

File No. 63

微量元素的不足与过剩

植物的生育需要 16 种必须元素，这些元素只要缺乏其中 1 种，就能够导致植物不能生长。在这 16 种元素中，铁 (Fe)，锌 (Zn)，锰 (Mn)，铜 (Cu)，硼 (B)，钼 (Mo) 这 6 种元素在植物体内的存在量很少，需求量也非常小，所以被称为微量元素。虽然微量元素在植物体内只是微量存在，但密切地参与到酶的活性和催化能力，植物激素的合成和作用，光合作用，体内合成物质的移动等生理活动中。若植物体内微量元素不足的话，会严重影响植物的生育，表现出各种非正常的症状。

但是，这些微量元素具有一定的毒性。若植物过量吸收了这些微量元素，导致体内浓度超出了阈值的话，反过来也会对植物的生育带来不良的影响。这种状况称之为微量元素过剩障碍。不仅会影响植物生育，吸收了的微量元素还有可能被转移到收获物里，对摄取这些收获物的人群或家畜家禽产生不良影响。

土壤中或多或少都会存在有这些微量元素。在正常的状态下，作物能够吸收到足够的微量元素供应自身的生长，不必特意从外部施用含有微量元素的肥料。因此，通常的农作物栽培完全没有必要施用微量元素肥料。但是，微量元素的溶解性与土壤 pH 有极大的关系，pH5.0 以下的强酸性土壤或 pH8.0 以上的碱性土壤会强烈地影响到微量元素的溶解性和植物根的吸收能力，即使是土壤中存在有足够的微量元素，亦有可能发生缺乏症状。但是，强酸性土壤和碱性土壤原本就不适合农作物的生长，在出现微量元素缺乏症状之前农作物就已经发生了幼苗枯死或生育不良等现象。在大田栽培上，成为问题的并不是微量元素缺乏症状，而是微量元素过剩引起的生育障碍。特别是金属矿山地带以及金属冶炼工厂等重工业地区容易发生微量元素的过剩症状。

另一方面，不使用土壤的培养液栽培方式，特别是完全不使用固体培养基的全水耕栽培方式，作物生长所需的养分全部来自于培养液，微量元素的添加是必不可缺的。通常，微量元素的缺乏症状大多数出现在培养液栽培上。

以下对这些微量元素的缺乏症状和过剩症状进行简单的描述。

1. 铁 (Fe) 的缺乏症状和过剩症状

铁在叶绿体中与磷蛋白结合，与叶绿素的形成和分解有关。铁还被推測参与了细胞内的氧化还原反应，在植物呼吸时起着搬运氧原子的作用。

若作物缺乏铁的话，叶片会出现黄白化现象。其症状是叶肉部退色成黄色或淡绿色，但叶脉仍保留绿色。但严重时也会有上位叶片全体变成白色的现象。蛋白质的合成受到阻碍，作物体内会积储多量的硝态氮，使得茎叶软弱，易感染病害，子实收获量少，品质差。图 1 是缺乏铁所引起的葡萄上部叶片的黄白化症状。

铁过剩时在作物上看不到有明显的过剩症状。但是土壤含铁量过多的话，会加剧土壤的磷固定，使得可溶性磷大大减少，作物吸收不到足够的磷养分，诱发出缺磷症状。铁还能够与钾，磷，铜，钼等发生拮抗作用，影响这些元素的吸收。特别是对钾的吸收拮抗很强烈。因此，土壤中的可溶性铁含量过多的话，会阻害作物的生长。

2. 锌 (Zn) 的缺乏症状和过剩症状

锌是植物体内一些重要的酶的构成成分，还是许多酶的活化剂，影响植物体内的许多代谢反应过程，特别是与植物蛋白质的合成有密切关系。锌亦影响到植物激素的一种生长素的合成和代谢，可以间接地调节植物的生长。



图 1. 葡萄的铁缺乏症状（叶的黄白化）



图 2. 西红柿的锌缺乏症状（节间缩短，叶呈丛生状）

若锌不足的话，新梢生长点和幼叶的生育受到显著的阻碍，茎端生长点的节间缩短，叶片展开受阻，多数小叶集中在一起呈丛生状，称之为 rosette 状现象。图 2 是西红柿的缺锌引起的新梢的生长点生长受阻，叶片缩小密集丛生的症状。在通常的大田栽培上，碱性土壤和土壤中磷过多的情况下会使锌的吸收受到抑制，有可能出现锌的缺乏症状。

若土壤中锌过剩，会发生与铁，铜，钼的拮抗现象，阻碍作物对这些元素的吸收，使得作物生长不良。作物体内锌过剩的话，植株下位的老叶会从叶缘开始枯死，上部的嫩叶则有可能出现与铁的缺乏症状相似的黄白化现象。锌的过剩症状多发生在矿山地带和冶炼工厂附近，或电镀工厂排出的含锌量高的废水混入到灌溉水的耕地上。在日本，有调查报告说水稻在进入幼穗分化期之后锌的过剩会对抽穗和灌浆等造成显著的危害，严重影响稻谷收获量。

3. 铜 (Cu) 的缺乏症状和过剩症状

植物体内的铜多存在于叶绿体中，是与催化光合作用以及氧化还原反应有关的酶的构成成分。铜还与铁一样在呼吸作用中起着重要的作用。铜还影响到与修复外部创伤的酶活性有关。

若缺乏铜，作物的生长点会出现白化现象，叶片不能伸直展开，会形成卷曲变形等畸形，上位嫩叶还会出现叶肉黄化或枯死等症状。图 3 是柑桔的铜缺乏所引起的叶片卷曲和黄化症状。

铜过剩的话，会发生与铁等微量元素的拮抗现象，使得作物对铁的吸收能力受到抑制，出现叶片黄白化等缺铁症状。另外，土壤中铜含量过多，植物吸收了的铜会与蛋白质结合后积储在根部，特别是根的生长点附近和中心柱附近，严重阻碍根的伸长，导致根变得粗短，呈现带刺铁线状。铜的过剩症状在作物的生育初期表现最为显著。图 4 是水耕栽培实验里培养

液中的铜含量过剩的状态下显示出对根的生育产生的有害症状。



图3. 柑桔的铜缺乏症状（叶片卷曲变形）



图4. 铜过剩症状（带刺铁线状根）

4. 锰 (Mn) 的缺乏症状和过剩症状

锰是光合作用，特别是光合作用中的氧化还原反应系统有关的酶的活化剂。叶片中60%的锰存在叶绿体里。锰还与蛋白质的合成有关。

若锰不足的话，叶绿体的发育不完全，叶脉仍为绿色，但叶肉呈污茶色，在叶脉间出现多数褐色的小斑点。严重缺乏锰时，叶会褐化枯死。蔬菜类作物的缺锰症状多出现在上位叶，麦类作物则多在下位叶的叶脉间出现黄白化和褐色小斑点或线状坏死。图 5 是因缺锰所引起的马铃薯叶的褐色小斑点症状。

锰过剩的话，会引起苹果的粗皮症和温州桔的异常落叶等症状。苹果的粗皮症多发生在日本东北地区的苹果栽培地带，温州桔的异常落叶则在西日本的柑桔栽培地区有所出现。此外，黄瓜的褐色叶枯病，茄子的铁锈病也可能与锰过剩有关。图 6 是锰过剩引起的草莓叶片出现的褐色斑点（引自住友化学园艺的资料）。



图5. 马铃薯的缺锰症状（叶面出现褐色小斑点）



图6. 锰过剩引起的草莓褐色斑点

5. 硼 (B) 的缺乏症状和过剩症状

硼在形成细胞壁的过程中起着重要的作用，是形成和维持植物细胞膜和通导组织的重要元素。硼还可以与糖等有机物的羟基反应形成酯键，有促进植物体内糖和钙的吸收，转移和代谢。

若缺硼，则作物地上部的生长点和嫩叶会出现黄化或白化，极度不足的场合甚至会导致生长点枯死和叶停止伸展扩张。新根的发生和伸长亦会受到阻害，细根量减少。萝卜和甘薯之类作物的块茎，块根，球根等地下部的先端会呈黑褐色的枯死症状。图 7 是因缺硼引起的花椰菜生长点枯死，不能形成顶端食用花蕾的症状。

硼过剩的话，则会出现作物生育缓慢，下位叶的叶缘出现干枯，叶缘向叶片背侧弯卷形成类似降落伞状等症状。图 8 是硼过剩引起的黄瓜叶的叶缘干枯，叶片向背侧卷入形成降落伞状的症状。硼的适量浓度范围较窄，含硼肥料施用不当的话，容易出现过剩症状，影响作物生育。



图 7. 缺硼引起的花椰菜顶端不能形成食用花蕾



图 8. 硼过剩引起的黄瓜叶片内卷形成降落伞状

6. 钼 (Mo) 的缺乏症状和过剩症状

钼是参与植物体内氧化还原反应的酶的构成成分。还是硝酸还原酶（将硝酸还原成氮）的构成成分，在氮代谢里起着重要的作用。涉及到根瘤菌的固氮，硝酸还原等生物化学反应。钼是 16 种必须元素中需要量最少的元素。

若钼不足，阔叶植物的下位叶的叶缘会出现向内侧弯卷形成杯状或鞭状叶，禾本科植物则会发生叶片扭转，呈拧扭状。还有可能出现叶脉间的叶肉黄化，植株矮化等症状。但是，植物对钼的需要量极少，土耕栽培完全不会出现缺钼症状。水耕栽培若是使用河水或井水的话，水中含有的钼亦能够满足作物的需求，不必在培养液中特意添加钼。图 9 是用水耕栽培实验来验证钼的缺乏症状时，供试作物的花椰菜上出现的杯状叶（左起 1~4 的叶是缺钼造成的杯状叶，右侧的叶片是比较用的正常叶）。

钼过剩时，作物的叶片会出现黄白化现象，还有报告称钼严重过剩时，马铃薯的小枝会呈红黄色，西红柿会呈黄金色等。但是，植物对钼的耐性相当高，通常的栽培一般不会发生钼的过剩症状。



图 9. 缺钼引起的花椰菜的杯状叶（左起 1~4 是缺钼症状，右侧是正常叶）

必须注意的是，作物出现了微量元素缺乏症状并不表明土壤中微量元素不足。因为作物对微量元素的需要量很小，正常的土壤中的微量元素足够满足作物的需求。在通常的栽培方式下发生微量元素缺乏症状的话，大部分是因为施用了过量的石灰等碱性肥料或土壤改良资材使得土壤偏向碱性，影响了微量元素的溶解度，不能供给作物根的吸收。还有部分原因是因为养分元素之间的拮抗作用导致根对微量元素的吸收受到阻碍。微量元素的用量和浓度，施用方法等较难掌握，不了解土壤中的微量元素含量，滥施微量元素肥料的话，反而会诱发微量元素过剩症状，对作物生长带来不良影响。

有部分肥料厂家竭力宣传自家生产的复合肥添加了微量元素，具有可以大幅度地促进作物生长，提高肥效等效果。实际上在复合肥的生产中添加微量元素的做法有很大的缺陷。其理由是：① 微量元素容易与其他肥料成分，特别是与磷发生化学反应，形成难以被作物吸收利用的难溶性化合物。② 微量元素的添加量非常少，理论上是没有问题，但在实际操作中不可能将其均匀地分散到原料里，造粒后的肥料产品颗粒中的微量元素含量不均，容易在局部上造成过剩。因此，这些声称含有微量元素的复合肥不一定能够起到补充土壤中的微量元素的作用。在 BB 摻混肥中加入微量元素颗粒的方法肯定会造成局部土壤的微量元素过剩，若掺入大量含有铜，锰元素颗粒的话，还有可能造成局部土壤的重金属污染，必须加以注意。

补充微量元素的最好办法是施用过磷酸钙，钙镁磷肥，硅钙肥，腐殖酸肥料，白云石粉，贝壳粉等含有多量微量元素的肥料或用这些肥料为原料的复合肥。另外，堆肥等有机肥料也含有一定的微量元素，还有养土造地的效果，可以大量施用。