

File No. 76

为什么大多数肥料都是粒状的？

有没有注意到市面上销售的肥料多数都是粒状的？BB 掺混肥是由颗粒状的肥料原料混合而成，所以成品呈粒状可以理解。但是，尿素，二铵等单独使用的肥料以及复合肥为什么要特意使用造粒设备额外花费人工和费用将其制造成颗粒？

关于这个疑问，首先必须明确粉末和颗粒的概念。从本质上来说，粉末和颗粒都是粒子状的固体物质，只是人的肉眼分辨能力和习惯将这些固体物质粒子按照粒径大小而区分为粉状和粒状而已。通常，粉状物是肉眼难以分辨的微小粒子的集合体，粒状则是肉眼可以逐个分辨的较大粒径的粒子。因此，多以粒子的粒径来区分粉状物和粒状物。粉状物和粒状物的分界线大概是粒径 0.1mm。粒径在 0.1mm 以下的粒子称为粉末，粒径 0.1mm 到 20 mm 左右的粒子称为颗粒，粒径超出 20mm 以上的大粒子则多被称为块状。

实际上大多数的化肥种类在制造合成后呈粉末状或微小结晶。若没有进行造粒的话，最终产品则多是粒径 0.1mm 以下的粉末或 1mm 以下的小结晶。但是，粉状的化肥不适合于保管，销售和施用。为了让化肥能够更加方便地使用于农业生产，提高肥料效果，降低生产成本，肥料厂家特意将化肥制造成粒状物后出售使用。

同一物质的粒状物和粉状物在化学成分上没有差别，但其物理性质则有很大的差异。

1. 表面积不同

表面积是立体物表面的总面积。同一物质同一重量的情况下，粒子越小其表面积的总和就越大。反过来说同样重量的某一物质，其颗粒的粒径越大，形状越圆的话，它的表面积就越小。表面积小的话，也减少了与外界的接触面积。

2. 沉降速度不同

沉降是指固体粒子在空气中或液体中因粒子本身的重量而自然降落下去的现象。沉降速度由重力（粒子的重量）和空气或液体的浮力以及作用于粒子的阻力之间的关系所决定。同一物质的粒子其粒径越大的话，所承受的浮力越小，受到的阻力也越小，沉降速度就越大。就是说粒径大的粒子要比粒径小的粒子更快地降落。

3. 休止角不同

休止角是指在一定的高度上让粒状物自由落下于水平面上堆积为锥体后，堆积物锥体斜面与水平面所形成内角的角度，又称为安息角。休止角与物质比重，颗粒的表面积和形状，颗粒间以及颗粒与水平面间的摩擦系数有关。通常，同一物质的粒径越大，粒子越圆的话，它的休止角就越小，流动性就越大，不易互相粘附和堆积。

4. 硬度不同

硬度是指固体材料抗拒永久形变的特性，是材料抵抗外部压力，使材料不至于变形损伤的

能力。硬度是固体对外界物体入侵的局部抵抗能力，是比较各种材料软硬的指标。粉状物因为颗粒微小，外界硬物入侵时立即分散崩毁，其硬度几乎为零。粒状物具有一定的硬度，对外界的压力有一定的抵抗能力。化肥颗粒的硬度因肥料种类和造粒方法而异，大概在 $0.5\sim 6\text{kg}/\text{cm}^2$ 之间。

如上所述，固体颗粒的粒径的大小对其物理性质有较大的影响，在农业生产上将肥料制成颗粒状有以下的好处。

1. 提高施肥效率

现代化农业的特征是大规模农业。作为支撑现代化农业的支柱除了农业机械和良种，灌溉设备之外，化肥也起着非常重要的作用。特别是最大程度地提高农作物产量的关键在于能否按照农作物的生长情况和养分要求按时按需施用化肥，给农作物提供必须的养分，促进农作物生长发育。

肥料的施用方式可分为人工散布和机械撒布。人工散布是通过人手将肥料撒到耕地上，肥料的形状是粉状还是粒状在施肥效率上没有太大的区别。机械撒布则是通过动力将肥料高速大面积地撒放到耕地上，粒径微小的粉状肥料撒布距离短，在撒布中会产生粉尘飞散。另外，粉状肥料的休止角大，容易粘附在料仓和撒布器内导致不能精准施肥等。而粒状肥料，特别是粒径均一的圆型颗粒则可以避免这些问题的发生。另外，大型离心式肥料撒播机施肥方式，播种同时深层施肥方式，水稻的侧条施肥方式等先进的施肥技术使用的施肥机械在构造上完全不适于粉状肥料，只能使用粒状肥料。

常见的施肥机械，比如大型离心式肥料撒播机（图 1），条状施肥机，侧条施肥机（图 2）等的施肥效率要比人工散布的施肥效率高出 $5\sim 100$ 倍。提高施肥效率的直接效果就是可以大幅度地节省施肥所需时间，减轻劳动强度，同样的劳动力可以管理更多的耕地，降低生产成本，增加收益。



图 1. 日本松山机械的离心式肥料撒播机



图 2. 三菱农业机械的水稻侧条施肥机

2. 肥料利用效率高

通常使用肥料利用效率这个标准来评价肥料的效果。肥料利用效率是指施用到耕地上的肥料所含有的养分中能够被农作物吸收利用的百分比。其计算式如下：

$$\text{肥料利用效率}(\%) = \frac{\text{收获物中的养分量} - \text{土壤等供应的养份量}}{\text{施用到耕地中的肥料含有的养份量}} \times 100\%$$

在氮，磷，钾三大肥料养分中，氮相当不安定，灌溉和下雨会造成流失，土壤微生物的脱氮作用会使氮还原为氮气逸散到大气中，难以完全被农作物吸收，利用效率并不高。磷容易与土壤中的铁，铝等离子反应生成难溶性的磷化合物而被固定在土壤里，被农作物吸收利用的效率更低。钾可以以离子状态吸附在土壤的粘土矿物上，不易流失，利用效率是 3 大肥料养分中最高的。

通常，肥料中的养分需要溶于水形成离子态后才能被植物的根系吸收利用。养分的溶解速度与肥料和土壤的接触面积以及土壤水分含量成正的相关关系。磷的土壤固定不活化也与肥料和土壤的接触面积有正的相关关系。

粉状肥料的表面积大，施用后与土壤的接触面积也大，其中所含的养分溶解于土壤水分中的速度也快。特别是在降雨和灌溉后，短时间内大量的水分进入到土壤中，会加速肥料养分的溶解。粉状肥料施用后快速溶解出的大量养分来不及被农作物吸收，容易随着地表水的流动和土壤水分向地下渗透而流失，导致肥料利用效率大幅度降低。另外，粉状的磷肥也因为与土壤接触面积大而容易被固定不活化。

与此相比，粒状肥料与土壤的接触面积小，溶解所需的时间长。肥料种类和土壤水分，土壤温度相同的情况下，肥料颗粒的溶解速度，养分的释放速度与颗粒的粒径和硬度成负的相关关系。即是肥料颗粒越大，颗粒的硬度越高，颗粒的溶解速度越慢，养分释放所需的时间越长。有实验结果报告说，在土壤中，不溶性成分少的肥料的溶解速度与粒径成反比例，不溶性成分多的肥料的溶解速度则与粒径的平方成反比例。所以，与粉状相比，粒状肥料的养分释放速度相对缓慢，肥料效果的持续时间长，肥料的利用效率也高。

提高肥料利用效率，不仅可以减少施肥数量，降低施肥成本，还可以控制肥料的流失，减轻因施肥而造成的环境污染。这是减轻肥料对环境影响的最重要和最有效的手段。

3. 不易出现肥料结块现象

肥料结块是指肥料在保管流通的过程中，因某些原因使得肥料粘结成块状物的现象。结块了的肥料在施用时不易散布，不仅降低了施肥效率，还会导致施肥不均，影响农作物对肥料的吸收利用。结块严重时甚至不能施用，只能废弃。特别是使用机械化施肥的现代化农业，对于肥料结块的要求更严格，轻微的结块现象亦会导致施肥不均或不能施肥。所以，肥料结块的有无是评价肥料品质的非常重要的指标。在日本，因为肥料结块而造成整批肥料回收废弃的事例并不少见。

诱发肥料结块的因素可分为内部因素和外部因素。外部因素是大气温湿度和堆积高度，存放时间等。内部因素则是肥料的含水率和颗粒形状。从颗粒形状这个因素来说，粒径大，颗粒圆，表面光滑，粒子均一粉末少的肥料不易结块。其理由是粒径大的粒子与周围粒子的接触面积小，圆型粒子则休止角小流动性好。粒子均一粉末少的话，粒子间的空隙大，相互接触面积更小。这样的粒状肥料即使是发生了粘结，块状物在外力压迫下容易滑动崩坏恢复到分散状态。与此相比，粉状物的粒径小，相互间的接触面积大，加上颗粒形状多是方形或不规则形，容易结块。加上休止角大，流动性不良，结块后外力亦难以将其崩碎回粉状（图 3）。

4. 易于运输和保管

粉状肥料容易飞散，短距离的卡车或长距离的火车运输时的装卸操作麻烦，仓库保管时也容易出现混杂和造成周边污染。在分装小袋时除了容易发生粉尘造成操作环境污染，损害工作人员健康之外，还会因粉尘粘附在袋口上造成封口不良导致内容物泄漏。因此，颗粒状的肥料有利于减轻流通过程的负担和费用（图 4）。



图 3. 硝酸铵的结块



图 4. 肥料仓库

5. 不易出现肥害

肥害的发生都是由于施肥不当，肥料里含有的成分（养分及其他成分和分解物）对农作物造成危害，农作物明显地表现出受害症状。发生肥害的原因大多数是因为施用的肥料养分等极短时间内溶解释放，导致土壤溶液中的浓度急速上升渗透压增大，使得农作物的根系不能从土壤中吸收水分，反而根细胞的水分反渗透到土壤中，造成植株脱水俗称烧苗现象。还有部分是因为肥料粉末粘附在农作物茎叶上，从茎叶中夺取水分造成局部细胞组织死亡。

粉状肥料因为溶解速度快和粘附性强，施用数量，时机或方法不对的话，容易产生肥害。粒状肥料在施肥时肥料颗粒不会粘附在茎叶上，在土壤中的溶解速度也慢，不易出现肥害。

6. 施用时肥料不易飞散

粉状肥料容易在施肥时因风力气流飘散移动。特别是使用大型离心式撒播机等依靠离心力将肥料散布出去的施肥机械，小粒径的肥料或粉状肥料就更容易飘散到远处。将肥料造成粒状的话，每个颗粒的重量增大，不易受气流影响，施用时不会飘散到邻近田地和民居，引起不必要的纷争。

与粉状肥料相比，粒状肥料需要增加造粒工序，成本有所增加。但是，造粒后的肥料在保管流通，施用和肥料效果方面具有更多的优点，足以抵消造粒成本。所以市面上销售的化肥大多数都是粒状的。最近，堆肥，畜粪等农家肥和有机肥也开始出现了造粒后使用的趋向。