

## File No. 14

## 肥料成分的水溶性，可溶性和枸溶性

氮磷钾三大元素和一些中量，微量元素是植物生长必不可缺的元素。在农业生产上这些元素被称之为养分。通常，耕地土壤中的养分并不能完全满足农作物生长的需求，要获得更多的收获量就必须从外部补充不足的养分。这些从外部供给的含有丰富的植物生育所需养分的物质就是肥料。

植物根从土壤中吸收水分是依靠渗透压，吸收养分则是利用根细胞膜上的特殊蛋白质形成的离子通道 (ion channel) 和离子转运蛋白 (ion transporter) 来进行。顾名思义，根细胞膜上的离子通道和离子转运蛋白只能通过离子态的物质，所以植物基本上只能吸收离子态的养分。换句话说，施入土壤里的肥料养分必须溶解在水中变成离子态后才能被作物吸收利用。

根据肥料成分的溶解特性，可以将其分为水溶性，可溶性和枸溶性三大类。

**水溶性成分：**指可以溶于水的肥料成分。水溶性成分可以简单地溶解于水中形成离子，是能够迅速地被作物吸收利用的养分。

**可溶性成分：**指不溶于水，但可以溶解于某些指定溶液中的肥料成分。日本肥料管理法律所规定的可溶性肥料成分只有4种。可溶性磷是指能够溶解于 pH9.6 的柠檬酸铵溶液的磷成分，可溶性硅是指能够溶解于 0.5M 盐酸或 0.5M 氢氧化钠溶液的硅成分，可溶性镁是指能够溶解于 0.5M 盐酸溶液的镁成分，可溶性锰则是指能够溶解于 0.5M 盐酸溶液的锰成分。

**枸溶性成分：**指不溶于水，但可以溶解于 2% 的柠檬酸溶液 (pH 约 2.1) 的肥料成分。该 pH 值与植物根分泌释放到根圈土壤中被统称为根酸的各种有机酸的 pH 相似，所以枸溶性成分是可以被植物根酸溶解成离子态后加以吸收的养分。

在肥料史上，可溶性成分的概念来自于对过磷酸钙的评价。过磷酸钙除了含有水溶性的磷酸一钙 ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ) 之外，还含有不溶于水的磷酸二钙 ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ )。在栽培实验中发现虽然磷酸二钙不溶于水，但其肥效却与可溶于水的磷酸一钙基本相同。为了正确地评价磷酸二钙作为肥料的价值，德国的 Petermann 开发出了使用柠檬酸铵溶液来确认肥料中有效磷成分的评价手段，称之为可溶性磷。后来日本又增加了可溶性硅，可溶性镁和可溶性锰的评价指标。

肥料种类不同，其溶解性能也会有差异。按照日本的肥料管理法律规定，日本市面上销售的肥料在包装袋上都必须印刷有「生产者保证票」或「输入业者保证票」，在保证票的保证成分含量的栏内一定会记载有「水溶性 XX」，「可溶性 XX」或「枸溶性 XX」等文字来表示肥料成分的溶解性。表 1 是常用化肥的有效成分含量和溶解性能的一览表。

表 1. 常用化肥的各种成分特性表

肥料名称	有效成分	有效成分含量	溶解性	特征
尿素	尿素	脲态氮 46%	水溶性	容易流失，被土壤微生物氨化成铵离子后被吸收。

硫酸铵	硫酸铵	氨态氮 21%	水溶性	吸收后残留硫酸根
氯化铵	氯化铵	氨态氮 25%	水溶性	吸收后留下的氯根容易流失，不易残留在土壤里
硝酸铵	硝酸铵	硝态氮 17% 氨态氮 17%	水溶性	硝态氮容易流失
石灰氮	氰氨化钙	总氮 21%， 碱分 50~55	可溶性（分解）	碱性，可被土壤吸附不易流失，具有杀虫杀菌灭草的农药效果
硝酸钙	硝酸钙	硝态氮 11%	水溶性	含有水溶性钙，硝态氮容易流失
磷酸一铵 (MAP)	磷酸二氢铵	氨态氮 10% 磷 51%	水溶性 部分可溶性	
磷酸二铵 (DAP)	磷酸氢二铵	氨态氮 18% 磷 46%	水溶性 部分可溶性	
过磷酸钙	磷酸一钙，磷酸二钙	可溶性磷 18% 其中水溶性磷 15%	水溶性 可溶性	水溶性磷容易被土壤固定
重过磷酸钙	磷酸一钙，磷酸二钙	可溶性磷 44% 其中水溶性磷 38%	水溶性 可溶性	水溶性磷容易被土壤固定
钙镁磷肥	磷与硅，钙，镁的共熔物	磷 20%，镁 15%， 硅 20%	磷和镁是枸溶性，硅是可溶性	碱性，不易流失
双烧磷镁肥	磷，钙镁的化合物	磷 35% 镁 4.5%	磷是水溶性和可溶性，镁是枸溶性	速效磷和缓效磷的混合物
氯化钾	氯化钾	钾 60%	水溶性	
硫酸钾	硫酸钾	钾 50%	水溶性	
硝酸钾	硝酸钾	硝态氮 13% 钾 46%	水溶性	硝态氮容易流失
硅酸钾	钾与硅，镁的共熔物	钾 20%，硅 30%， 镁 4%	钾和镁是枸溶性，硅是可溶性	碱性，不易流失
包膜肥料	使用硫磺或树脂在尿素或其他肥料颗粒上形成薄膜层	根据被包膜的肥料成分和含量而异	肥料成分是水溶性，但受包膜影响成为缓释性	肥料成分的溶出速度受到包膜的控制
化学性缓释氮肥	尿素与醛的化合物	根据醛的比例而不同	难溶于水，但可缓慢地加水分	肥料成分的溶解速度受化合物的分解速度

			解放出尿素	控制
消石灰	氢氧化钙	碱分 65	可溶性	强碱性，多作为调节土壤 pH 资材
石灰石粉	碳酸钙	碱分 53	可溶性	调节土壤 pH 资材
苦土石灰 (白云石粉)	碳酸钙，碳酸镁	碱分 55， 镁 15%	钙是可溶性，镁是可溶性和枸溶性	调节土壤 pH 资材
硫酸镁	硫酸镁	镁 25%	水溶性	

如上表所示，氮肥除了包膜肥料和化学性缓释肥料之外，基本上都是水溶性成分。磷肥则多数是水溶性的，但也含有部分可溶性的成分，亦有钙镁磷肥之类的枸溶性磷肥。钾肥则除了枸溶性的硅酸钾之外，全部都是水溶性。其他中量·微量元素则根据肥料种类亦可分为水溶性，可溶性和枸溶性。

因为作物的根基本上只能吸收离子态的养分，所以可从肥料成分的溶解性来判断该肥料是速效性还是缓效性。一般来说，水溶性肥料的溶解性最高，属于速效性肥料，施用后数日内就可以观察到肥效。枸溶性肥料和可溶性肥料则肥效缓慢，这 3 种成分的肥效出现的顺序是水溶性>枸溶性≥可溶性。

水溶性肥料具有肥效快的特点，但溶解后的离子态养分，特别是硝酸离子之类阴离子系的养分容易随降雨或灌溉水而流失，肥效的持续时间很短。离子态的养分还可能与其他离子态的元素结合生成难溶性化合物，难以被作物吸收利用。枸溶性肥料和可溶性肥料不溶于水，不易流失。特别是枸溶性肥料若没有被作物或土壤微生物吸收的话，基本上不会流失，可以残留在土壤里数年之久。图 1 是植物根的水分和养分吸收机理示意图。

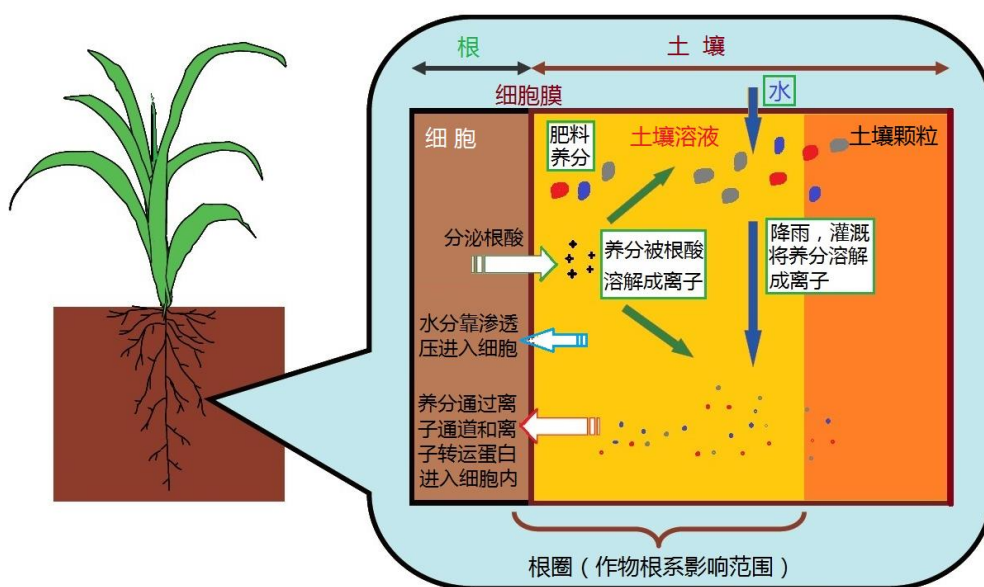


图 1. 植物根的水分和养分吸收机理示意图

既要满足作物的养分需求，达到增产增收的目的，又要减少施肥成本的最好办法就是提高肥料的利用率。所以在施肥时需要考虑到土壤种类，作物种类和作物的生长阶段来选择合适的肥料种类和施肥量。在日本，通常是参考下面的基准来进行选择。

1. 基肥因为要负担较长时间不断地给作物供应养分的责任，所以适宜使用可溶性和枸溶性成分的肥料。若是水稻，玉米，小麦等生长期较长的大田作物，则适合使用包膜肥料和化学性缓释肥料作为基肥，可以减少追肥次数或省去追肥。追肥因为是用于及时补充作物生长不足的养分，需要能够迅速发挥出肥效，所以只能选择水溶性成分的肥料。

2. 砂质土壤保肥能力弱，水溶性成分容易溶脱流失，应优先选择化学性缓释氮肥和枸溶性或可溶性磷肥。粘质土，特别是重粘土虽然对肥料养分的吸附能力强，不易溶脱流失，但磷固定能力大，可将磷酸离子固定成难溶性磷化合物，减少土壤中的有效磷，最好选择枸溶性或可溶性磷肥，氮肥和钾肥则可选择水溶性肥料。

3. 酸性土壤容易出现钾，钙，镁等缺乏症和磷固定，适合施用可溶性和枸溶性肥料。碱性土壤会削弱作物根分泌出的根酸的溶解能力，降低可溶性和枸溶性成分的吸收利用率，所以尽量避免使用可溶性和枸溶性肥料。

4. 水田因为长期保持灌溉状态，水溶性成分容易溶脱流失，最适合使用包膜肥料作为基肥。因为阴离子不被土壤吸附，所以不宜使用硝态氮为主的肥料。另外，化学性缓释氮肥中的脲甲醛和脲乙醛需要好气性土壤微生物进行分解才能够释放出养分，在冠水状态下分解速度受到抑制，一般不适合用于水田。