

File No. 56

培养液栽培和螯合微量元素

铁，锰，铜之类的微量元素虽然在植物体内的数量极少，但直接涉及到酶的活性，植物激素的生成和作用，光合作用的进行和合成产物的流转等植物体内许多化学反应和生理作用，是植物生长必不可缺的元素。微量元素不足时植物会表现出相应的缺乏症状，给植物生长带来不良影响。

因为土壤里或多或少都会含有这些微量元素，所以栽培在耕地上的农作物，除了强酸性或碱性土壤之外，一般不容易出现缺乏微量元素的情况。但是，使用培养液进行栽培，特别是不使用固体培养基的水耕栽培，包括微量元素在内的作物生长所需的养分全都要依靠培养液供应。若培养液只含有氮磷钾之类的多量和中量元素，没有微量元素的话，在很大的概率上会出现微量元素缺乏症状，影响作物的生长。

植物生育所需的微量元素共有 6 种，通常，在培养液中只添加需要量较多的铁，锰，硼这 3 种元素，而需要量极少的锌，铜，钼这 3 种元素则可以通过用于配置培养液的水中所含的来补充。但也有全部添加这 6 种微量元素的培养液配方。表 1 是日本常用的培养液栽培配方中的微量元素浓度。

表 1. 日本常用的培养液栽培处方中的微量元素浓度 (ppm)

微量元素	园艺试验场标准配方	大塚化学 A 配方	大塚化学 B 配方	大塚化学 C 配方
铁(Fe)	3.0	2.7	2.85	2.7
锰(Mn)	0.5	1.5	1.0	1.5
锌(Zn)	0.05	0	0.04	0
铜(Cu)	0.02	0	0.02	0
钼(Mo)	0.01	0	0.02	0
硼(B)	0.5	1.5	1.0	1.5

培养液栽培所用的微量元素按照其化学性质可分为无机系和有机系（螯合物）二大类。无机系大体上是微量元素的硫酸盐或硝酸盐，其特点是元素含量高，价格便宜。但这些无机盐类溶解到水里形成离子后，容易与其他肥料养分发生反应，有可能生成难溶性沉淀，影响作物对微量元素的吸收利用。另外，微量元素的硫酸盐溶解后生成的硫酸离子最容易与其他肥料养分，例如钙和镁，生成难溶性的硫酸盐沉淀。

经验过使用培养液栽培的人士一般都知道，在调制培养液时，投入无机系微量元素后培养液肯定会出现短暂的白浊现象。这是微量元素与其他成分发生反应生成难溶性化合物的表现。特别是微量元素中的金属元素铁，锰，铜，锌最容易与磷酸离子反应生成难溶性的磷酸盐类，使得这些微量元素不能被作物吸收利用。

即使是不含磷的培养液，微量元素离子也会随着时间的推移，逐渐与水电离出的氢氧化物离子 (OH^-) 结合，生成氢氧化铁，氢氧化铜，氢氧化锌等碱性氢氧化物沉淀。一旦生成了

氢氧化物沉淀，就不会再度溶解，失去了微量元素的作用。图 1 的相片 A 是添加到培养液里的硫酸铁被水中的溶氧所氧化，再与氢氧化物离子结合成为黄褐色的氢氧化铁沉淀以及与磷酸离子反应生成黄色的磷酸铁沉淀的相片。必须注意的是，该实验是为了使生成的氢氧化铁和磷酸铁沉淀更为显眼而添加了过量的硫酸铁，并不表示通常所用的培养液也会出现同样程度的沉淀。

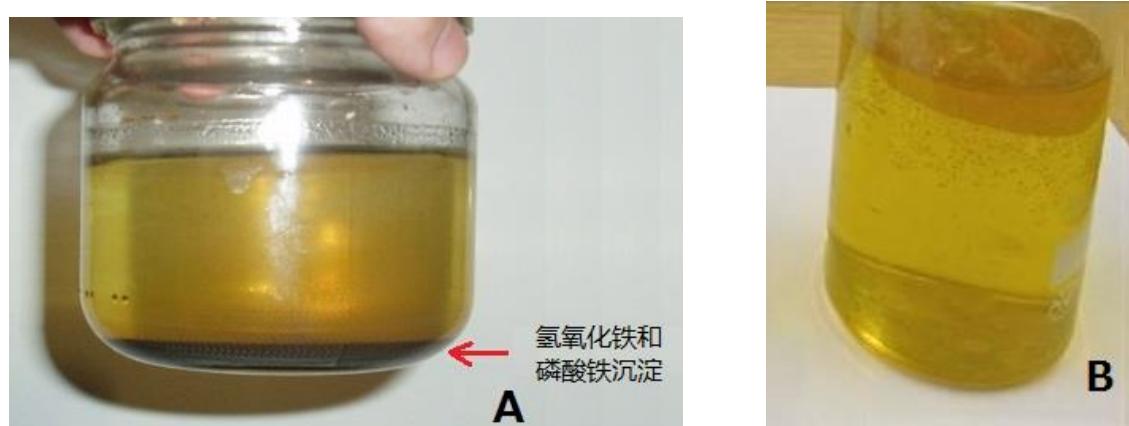


图 1. 添加到培养液中的硫酸铁与 EDTA-铁的比较

A : 硫酸铁溶解后反应生成氢氧化铁和磷酸铁后产生的沉淀。

B : EDTA-铁不会与培养液中的成分反应，所以没有沉淀物出现。

一旦发生反应形成沉淀后，培养液中的微量元素浓度会大幅度下降。使用这样的培养液有可能会诱发微量元素缺乏症状。因此，若是使用无机系的微量元素硫酸盐或硝酸盐时，多采用将微量元素另行溶解，在施用时才将微量元素溶液混合到培养液里的方法来减少微量元素的沉淀。

为了避免出现反应沉淀，影响微量元素的效果，在日本，培养液栽培所使用的微量元素绝大多数是有机系的螯合金属化合物。

所谓螯合金属化合物 (Chelating metal compounds)，是指 EDTA 之类螯合剂的分子给金属离子供与电子，使其以配位键的方式结合在螯合剂分子上形成的有机态金属化合物(图 2)。与螯合剂结合了的金属离子作为螯合剂分子的一部分存在于溶液中，不会脱离形成离子与其他离子发生反应，所以不会产生沉淀 (图 1-B)。

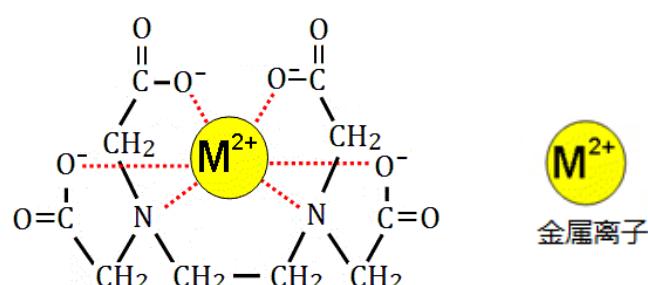


图 2. EDTA 与金属离子发生配位结合，形成螯合金属化合物的模式图

螯合剂主要有 EDTA（乙二胺四乙酸，Ethylenediaminetetraacetic acid），DTPA（二乙烯三胺五乙酸，Diethylene Triamine Pentaacetic Acid），EDDS（乙二胺二琥珀酸，Ethylene Diamine Disuccinic Acid），NTA（次氨基三乙酸，Nitrilo Triacetic Acid）等。但是 DTPA 和 EDDS 因为原料和合成工序的原因导致价格高昂，NTA 虽然廉价，但螯合后的稳定性较差，所以培养液用的螯合微量元素基本上都是 EDTA 系的金属化合物。图 3 是市面上销售的用于培养液栽培的 EDTA 微量元素肥料。



图 3. 培养液栽培用 EDTA 微量元素肥料

与无机系的微量元素硫酸盐或硝酸盐相比，EDTA 微量元素肥料的价格要高出数 10 倍，是培养液栽培肥料中单价最贵的原料。但是，培养液中的微量元素浓度非常低，只是数 ppm，只需极少的添加量即可。与作物的微量元素不足引起的减收和有可能在液肥储槽和输液管道上形成沉淀等方面来考虑，使用 EDTA 微量元素的性价比要比使用无机系的微量元素硫酸盐等要高出很多。

作物对 EDTA 微量元素的吸收是通过根释放出的根酸进行的。根酸是有机酸，它的羧基 ($-COOH$) 会放出氢离子 (H^+) 与螯合在 EDTA 上的微量元素之间进行离子交换，将金属离子从 EDTA 上离解出来后直接被根吸收利用。

另外，微量元素中的硼不是金属元素，溶解后以阴离子的状态存在于培养液中。钼虽然是金属元素，但都是以氧化物的钼酸盐状态存在，溶解后亦是形成阴离子，不会与同样是阴离子的磷酸离子，氢氧化物离子发生反应而出现沉淀。所以，这 2 种微量元素都是使用无机的硼酸，钼酸铵或钼酸钠来添加到培养液里。