

File No. 48

肥料种类与肥料利用率的关系

如何提高肥料利用率是现代农业的一个相当重要的课题。提高肥料利用率不仅可以促进农作物生长，增加收获量，还可以节约生产成本，提高收益，更重要的是可以减少肥料的流失，减轻因施肥造成的环境负荷，有助于保护环境。本书的「施肥时期与肥料利用率的关系」和「施肥位置与肥料利用率的关系」简单地阐述了施用的肥料养分种类和数量必须尽量与农作物的各个生长阶段的养分要求协调一致，以及尽量将肥料集中施用在根圈范围内是提高肥料利用率的非常有效的手段。本篇则从施用后肥料的养分溶解与释放速度的角度来说明肥料种类与肥料利用率的关系。

根据农作物的生长阶段，在其最需要养分的时期供给最合适的肥料是提高肥料利用率的大前提。在日本，肥料形态（种类），施肥时期，施肥位置，施肥次数和数量这些要素有机地构成了整套综合施肥技术。其中，肥料形态（种类）强烈地影响到肥料养分的溶解·释放速度，所以可以通过施用不同种类的肥料来控制调节养分的供给量，以便更好地配合作物的养分需求，以达到提高肥料利用率的目的。

常用的尿素，硫酸铵，磷铵等速效性化肥一旦施入到耕地里，肥料成分很快就会被土壤中的水分所溶解，释放出养分进入到土壤溶液里，使得土壤溶液中的养分浓度急速上升。若土壤溶液中的养分量超出了作物吸收利用量和能够被土壤胶体吸附量，剩余养分就容易出现氨的挥发或脱氮，磷的土壤固定，氮磷钾的溶脱流失等现象。因此，常用的速效性化肥肥效短，肥料利用率低，还会引起土壤劣化和环境污染。特别是施肥不当的话，更容易使氮肥和磷肥的利用率进一步降低。钾肥中的钾离子容易被土壤胶体吸附，不易流失，所以还好一些。

为了解决化肥的溶解释放速度过快，导致肥料利用率下降的问题，1955年德国的BASF公司开始生产和销售脲甲醛（UF）肥料。其后，肥料业界又开发出了异丁醛脲（IB），脲乙醛（CDU），脲基脲（GU）和草酰胺等缓释性氮肥并得到一定程度的普及。这些缓释性氮肥的特点是水溶性很低，需要受到土壤微生物的分解或与土壤水分长期接触才会分解释放出氮养分。因为这些缓释性氮肥的水溶性很低，施入到土壤后不会引起土壤溶液中的养分浓度急速上升，难以发生挥发和脱氮，溶脱流失等，可以提高肥料利用率。另外，因为溶解性低，大量施用也不易出现肥料烧苗现象。

因为化学性缓释氮肥的养分释放速度强烈受到土壤微生物的活性和土壤温度，土壤水分含量所影响，所以难以精确地控制养分释放速度。为了克服这个缺点，在1980年代开发了使用人工合成的树脂为材料的包膜肥料，称为物理性缓释肥料。特别是使用聚烯烃树脂为材料的包膜肥料，其特点是内容物的溶出基本上不受土壤种类，水分含量，pH，土壤氧化还原电位，微生物活性等影响，只是土壤温度和水分可以影响养分的溶出释放的特性，即具有土壤温度和水分依存性，可以精确地控制溶出释放速度，较好地与作物的生理活性和生育特性配合，使得接触施肥和一次性全量施肥成为可能，大大地提高了肥料利用率。

因为化学性缓释肥料和物理性缓释肥料可以调节所含的养分的溶解释放速度，又被称为肥效调节型肥料。肥效调节型肥料的肥料利用率高的理由是，可以进行接触施肥，将肥料施用

到作物根旁，可以使肥料养分的溶解释放量与作物的养分需要量相匹配，减少养分的溶脱和流失，避免土壤固定等造成的损失等。图 1 是普通的速效性化肥和化学性缓释肥料，物理性缓释肥料的养分溶解释放模式图。

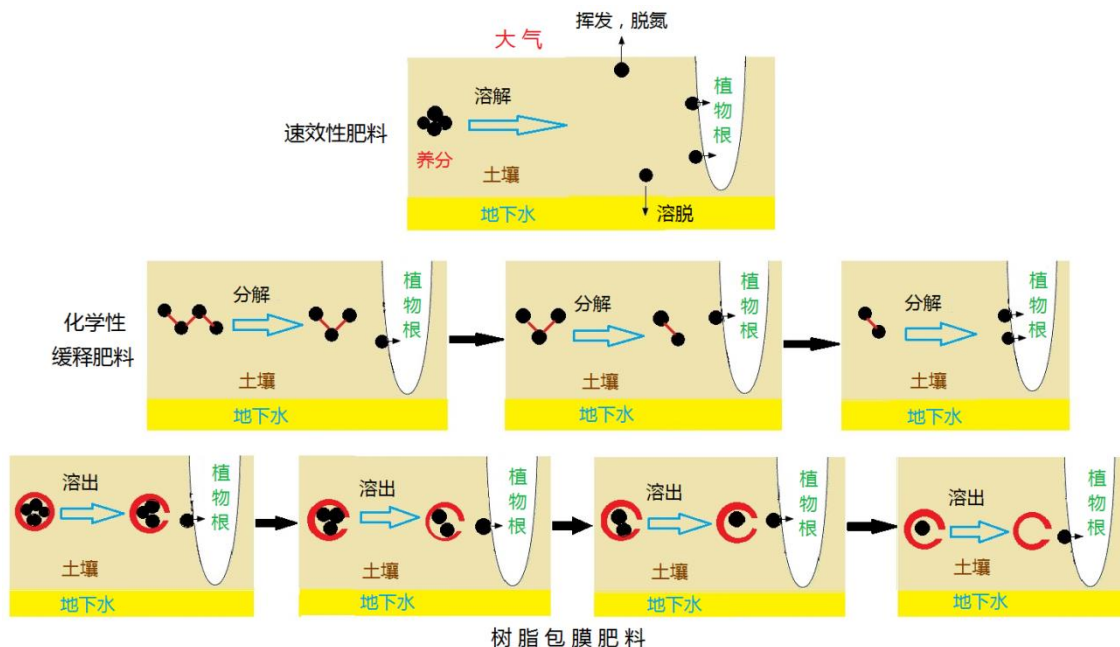


图 1. 速效性肥料，化学性缓释肥料，树脂包膜肥料的养分溶解释放模式图

由于树脂包膜肥料的出现，使得水稻的一次性全量基肥施肥或育苗箱全量施肥，旱地作物的一次性全量基肥施肥和免耕栽培的一次性全量基肥施肥等栽培方式成为可能。有实验结果报告说，在日本东北地区的水稻产地，使用硫酸铵和尿素为基肥的氮肥利用率大概是 30%，使用聚烯烃树脂包膜尿素为基肥的氮肥利用率则上升到 60%，而将水稻栽培所需的氮肥全部使用聚烯烃树脂包膜尿素，一次性地施用到育苗箱里的全量施肥方式则氮肥的利用率可提高到 79%。

还有实验报告指出使用含有脲甲醛等化学性缓释肥料的膏状肥料的水稻侧条施肥方式的肥料利用率有大幅度提高，要比通常的施肥方式减少 20% 的氮肥施用量。

值得注意的是，在尿素等氮肥中添加了脲酶抑制剂和硝化抑制剂的生物稳定性肥料具有抑制土壤微生物的活性，起到减缓土壤中尿素的氨化速度，氨的硝化速度和硝态氮的脱氮等效果，在一定程度上可以提高肥料的利用率。但是脲酶抑制剂和硝化抑制剂并不影响肥料的溶解速度，不能防止肥料成分的流失和溶脱，也不能避免高浓度的养分造成的肥料烧苗现象，所以很难得到肥效调节型肥料所表现出的显著的减肥效果。

钙镁磷肥，硅酸钾等枸溶性肥料因为不溶于水，只溶于弱酸，所以基本上不会出现因降雨或灌溉而导致养分流失和溶脱等现象。但是，枸溶性肥料若没有与作物根分泌出的根酸等酸性物质接触，就不会溶解移动，当然也不会被吸收利用。所以上述的生物稳定性肥料和枸溶性肥料并不归入肥效调节型肥料，仍是属于常用的普通肥料。

表 1 是日本主要使用的肥效调节型肥料的种类和特征。

表 1. 日本主要使用的肥效调节型肥料的种类和特征

种类	肥料名称	特 征
化学性缓释氮肥	脲甲醛 (UF)	受土壤微生物作用加水分解释放出尿素。土壤酸性越大分解速度越快，在碱性土壤和厌气环境中分解速度受到抑制。5M6U 以上的高聚合度脲甲醛基本上不被分解。生产工艺简单，成本低，是化学性缓释肥料中生产量最大的肥料。
	异丁醛脲 (IB)	水溶性非常低，加水分解不需要微生物作用，溶解到水中就会分解释放出尿素。通过造粒后的颗粒粒径来调节溶解释放速度。
	脲乙醛 (CDU)	受土壤微生物作用加水分解释放出尿素。分解速度与土壤微生物活性和土壤温度有关。分解时释放的能量可作为土壤微生物的能源，具有改善土壤微生物相和土壤物理性的功能。
	脘基脲 (GU)	受土壤微生物作用加水分解释放出尿素。分解速度受土壤温度，水分和微生物活性等因素的影响。原料成本高，基本没有得到普及。
	羟乙基尿素	本身是液体，水溶性高，但土壤吸附力强，不易流失。施用后受土壤微生物作用分解释放出尿素。含氮量低，稳定性低，用途仅限于复合肥原料，基本没有得到普及。
包膜肥料	硫包肥料 (SC)	使用硫磺作为包膜材料。包膜最外层的蜡质密封层被土壤微生物的分解后，水分沿着硫磺包膜层的龟裂渗入内部，将养分溶解释放。肥料成分只有直线型的溶出类型。溶出速度受到蜡质密封层的分解速度和透过龟裂进入的水量控制。适用于旱地作物，不适合用于水稻。
	热可塑性树脂包膜肥料	使用聚烯烃树脂为包膜材料。掺入到包膜层里的溶出调节材料被水浸渍后会溶解或膨润崩坏现象，在包膜上形成孔洞。水分从包膜的孔洞渗入到内部将养分溶解释放。肥料成分的溶出类型有直线型和 S 型两种。肥料成分溶出后留下的空壳成为环境问题。
	热硬化性树脂包膜肥料	使用聚氨酯树脂，醇酸聚脂树脂等热硬化性树脂为包膜材料。包膜受水分和湿度，紫外线等的影响而劣化，在包膜层上产生龟裂。也可以在包膜材料里添加滑石粉，粘土矿物或金属皂作为溶出调节材料，通过水分作用在包膜上形成孔洞。水分从包膜的龟裂或孔洞渗入到内部将养分溶解释放。肥料成分的溶出类型有直线型和 S 型两种。因为包膜的劣化或溶出调节材料的溶解，膨润和崩坏需要水分，所以多施用于水田。肥料成分溶出后留下的空壳会逐渐劣化崩毁，不会长期残留下来。

有机肥料是使用动植物残骸和排泄物等制作的肥料。施用后需要经过土壤微生物的分解才能释放出养分来供给作物吸收。有机肥料还含有微量元素，可以满足作物的需求，提高收获

物的质量。大量施用有机肥料还可以促进土壤微生物的繁殖，改善土壤生物相。但是，有机肥料的成分和分解速度多数都处于不明状态，很难配合作物的生长而释放出适宜的养分来供给作物吸收利用。家畜养殖场排放出的粪尿排泄物含有大量的抗菌素和激素，城市排放的垃圾可能含有过剩的盐分和重金属，若不能在有机肥的生产过程中进行确切的管理的话，生产出来的有机肥质量得不到保证。另外，有机肥含有大量的有机物，容易繁殖病原微生物和害虫。特别是未腐熟的植物系有机堆肥施用到土壤后容易出现氮饥饿现象，与作物争夺氮养分。有机肥在土壤中分解时产生的有机酸和分解造成的缺氧环境会对作物根带来不良影响。因此，有机肥虽然不是速效肥料，但也不可能起到与化学性缓释肥料，包膜肥料同等的具有肥效调节机能的作用。

因为肥效调节性肥料的养分溶解释放速度缓慢，肥效出现迟，在施用时需要注意以下事项，以免影响肥效。

- ① 肥效调节型肥料的溶解释放速度强烈受到土壤温度的影响，低温时的养分溶解释放速度会变得迟缓，施用时必须注意地温。
- ② 若需要速效性时，必须混合速效性肥料一起施用，以免土壤养分短期不足，影响作物生长。
- ③ 肥效调节型肥料价格要比常用的速效性化肥贵，肥料成本会上涨。但是使用肥效调节型肥料可以减少施肥次数和施肥量，包括施肥人工在内的施肥成本二者之间没有大的差异。
- ④ 肥料成分的溶出类型有直线型和 S 型 2 种，溶出速度和时间也有相当多的种类，需要考虑如何选择最适的组合。没有经验的话，可以向农业指导员或经验人士请教，不能随意施用，以免得不到预定的结果。

许多研究表明，与常用的速效性化肥相比，肥效调节型肥料的肥效维持时间长，对土壤和环境的影响也小，特别是氮肥的减肥率可达 10~30%。换句话说，肥效调节型肥料的肥料利用率要比常用化肥高出 10~30%。日本政府的农林水产省也推荐在水稻和露地蔬菜的栽培上使用肥效调节型肥料。关于农林水产省对肥效调节型肥料的评价可以参考以下的网页。

http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/nenyu_koutou/n_kento/pdf/2siryo1.pdf

http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/nenyu_koutou/n_kento/pdf/3siryo1.pdf