技术要以植物营养和植物激素的知识作为基础。所以把这三方面知识合并编著成一书。该书的内容力求实用，理论深入浅出，愿成为农业科技工作者、农业院校师生和广大农业生产者的参考书。

因水平有限，书中的缺点和错误难免，恳请读者批评指正。

编者

2009年8月

# 目 录

第一部分 植物的营养元素 .....	(1)
一、植物体的必需营养元素 .....	(1)
二、植物体必需营养元素的种类、含量和来源以及需要 补给的营养元素 .....	(2)
三、必需营养元素的生理功能 .....	(3)
四、农业生产上常用的肥料 .....	(11)
(一) 氮肥 .....	(11)
(二) 磷肥 .....	(22)
(三) 钾肥 .....	(32)
(四) 微量元素肥料 .....	(36)
(五) 石灰、石膏肥料 .....	(41)
(六) 有机肥料 .....	(45)
(七) 绿肥 .....	(51)
(八) 复合肥料 .....	(58)
(九) 肥料的混合 .....	(59)
五、植物对养分的吸收 .....	(61)
(一) 植物的根毛是吸收水分和养分的主要器官 .....	(61)
(二) 植物对水分和养分的吸收 .....	(63)
(三) 养分在植物体内的运输 .....	(69)

<b>第二部分 植物激素在农业上的应用</b> .....	(71)
一、植物激素的种类 .....	(72)
(一) 生长素类 .....	(73)
(二) 赤霉素类 .....	(88)
(三) 细胞分裂素类 .....	(92)
(四) 脱落酸类 .....	(93)
(五) 乙烯利 (CEPA) .....	(94)
(六) 植物生长抑制剂与生长延缓剂 .....	(96)
二、植物激素剂型的配制方法和浓度稀释与计算 .....	(105)
(一) 水剂的配制方法 .....	(105)
(二) 粉剂的配制方法 .....	(107)
(三) 油剂的配制方法 .....	(107)
(四) 浓度稀释和计算方法 .....	(107)
(五) 植物激素在配制药剂中和在农业上应用时应 注意的问题 .....	(109)
三、植物激素在部分农作物上的应用 .....	(110)
(一) 植物激素在粮、棉、油等作物上的应用 .....	(110)
(二) 植物激素在水果生产上的应用 .....	(120)
(三) 植物激素在蔬菜生产上的应用 .....	(124)
<b>第三部分 植物组织培养技术</b> .....	(130)
一、植物组织培养的涵义与作用 .....	(130)
二、植物组织培养技术 .....	(132)
(一) 实验室设置与仪器设备配置 .....	(132)
(二) 植物组织培养的基本术语 .....	(133)
(三) 培养基配制 .....	(134)
(四) 组织培养的无菌操作技术 .....	(147)
(五) 试管苗培养对环境的要求 .....	(151)

三、植物组织培养在兰花快速繁殖、苹果树脱毒苗繁殖 和水稻单倍体育种上的应用 .....	(152)
(一) 几种常见兰花的组织培养快速繁殖技术 .....	(152)
(二) 苹果树脱除病毒与生产无毒种苗技术 .....	(177)
(三) 水稻单倍体育种 .....	(189)
附录 1 组织培养常用培养基成分表 .....	(202)
附录 2 其他培养基 .....	(204)
附录 3 植物组织培养基中常用化合物的相对分子量 .....	(205)
主要参考文献 .....	(207)

# 第一部分 植物的营养元素

## 一、植物体的必需营养元素

给植物充足的养分，是为了促其良好生长、提高产量和为人类提供更多的经济产品。因此，首先要了解植物体是由什么物质组成的？植物需要哪些营养元素？植物是怎样进行生活并完成生活周期的？早期科学家已经对植物体进行过分析。植物体样本用100~105℃高温烘干，除去70%~90%的水分，剩下此部分叫做干物质。在干物质中含有各种有机和无机化合物。再将干物质燃烧，有机物的组成元素，即碳、氢、氧、氮，都跑掉了，留下黑色的残渣，叫做灰分。灰分含有各种元素的氧化物。经过化学分析得出许多种化学元素。为分辨这些元素，植物科学家进行了盆栽试验。主要用水培法，在人工配制营养液中，除去或加上在植物灰分中的某种元素，观察植物的生长和生理情况和所受的影响。当被试验的植物缺乏某一元素时，枝条和根生长受阻，并表现特殊的病症，甚至开花前就死掉，若试验再加入这一元素时，植物就能正常生长发育，这样便证明该元素是植物生长发育不可缺少的，叫做必需元素。



## 二、植物体必需营养元素的种类、含量和来源以及需要补给的营养元素

通过科学家多次重复试验提出了 16 种必需营养元素，并根据植物对它们的需要量的不同，分为大量营养元素和微量营养元素（表 1-1）。大量营养元素占植物干物质重量的百分之几到千分之几，分别是碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁、硫九种；微量营养元素的含量占干物质重量的千分之几到十万分之几，分别是铁、锰、锌、铜、钼、硼、氯七种。除了上述 16 种必需营养元素以外，植物体内所含的其他元素，不是植物正常生长发育所必需的。但是近年来研究报道，钠、钴、硅、矾、镍、碘和放射性元素镭等元素对某些植物的生长有良好的影响，甚至也是不可缺少的。这些元素，称为超微量元素。但对于整个植物界来讲还不是所有植物所必需的。

表 1-1 植物体必需营养元素种类、含量和来源

营养元素	大量元素									微量元素						
	碳	氢	氧	氮	钾	钙	镁	磷	硫	氯	铁	锰	硼	锌	铜	钼
化学符号	C	H	O	N	K	Ca	Mg	P	S	Cl	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo
占干物质%	45	6	45	1.5	1.0	0.5	0.2	0.2	0.1	0.01	0.01	0.005	0.002	0.002	0.0006	0.00001
来源	来自空气和水 ①									来自土壤						

注①：从土壤中吸收，豆科作物能利用空气中的氮。

随着今后实验方法的进步，试剂的纯化如测试技术的现代化，会发现有更多的化学元素为植物正常生活所必需的。

在这些必需营养元素中，碳、氢、氧三元素在植物体中含量最多，约占植物体的90%以上。碳和氧是植物从空气里的二氧化碳中取得的，氢来自水和空气。它们在自然界中是取之不尽的，目前人们不必作为肥料加以补给。其他的营养元素都是来自土壤，只有豆科植物可以从空气中获得一部分氮素，这就是说土壤是植物所需营养的主要提供者，生产实践也证明，土壤肥力是影响作物产量的重要因素。在各种营养元素中，氮、磷、钾是植物需要量最大的，也是每次植物收获时带走最多的营养元素，虽然采用留茬的办法使根部残留于土壤，但残留的却很少，这样土壤的三元素就在不断亏损。为了补足土壤养分不足，生产上通过施肥加以补足，因此氮、磷、钾又称为肥料的“三要素”。

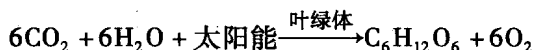
### 三、必需营养元素的生理功能

#### 1. 大量元素

(1) 碳、氢、氧 这是植物体内有机化合物重要组成部分，植物体内的有机化合物如糖、淀粉、纤维素、蛋白质、脂肪和有机酸等。植物体的有机物是由碳酸和水首先合成糖类，再进一步转化成其他化合物。活的植物体中约80%是水分。植物体的一切生命活动，都是以水作为媒质进行的，如果水分不足，生命现象不仅衰退，甚至不能维持。氧是呼吸作用所必需的，氧和氢在植物体内的氧化还原过程中起着重要作用。

(2) 氮素 氮元素是植物体最重要的一种物质，它是蛋白质或有生命的原生质组成成分构成的。蛋白质中氮的含量平均为16%~18%。一切有生命的生物体都是由蛋白质或原生质作为基本物质构成的。同时，生物体的蛋白质或原生质处在不断合成和分解中，这个过程体现了生命现象。没有氮素，就不会有蛋白质，当然就没有生命了。氮素也是叶绿素的组成成分，如叶绿素a

( $C_{55}H_{70}MgN_4O_5$ ) 和叶绿素 b ( $C_{55}H_{72}O_6N_4Mg$ ) 都是含氮化合物。绿色植物在其体内借助叶绿素在叶绿体内用二氧化碳和水作为原料进行光合作用, 制造有机物。这样可以说植物叶子叶绿体是制造动植物粮食的最大工厂。光合作用简式如下:



氮素又是核酸核蛋白的构成部分, 核酸是生物携带遗传信息的物质基础, 它大量存在于细胞核和植物分生组织中, 进行着植物的细胞分裂和生长。氮素又是植物体中各种酶的组成部分。酶是一种蛋白质, 它是植物体各种生化反应的催化剂。植物体生化反应是一种酶促反应。植物完成一个生化反应, 必需要有特定的酶参加。所以氮素又以酶的形式对植物代谢产生重大影响。氮素又是植物体中维生素和植物碱的组成部分, 如维生素  $B_1$ 、维生素  $B_2$ 、维生素  $B_6$  和烟碱、茶碱等; 没有氮素就不能合成。

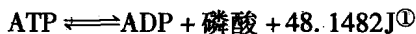
植物体的蛋白质不是固定不变的, 在植物生命活动的发展过程中, 有时被合成, 有时被分解, 这样反复进行着。氮素在植物体内具有容易移动的特性, 植物幼嫩的生长点要求较多的氮素化合物。如果氮素化合物供应不足, 古老组织中的蛋白质和叶绿素将被分解转运, 输送到生长点被再利用。

植物如果氮素供应不足, 植株变小, 叶带黄色, 籽实产量降低。但如果氮素过多, 植物叶子呈浓绿色, 并大量消耗碳水化合物, 转化为氨基酸和酰胺等含氮化合物, 使细胞壁变薄, 茎叶徒长软弱, 成熟推迟, 如倒伏减产, 并容易感染病虫害。

(3) 磷素 磷是植物体的核蛋白、核酸、磷脂、磷酸苷和许多酶的组成部分。核蛋白是由核酸和蛋白质组成, 是细胞核的主要成分。核酸组成的基本单位是核苷酸; 磷酸是其主要组成成分之一。去氧核糖核酸 (DNA) 是遗传物质。生物通过遗传物质基因, 使物种代代相传, 保持不变, 人们通过诱变, 使遗传物质基因产生改变 (主要是重组和突变), 产生新物种或新品种, 为人类服务。

磷酸是绿色植物光合作用的直接参与者，光合作用的最初产物是磷酸甘油酸。以后经过一系列的磷酸化作用，形成葡萄糖、蔗糖和淀粉。

磷酸参加生物体能量的调节作用，使腺二磷和磷酸结合生成具有高能键的腺三磷，并相互转换，使日光能转变为化学能。



这种能量的释放与贮存，供给植物新陈代谢，起到能量传递功能。如果没有磷酸的参加，一系列的生理过程就会受到抑制，甚至无法进行。其次，促进植物呼吸的各种酶（如辅酶 I、II）和黄酶以及氨基酸转移酶都含有磷。又如籽酸中含有磷主要贮存在种子中，供给种子萌发和幼苗初期生长。

磷能提高植物的抗旱、抗寒能力。一些磷酸盐，如磷酸二氢钾和磷酸氢二钾对植物细胞液的 pH 值具有缓冲作用，使原生质保持稳定状态，有利植物的正常生长。磷在植物体内是可以再利用的营养元素。植物所吸收的磷酸盐有向幼嫩部分集中的趋势。到作物生产后期大部分磷酸盐可以从茎叶运转到籽粒中去。

植物缺磷一般表现生长缓慢，次生根很少，叶色暗绿，苗期叶片及其基部常呈紫色。严重缺磷时，叶片枯死脱落。缺磷玉米出现秃顶，油菜易落荚，棉花易落花落蕾。但过量施用磷肥也会对作物产生不良影响。过多的磷酸盐会强烈促进作物呼吸，消耗大量糖分和能量。作物往往表现地上部分和根系生长比例不协调，地上部分生长受抑制，比重减少，根系多而粗，比重增加。而且会影响其他养分的有效性，如会引起铁、镁、锌等元素的缺乏，加重对作物的不良影响。

(4) 钾素 钾是植物体中含量最多的元素，但与氮、磷不同，它在植物体中存在的状态，迄今为止，尚未发现含钾的化合物。在植物细胞中钾是以离子状态溶于细胞液中，或者吸附在原生质胶体

① (注) 1 卡 (cal) = 4.1868J (焦耳) 换算

表面。虽然如此，它是植物的必需元素，而且需要量最大。它以酶的活化剂形式广泛的作用于植物的代谢过程中，现已知有 60 多种酶需要一价阳离子活化，而钾是活化作用最有效的离子，缺少它植物的生长会受到影响。

钾能促进植物的光合作用。供钾充足时能使酶的活性提高，而且能使植物对同化二氧化碳效率提高。钾能促进氮的代谢，因为钾促进核酸的形成与蛋白质的合成。钾能明显提高对氮的吸收利用，并加速转化为蛋白质。钾能消除氮磷过多引起的不良影响，在氮磷营养平衡方面起重要作用。钾能促进碳水化合物代谢和运输。因为钾能活化淀粉合成酶，促进单糖合成双糖和淀粉。用同位素  $C^{14}O_2$  做马铃薯试验，在施用后 24 小时内能将 80% 的  $C^{14}$  运输到块茎中，并且钾能提高油料作物种子中油脂的含量。钾在植物体内流动性很大，可充分被再利用。钾在植物的生活组织内容易从一部分转移到另一部分。在幼嫩的细胞中完成各种代谢后迅速转移到更幼嫩部分被再利用，保证幼嫩部分的生长，这样便实现多次利用。

作物缺钾时，植物体正常的代谢作用受阻，产生生理紊乱和失调。植物老叶周边和叶脉表现带状黄色斑点。常表现氮素不足的症状。禾谷类作物水稻在土壤过分糊化缺氧的情况下，水稻根部受土壤亚铁、 $H_2S$ 、有机酸等毒害，影响对钾素的吸收，引起苗期叶片发生胡麻斑病等病害，使生长严重受阻。但是如果钾肥施用过多，超出作物健康生长必须的数量，植物产生所谓奢侈吸收，也会造成浪费。

(5) 钙素 钙是细胞壁中胶层果胶钙酸的组成成分。它在衰老器官中，如树皮、老叶，钙的含量很高。植物缺钙时，细胞壁不能形成，影响细胞分裂，妨碍新细胞的形成。钙除去是植物的组成元素外，还有调节细胞 pH 值的稳定，间接影响植物的营养过程。试验表明，钙离子与铵离子有颉颃作用，能使细胞中过多的铵不产生毒害作用。钙还对许多元素有颉颃作用，钙可避免或降低过多的钾 ( $K^+$ )、钠 ( $Na^+$ )、氢 ( $H^+$ ) 等一价离子和锰 ( $Mn^{2+}$ )、铁 ( $Fe^{3+}$ )、铝 ( $Al^{3+}$ ) 等离子的毒害作用，如调节酸性土壤中过多

的氢离子，碱性土壤的钠离子对植物产生的不利影响。如在酸性土壤中施用石灰，在碱性土壤中施用石膏可以改良土壤。

钙在植物体中较固定，不容易重新分配。缺钙时，植株矮小，根系发育不良，茎和根尖的分生组织受损。严重缺钙时，植物幼叶卷曲，新叶抽出困难，叶尖发生黏化现象，叶尖和叶缘发黄或焦枯坏死，根尖腐烂死亡。植物缺钙往往不是由于土壤缺钙，而是由于植物对钙的吸收和运输等生理作用失调所造成。

(6) 镁素 镁是构成叶绿素唯一的金属元素，如叶绿素 a ( $C_{55}H_{72}MgN_4O_5$ ) 和叶绿素 b ( $C_{55}H_{76}O_6MgN_4$ ) 含有镁，镁对光合作用有重要作用。镁是许多酶的活化剂，能加强酶促反应。镁在植物体内同磷酸盐的转运有密切关系，镁能促进植物合成维生素 A 和维生素 C，有利于提高果蔬的品质。镁并能促进腺二磷形成腺三磷，而促使能量转换。镁对钙、钾、铵、氢等离子有颀颀作用，若过多的施用石灰、铵态氮和钾肥会影响镁的吸收。镁在植物体内移动性较强，可向新生组织转移，实行再利用。植物缺镁，表现叶绿素减少，叶片失绿，叶色变黄，并首先表现在老叶上。

(7) 硫素 硫是构成蛋白质和酶不可缺少的元素，同叶绿素形成也有关系。在植物呼吸作用中，硫有着重要作用，缺硫会使植物正常的氧化还原过程受阻，生物氧化产物有机酸的量减少，也会影响蛋白质的合成。硫还能促进豆科作物根瘤的形成。硫是某些植物油的成分，如芥子油、蒜油都含有硫，使这些植物含有特殊的气味。硫在植物体内移动性不大。植物缺硫时的症状与缺氮时的症状相似。蛋白质合成受阻，体内积累了氨基酸和其他含氮化合物，使植物不能正常生长。植物缺硫的初期幼叶发黄，严重时老叶也是淡绿色，甚至白色。根系发育受影响较少。

## 2. 微量元素

(1) 铁素 铁在植物体中含量不多，通常为干物重的千分之几。铁不是叶绿素的成分，但若没有铁元素，叶绿素就不能形成，首先是叶绿素制造的催化剂。缺铁时便产生缺绿症，叶子呈淡黄

色，甚至白色。铁还参与细胞呼吸过程成为搬运氧气的催化剂。

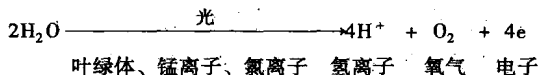
铁常易由还原态 ( $\text{Fe}^{2+}$ ) 转变为氧化态 ( $\text{Fe}^{3+}$ )，铁是植物体内所有氧化还原过程中极重要的参加者。铁直接存在于某些氧化酶（细胞色素氧化酶、过氧化酶、过氧化氢酶等）的组织中起重要作用。铁在植物体中被固定，难以流动，因此缺铁表现下部叶片常能保持绿色，而嫩叶上呈萎黄症状。

(2) 硼素 硼不是植物体的结构成分，但硼对植物的某些重要生理过程有着特殊的影响。硼能促进碳水化合物的正常运转。缺硼时，叶内有大量碳水化合物积累。影响新生组织的形成。硼还能促进生长素的运转，从而促进植物的生长和发育。硼能促进植物生殖器官的正常发育，在植物的花、柱头和子房中含硼量最高。硼可刺激植物花粉管的伸长，有利受精。因此，缺硼常表现为甘蓝型油菜“花而不实”，棉花出现“蕾而无花”，花生出现“存壳无仁”等现象。果树缺硼时，结果率低，果实畸形。硼肥对防治苹果缩果病有良好作用。一般说，豆科植物需硼量比禾本科作物多，十字花科作物比根用作物多，多年生植物比一年生植物多。

缺硼时，植物生长点和维管束受损，植株生长受抑制。严重缺硼时，幼苗期植株就会死亡。硼能促进植物生殖器官的正常发育。而硼肥过量时，可使大豆叶型发皱，叶色发白。大多数作物缺硼和硼害之间的范围很窄，因此，硼肥施用量和浓度必须严格掌握。

(3) 锰素 锰对植物的生理作用是多方面的，它是多种酶的活化剂。锰与绿色植物的光合作用（光合放氧）、呼吸作用和硝酸还原作用有密切关系。锰在叶绿体中直接参与光合作用过程中的水的光解<sup>①</sup>，它能促进碳水化合物代谢和氮的代谢，使作物生长发育

① 光合作用的第一步需要光，称为水的光解，这一阶段中依靠光能的作用将水分解并放出氧。水的光解除需要锰外，还需要氯离子，其反应可简单表示为：



正常和产量提高。在植物体内锰和铁有相互作用，锰影响铁盐的氧化还原作用，使低铁氧化成高铁，并可能以有机复合物沉淀下来。缺锰时，体内的低铁离子浓度升高，引起铁浓度过高的病症。锰过多时，低铁离子又过少，不能保证正常生长的需要，发生缺铁导致缺绿病。因此在植物体内铁/锰的比例应有一定的范围（大豆为1.5~2.5），否则植物不能正常生长。土壤反应偏碱时，锰呈不溶解的化合物，锰的供应不够植物需要。缺锰时，叶绿素不易形成，植物叶子变成苍白并带灰色，在叶片尖端发生褐斑，最后卷曲枯萎，植株生长衰弱，再不能发育。

(4) 锌素 锌是植物许多酶的组成成分，如碳酸酐酶中含有锌。碳酸酐酶有催化二氧化碳和水反应的作用。这一作用与二氧化碳的利用和光合作用有密切关系。由于锌是许多酶的组成成分，所以锌对植物体内物质水解、氧化还原过程和蛋白质的合成等有着重要作用。锌与植物生长素的形成有关系。缺锌时一种生长素（吲哚乙酸）的前身——色胺酸的含量减少很多，因而锌间接影响生长素的形成。锌还能促进蛋白质的合成。植物缺锌后，体内蛋白质合成下降，酰胺化合物显著增加，这表明氮的同化受到严重影响。

果树缺锌均有所见，除叶片失绿外，在枝条尖端常出现小叶簇生现象，称为“小叶病”。严重时枝条会枯死，产量下降。在中国北方常见有苹果树和桃树缺锌，而南方柑橘缺锌也较普遍，又如梨、李、杏、樱桃、葡萄等也有缺锌发生。玉米白苗有时也是缺锌引起的，这些症状可以在土壤中添加微量的锌或喷施少量锌盐来挽救。

(5) 钼素 钼在植物体需要很少。钼存在于生物催化剂的组成之中，如钼是硝酸还原酶的重要组成成分，它参加硝酸态氮还原成铵态氮的作用。它特别促进豆科植物和自生固氮菌的重要作用，在抗坏血酸形成过程中起着一定作用。钼还能促进光合作用的强度和消除酸性土壤中活性铝在植物体内积累产生的毒害作用。豆科作物缺钼，表现根瘤发育不良，瘤小而少，固氮能力弱或不能固氮。



由于豆科作物对钼敏感，易发生缺钼现象，所以钼肥应首先考虑施用。

(6) 铜素 铜和叶绿素形成有关。铜是植物体内多种氧化酶的组成部分，在氧化还原反应中有重要作用。它参与呼吸作用，影响对铁の利用。它还具有提高叶绿素稳定性，避免叶绿素过早遭受破坏，有利于叶片更好地进行光合作用。铜还参与蛋白质和糖类的代谢作用。缺铜时，叶绿素减少，叶片出现失绿现象，幼叶叶尖因缺绿而黄化并枯干，最后叶片脱落。缺铜也使繁殖器官发育受影响。

(7) 氯素 氯不是植物体内重要有机物的成分，但在植物的生理过程中需要一定量的氯。植物的光合作用中水的光解需要氯离子参加。而大多数植物能在雨水或灌溉水中获得所需要的氯。用水培和沙培法证明在培养液里适当增加氯盐能使产量提高。缺氯时，植物生长早期就受到危害，小叶叶端萎缩，缺绿病加重。叶片部分变褐坏死，严重时不结实。同时，氯离子对很多作物有相反的反应，如烟草施用大量含氯的肥料会降低其燃烧性，薯类作物会降低淀粉的含量等。

(8) 其他元素。

硅 硅普遍存在于所有植物中，经过精细水培养实验证明，植物的正常生长需要微量硅。对禾本科植物有重要意义，硅进入其茎和叶细胞壁内产生硅化细胞，使细胞壁变硬，可防止寄生性真菌侵入。

镓 试验证明，在培养液内加入极微量的镓可增进黑帚霉的生长和孢子形成。因而认为镓是这种真菌的必要元素；另一种浮游植物（品藻）的生长也需要极微量的镓。镓对其他植物的必需性尚不清楚。

### 3. 各营养元素之间的相互关系

植物必需的各种营养元素，是同等重要和不可替代的，植物是一个有机体，要不断的进行一系列的生化反应，才能正常生长和发育。单靠一个或几个元素是完成不了的。例如，植物体必需的大量