

## 硫磺包膜肥料

硫磺包膜肥料是使用熔融的液体硫磺在肥料颗粒表面覆盖上一层硫磺薄膜的物理型缓释肥料。为了控制肥料成分的溶出，在硫磺层上再覆盖了一层分解性密封材料（石蜡或聚氨酯）。硫磺包膜肥料主要是硫磺包膜尿素，也有部分硫磺包膜复合肥，但因为复合肥的颗粒表面不够光滑，包膜容易出现质量问题，加上复合肥中的磷和钾一般不需要缓释性处理，所以硫磺包膜复合肥的生产量和销售量并不多。

1961 年，美国田纳西河流域开发公社（TVA）的肥料研发中心（NFDC）开发出了硫磺包膜尿素。1967 年开始商业化生产，正式作为缓释性肥料使用在作物上。日本是在 1980 年代由三井东压肥料公司（现在的 SUNAGRO 公司）引进了其技术，开始生产和销售。现在，日本国内只有 SUNAGRO 公司的富山工厂生产硫磺包膜尿素和硫磺包膜复合肥。

硫磺薄膜肥料因为生产成本低，肥料成分溶出后留下的包膜容易粉碎，不会引起土壤污染。加上硫也是植物的必须元素之一，可以补充土壤中不足的硫养分。在美国和中国，硫磺包膜尿素是物理型缓释肥料中生产量和使用量最多的肥料。日本因为以水稻栽培为主，而硫磺包膜肥料不适合施用于水田，所以生产量和使用量并不多，主要用于某些特定的蔬菜栽培上。

### 1. 构造和性质，缓释性的评价

硫磺包膜肥料是将硫磺加热熔融后，将其覆盖在肥料颗粒表面的肥料。因为熔融硫磺的流动性差，为了能够形成完美的包膜，需要肥料颗粒表面光滑，尽量为球状，所以主要是用于包膜尿素。硫磺包膜层形成后，需要在硫磺包膜层的上面再加上一层由石蜡或聚氨酯为材料的分解性密封材料层。另外，为改善包膜肥料颗粒的流动性，还需要添加少量的矿物质微粉。硫磺包膜肥料的结构和肥料成分溶出模式如图 1 所示。

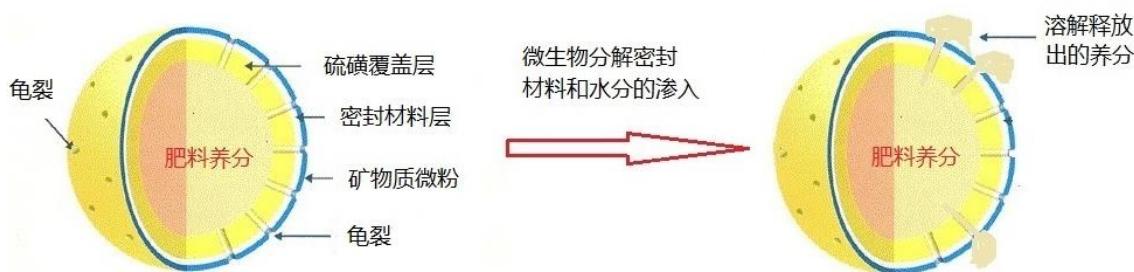


图 1. 硫磺包膜肥料的结构和肥料成分溶出模式图

硫磺具有因温度变化而发生结晶相转变的特性，从熔融状态冷凝变成固体状态时会发生结晶相的转变。液体硫磺在凝固时先是形成单斜结晶，当温度降到 95.6°C 以下时则发生单斜结晶向斜方结晶的转移。在结晶相转移时因应力而在硫磺包膜上出现许多微小的龟裂。外部水分可由这些龟裂渗入包膜内将肥料成分溶解后再经龟裂溶出到包膜外面。为了封闭这些龟裂和控制溶出速度，需要在硫磺包膜层外再加上一层分解性密封材料层。

密封材料层通常使用石蜡，但也有采用生物分解性聚氨酯来增强硫磺包膜的耐摩擦性和耐冲击性。

通常，硫磺包膜层的平均厚度为 40~80 $\mu\text{m}$ ，密封材料层厚度为 2~5 $\mu\text{m}$ 。常见的硫磺包膜尿素的各种成分重量比率是尿素 74~83%，硫磺 13~20%，密封材料 2~4%，防结块剂等 0.5~2.5%，含氮量 34~38%。

硫磺包膜肥料施用后，最外层的密封材料会被土壤微生物分解而消失，土壤水分可以通过硫磺层的龟裂渗入到包膜内将肥料溶解，溶解后的肥料溶液则通过硫磺层的龟裂溶出到土壤里。肥料成分的溶出速度受到密封材料的分解速度和从龟裂渗入的水分量支配。一般来说，密封材料层越厚则所需的分解时间就越长，肥料成分的溶出就越迟，硫磺包膜层越厚则单位时间的水分渗入量越少，肥料成分的溶出时间就会拖得越长。

硫磺薄膜肥料的溶出类型只有直线型，其累计溶出量呈近似直线。不存在 S 曲线型的溶出模式。

硫是植物生长所需的必须元素之一。硫磺是纯粹的硫，硫磺包膜肥料在肥料成分溶出后会自然地破碎成粉状，经过微生物的作用以及化学反应氧化成硫酸离子 ( $\text{SO}_4^{2+}$ ) 后被作物和土壤微生物吸收利用，不会造成环境污染。

硫磺包膜肥料主要是硫磺包膜尿素，只有少量是硫磺包膜复合肥。硫磺包膜肥料主要是作为 BB 摻混肥的原料，还有部分硫磺包膜复合肥是单独施用的。

## 2. 用途和效果

配合了硫磺包膜肥料的 BB 摻混肥作为省力化一次性肥料主要用作旱地作物的基肥。单独施用的硫磺包膜复合肥也是用作旱地作物的基肥。尤其对于大葱，蒜头，洋葱，萝卜，茶等需要吸收较多的硫在体内合成含硫化合物的作物来说，硫磺包膜肥料可以提供充足的硫养分，能够提高收获物的品质，是比较理想的肥料。

硫磺包膜肥料还有这样的特点。当土壤水分少，作物生长和养分吸收量被压制的情况下，硫磺包膜肥料的养分溶出量也少。而当降雨或灌溉后，作物生长加速，养分吸收量增多时，土壤水分多，渗入到包膜内部后增加了肥料成分的溶出量，能够保证作物吸收到足够的养分，提高肥料利用率。特别是玉米和小麦之类需要吸收大量的氮养分的旱地作物最适宜施用硫磺包膜肥料。

但是，因为硫磺在凝固时发生了相转移，导致硫磺薄膜上会出现很多龟裂。当密封材料层被分解后，内部的养分很容易溶出。在湛水的水田里，硫磺包膜肥料很容易在短期内集中溶出，缩短肥效持续时间。肥料成分溶出后的硫磺包膜在缺氧的还原环境下容易生成有害的硫化氢，特别是在缺铁的常年湛水老朽化水田里容易给水稻造成危害。所以硫磺包膜肥料不适宜施用于水田。

## 3. 施用后在土壤中的举动

施用后，硫磺包膜肥料的密封材料层被土壤微生物分解，露出硫磺包膜层上的龟裂。土壤水

分通过包膜上的龟裂渗入到内部，将肥料成分溶解后溶出到土壤里。

影响硫磺包膜肥料的养分溶出速度的因素可分为内因和外因。内因是肥料颗粒的形状和表面平滑度，硫磺层和密封材料层，特别是密封材料层的厚度。肥料颗粒越圆，表面越平滑则硫磺和密封材料的覆盖越完美，包膜的厚度越均一，溶出期间越长，溶出曲线越流畅。密封材料层越厚则土壤微生物分解所需时间越长，养分溶出速度也变慢。硫磺层越厚，水分渗入和肥料溶液的流出就越困难，养分溶出速度越慢，肥效持续时间越长。

外因则是土壤微生物活性，土壤水分和土壤温度。一般来说，在土壤水分多和有机质多的土壤中，密封材料层的分解会加快。土壤温度强烈影响土壤微生物的增殖和活性。在土壤温度 30°C 的条件下密封材料层的分解最快，肥料养分的溶出也会提前。

硫磺包膜肥料的溶出过程和溶出后包膜的分解不会产生有害的分解产物，不会给作物根系带来危害，也不会影响作物对水分和养分的吸收。

通常，硫磺包膜肥料的养分溶出期间是按照硫磺包膜层和密封材料层的厚度而分为 30 天，80 天，120 天等数种产品。

#### 4. 施用上的注意事项

硫磺包膜肥料的养分溶出受到土壤条件和水分的强烈影响，缓释性不太稳定。在施用时需要注意以下的事项。

- ① **避免在水田施用。**因为硫磺包膜上龟裂较多，当密封材料层被分解后，在湛水的水田里，肥料成分很容易在短期内集中溶出，发挥不出缓释性效果。肥料成分溶出后的硫磺包膜在缺氧的还原条件下容易生成有害的硫化氢，特别是在缺铁的长期湛水老朽化水田里容易给水稻造成危害。
- ② **溶出状态受到土壤条件的强烈支配。**养分溶出期间和溶出速度受到土壤温度和土壤水分的强烈影响。在土壤温度 15°C 和 30°C 的条件下，即使是同一产品，其溶出速度亦会出现相差将近一倍的现象。土壤水分不足时养分难以溶出，而土壤水分过多时养分有可能在短期内快速溶出。在选择产品时需要充分考虑季节和降雨等影响土壤温度和土壤水分的因素，以免出现作物养分需求与肥料养分供给不一致的现象，不能充分发挥出硫磺包膜肥料的缓释性效果。
- ③ **不要过分相信缓释性效果。**硫磺包膜肥料的养分溶出受到多种外因的支配，若外部条件不合适，难以发挥出其缓释性效果。施用后，需要时常观察作物的生育状况，若在生育中后期出现养分不足的症状时，需要及时追肥，以保证作物能够吸收到足够的养分。