

File No. 50

肥料的结块及预防

肥料的结块是指肥料颗粒或粉末互相连接融合在一起，形成块状物的现象。通常，肥料的结块不会给肥料的化学成分和养分含量带来变化，但在施肥时会因块状物的存在而导致施用困难，不仅施肥效率低，还会使得施肥不均匀，给作物生长带来不良影响。特别是机械施肥成为主流的现代农业，施肥操作对效率和质量更为重视。即使肥料只是发生了轻度的结块也会直接影响到施肥效率和施肥质量，所以对结块的容忍性更为严格。在日本，有无结块是评价化肥质量的一项重要指标。实际上因为肥料结块问题而需要将其回收废弃处理的事例并不少见。

肥料结块的根本性原因是肥料颗粒的表面存在有游离状态的水分。肥料颗粒出现水分的主要原因有以下 2 点。

- ① 造粒后的干燥不充分，颗粒内部的残存水分缓慢地移动到表面，以水蒸气的状态挥发出来后因密封包装而无法散去，最终成为凝结水留在肥料颗粒表面。
- ② 肥料颗粒具有较强的吸湿性，在流通保管过程里吸收了空气中的水分后凝结出水滴留在肥料颗粒表面。

特别是梅雨和夏季高温多湿季节生产的肥料和长期保存经历了温差大的夏冬季的肥料最容易出现结块现象。另外，开封后的肥料没能一次性施用完，剩下的肥料又没有密封保管，吸收了空气中的水分而结块的情况也很常见。

肥料的结块按其状态可以分为 2 种。一种称为「真正结块」，其状态是形成的块状物很坚硬，即使是施加外力也不能使其破碎回到原来的颗粒状态。结块严重的场合，肥料颗粒形成的块状物基本上看不出原来的肥料颗粒，整个就像一块岩石（图 1）。另一种称为「疑似结块」，可以明显看出肥料颗粒相互嵌合粘结，形成大小不同的块状物，对其施加一定的外力的话，就可以使得块状物破碎恢复回原先的分散颗粒状态（图 2）。

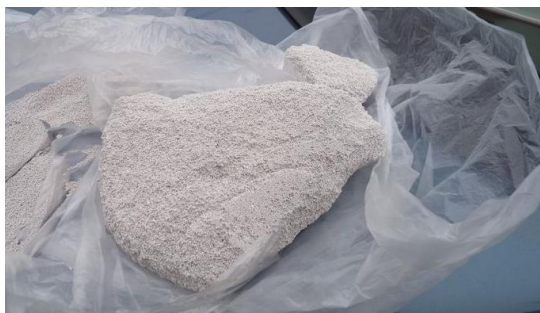


图 1. 流通过程的破袋引起的复合肥结块



图 2. 因重压造成的挤压硫酸铵颗粒结块

真正结块是按照下述机理形成的。

- ① 肥料颗粒表面的游离水分对颗粒表面进行溶解，生成肥料成分的饱和溶液。
- ② 肥料成分的饱和溶液在肥料颗粒之间形成液架桥。

③ 肥料成分的饱和溶液因温度和湿度的变化导致肥料成分再结晶析出，或者是溶液中的肥料成分之间产生化学反应，生成的反应物成为结晶析出。析出的结晶使得颗粒间的液架桥变成了固架桥，将肥料颗粒连接在一起。

④ 肥料成分的溶解和再结晶反复发生，肥料颗粒的溶解面积增大，肥料颗粒之间的固架桥数量和面积不断增加，更加粗大坚固，范围也不断扩大，逐渐形成具有坚硬内部的大型块状物。

图 3 是肥料的真正结块的形成模式图。



图 3. 肥料真正结块的形成模式图

疑似结块是肥料颗粒相互嵌合而产生的现象。这是保管时的堆积重量等外力造成颗粒相互密切接触而出现嵌合，嵌合位置的摩擦力和范德华力，表面粘合力等维持了颗粒的嵌合状态。与真正结块不同，疑似结块的各个颗粒之间基本上没有液架桥和固架桥。图 4 是疑似结块的形成模式图。容易变形的颗粒，粒径小的颗粒，形状不规则的颗粒，小颗粒和粉末多的肥料容易发生疑似结块。特别是长期保管，上面堆积压重过大的情况下更容易发生。

疑似结块只要从外部施加一定的压力或敲击就可以改变或解除颗粒之间的嵌合，使得结块物破碎回到原先的颗粒状态。疑似结块只要将其破碎，就可以和正常的肥料一样施用，不会给施肥作业造成障碍。

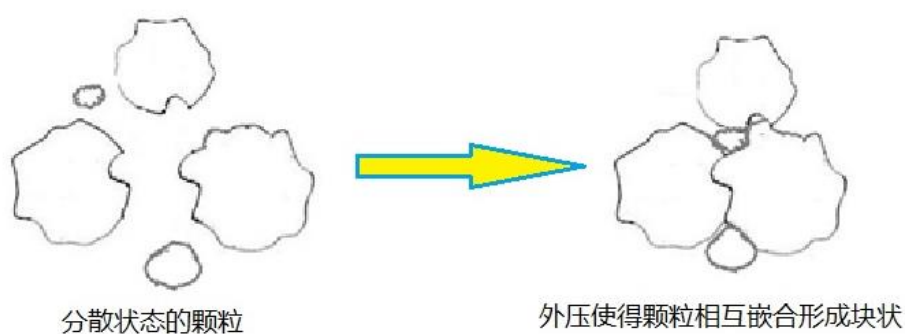


图 4. 肥料疑似结块的形成模式图

诱发肥料结块的原因可以分为内部原因和外部原因。内部原因有肥料的含水率，吸湿性，颗粒形状等，外部原因有大气的相对湿度，产品包装时的温度，保管时的堆积高度（堆积重量）和保管期间，流通过程的破袋等。必须注意这些原因通常是综合引起结块的，单独作用的场合并不多。

如果无视外部原因，只是从内部原因来看的话，肥料的结块性有以下的倾向。

- ① 单肥的结块性： 硝酸铵 > 尿素 > 氯化铵 > 硫酸铵 > 磷酸二铵 > 氯化钾 > 过磷酸钙 = 重过磷酸钙 > 硫酸钾
- ② 复合肥的结块性： 高度复合肥（氮磷钾含量合计超过 30%） > 普通复合肥（氮磷钾含量小于 30%）
- ③ 复合肥中的不同氮素成分的结块性： 硝酸铵系复合肥 > 尿素系复合肥 > 氯化铵系复合肥 = 硫酸铵系复合肥
- ④ 颗粒形状的结块性： 粒径小粉末多 > 粒径大粉末少
形状不规则，表面粗糙的颗粒 > 颗粒圆，表面光滑的颗粒

对于肥料工厂来说，防止结块的基本手段就是消除上述的结块原因。具体手法有，

- ① 在设计复合肥和 BB 掺混肥的配方时，除了要知晓各种肥料原料的临界相对湿度，还要掌握肥料原料混合后的临界相对湿度的变化，在起点上就尽量降低产品的吸湿性。
- ② 在复合肥造粒后的干燥工序上严格控制干燥温度和时间，普通复合肥的含水率应控制在 1.5% 以下，使用尿素或硝酸铵为原料的高度复合肥更应该将含水率控制在 1.0% 以下，最好是控制在 0.5% 以下，以减少产品本身的水分。
- ③ 造粒时尽量使颗粒的粒径均一，颗粒表面圆滑。干燥前或干燥后筛分除去粉状物和小颗粒。
- ④ 使用透湿性低材料作为包装袋，包装时实施脱气包装，限制肥料堆积高度，避免在室外长期堆放保管。

若因为设备上或技术上的原因，以及经济上的原因，不能采取上述的措施的话，可以考虑添加防结块剂来防止结块。现实中，防结块剂在防止尿素，硫酸铵和复合肥结块上已经得到广泛的应有，发挥出一定的效果。

防结块剂按照其成分和性质可分为有机类防结块剂和无机类防结块剂，按照其作用机理可分为化学性防结块作用和物理性防结块作用。通常使用的防结块剂有有机类的硅胶，滑石粉，粘土矿物粉，微硅粉等，无机类的矿物油和界面活性剂。

无机类防结块剂基本上是微粉状物质。其防止结块发生的机理是，防结块剂的粉末粘附在肥料颗粒表面，可以阻碍液架桥的出现。即使是出现了液架桥的再结晶导致形成固架桥，固架桥也多数是在防结块剂粉末之间形成，容易崩坏。无机类防结块剂的优点是价格便宜，添加使用简单。缺点是添加量过少的话，不能发挥出防结块的效果。通常，无机类防结块剂的添加量需要达到 3% 以上。过高的添加量还会导致肥料养分的低下和施肥时粉尘飞散。

硅胶是无机类防结块剂中的异类。硅胶是干燥剂，具有很强的吸湿作用，可以吸收肥料散发出的水蒸气，防止在颗粒表面形成凝集游离水分。硅胶还是球状颗粒，混合在复合肥和 BB 掺混肥里不会有粉尘的发生。特别是 A 型硅胶在低湿度的环境下也能够发挥出强大的吸湿能力，在相对湿度 20% 的环境中能够吸收自身重量 10% 的水分，相对湿度 80% 的环境中能够吸收自身重量 34% 的水分，而且吸收了的水分不会再度放出，是非常优秀的固体无机类防结块剂。通常，在复合肥或 BB 掺混肥中添加 0.5% 的 A 型硅胶就可以得到很好的防结块效果。

有机类防结块剂通常是矿物油和界面活性剂等液体物。其防止结块发生的机理是混入到肥

料颗粒表面上出现的肥料成分饱和溶液里，在再结晶析出时影响结晶分子间的凝结力而阻碍结晶的形成，阻止固架桥的出现。特别是界面活性剂具有良好的表面活性，能够均一地扩散到肥料颗粒表面，还可以减少颗粒之间的摩擦力和范德华力，对防止疑似结块也有很好的效果。所以有机类防结块剂多使用界面活性剂。

作为防结块剂使用的界面活性剂是阴离子型界面活性剂和阳离子型界面活性剂这 2 种。非离子性界面活性剂和两性界面活性剂的防结块作用较弱，一般不使用。界面活性剂只需添加 0.05~0.1% 就可以看到明显的防结块效果，添加方法简单，性价比好，从 1980 年代起就开始使用在尿素，硫酸铵和复合肥上，现在成了防结块剂的主流。

肥料种类较多，一种界面活性剂的单独使用的防止结块效果有一定的局限性，通常多是 2 种以上的界面活性剂进行配合使用。另外，界面活性剂和滑石粉，粘土矿物粉等无机类防结块剂同时使用的话，会产生相乘效应，使得防结块效果更加明显。