

File No. 66

影响缓释性肥料效果的因子

缓释性肥料 (Slow-release fertilizer 或 Delayed release fertilizer) 是通过添加特定的微生物抑制剂或使用化学或物理方法对化肥进行处理, 得以控制养分的溶解释放速度, 能够在较长期间内维持肥效。缓释性肥料能够抑制化肥的速效性, 按照农作物的生长阶段和养分需求来释放出养分供给农作物, 具有减少施肥量和施肥次数, 降低生产成本, 保护环境等效果, 在日本和先进国家得到一定的普及。

肥料的缓释性技术主要应用在氮肥, 部分钾肥和复合肥上。这是因为氮肥和钾肥多数是水溶性的, 需要抑制其溶解释放速度, 以达到缓释的要求。磷肥的磷被水溶解后容易被土壤吸附固定, 不易流失, 加上相当多的磷肥是枸溶性或可溶性, 难溶于水, 所以不必特意进行缓释性处理。

根据缓释性肥料的构造和机理, 可以分为生物型稳定性肥料, 化学型缓释肥料和物理型缓释肥料 3 大类型。与通常的化肥相比, 缓释性肥料的养分吸收利用率要提高 10~30%。但是, 如果不注意耕地土壤特性和作物种类, 不能正确施用的话, 不仅浪费了肥料, 有时还会导致减收, 不能发挥出缓释性肥料的效果。本编是根据学术杂志等发表的实验数据和结果, 对有可能影响缓释性肥料效果的因子做简单的论述, 以供有关人士磋商。

一. 影响生物型稳定肥料效果的因子

生物型稳定肥料 (Biostable fertilizer) 是在化肥里添加了可以抑制土壤微生物的繁殖和活性的药品以削弱微生物对脲态氮和氨态氮的分解, 达到延长肥效的目的。极端地说就是在化肥里加入了特殊的杀菌剂。现在的生物型稳定肥料主要是添加了脲酶抑制剂或硝化作用抑制剂, 还有同时添加这 2 种抑制剂的。

1. 影响添加脲酶抑制剂的生物型稳定肥料效果的因子

脲酶抑制剂主要使用对苯二酚 (HQ), N-(正丁基) 硫代磷酸三酰胺 (NBPT), 苯基磷二酰胺 (PPD)。这些药品都是添加在尿素或以尿素为原料的复合肥里, 施用后可以抑制土壤微生物的脲酶活性, 延缓尿素的氨化作用以达到缓释效果。影响脲酶抑制剂发挥作用的因子有:

① **土性:** 脲酶抑制剂在有机质多, 土壤的阳离子交换能力高, 土壤微生物数量多的粘性土壤中难以发挥杀菌作用, 减弱了对尿素的氨化作用的抑制能力。但是, 阳离子交换能力高的粘性土壤可以大量地吸附氨化作用生成的氨离子, 即使没有添加脲酶抑制剂, 尿素和其他氮肥分解释放出的氨离子也不容易流失。

② **地温:** 地温在 15~25°C 时脲酶抑制剂的效果最好。超过 30°C 后脲酶抑制剂的分解速度加快, 微生物的繁殖速度也快, 抑制微生物脲酶活性的效果减弱。

③ **土壤 pH:** 在弱酸性土壤 (pH5.5) 到碱性土壤 (pH8.0) 的范围内随着土壤 pH 的增高, 脲酶抑制剂的效果稍有提高, 但提高的幅度并不明显。有实验报告说土壤 pH7.0~8.0 的氨化作用抑制效果最高。

④ **土壤水分:** 土壤水分越高脲酶抑制剂的效果越低。这是因为水分促进了土壤微生物的繁殖和加快了脲酶抑制剂的分解。降雨量过大和不合理的灌溉导致土壤水分过高时, 施用的尿

素和脲酶抑制剂会随水流失到河川和地下水中，表现不出缓释性效果。

2. 影响添加硝化作用抑制剂的生物型稳定肥料效果的因子

硝化作用抑制剂主要使用硫脲 (Thiourea)，双氰胺 (DICY)，氯啉 (Nitrapyrin)。这些药品都是添加在尿素，硫酸铵，硝酸铵或以这些氮肥为原料的复合肥里，施用后可以抑制土壤亚硝酸菌和硝酸菌的繁殖，延缓将氨转换成硝酸的硝化作用，减少硝态氮的流失和脱氮。影响硝化作用抑制剂能力的因子有：

① **地温**：地温对硝化作用抑制剂的挥发和加水分解速度有很大的影响。通常，地温超过 15℃ 后，硝化作用抑制剂的分解速度加快，抑制亚硝酸菌和硝酸菌繁殖的效果减弱。

② **土壤 pH**：硝化作用抑制剂在 pH4.4~8.1 能够发挥效果。随着土壤 pH 的降低，抑制效果会有所增强。这是因为硝化作用抑制剂在酸性土壤里可以被土壤胶体吸附，减缓挥发和分解速度，能够持续更长时间。

③ **土性**：在粘土和有机质多的粘性土壤中，硝化作用抑制剂的效果不好。这是因为土壤微生物在粘土和有机质多的土壤中繁殖能力强，硝化作用抑制剂的杀灭亚硝酸菌和硝酸菌效果降低。加上硝化作用生成的硝态氮在粘性土壤里不易流失导致硝化作用抑制剂的效果不明显。在砂土和砂壤土中硝化作用抑制剂的效果较好。

④ **土壤水分**：含水量多的土壤，过剩灌溉时可以明显地表现出硝化作用的抑制效果。这是因为土壤水分多时，硝化作用生成的硝态氮容易随水渗透到地下水或从地表流失。硝化作用抑制剂可以减缓硝化作用，使得氨态氮可以较长时间吸附在土壤中不被硝化成硝态氮。

因为硝化作用抑制剂可以减缓土壤中的氨的硝化，对于嗜好吸收氨态氮的水稻，小麦和玉米等作物来说，有利于吸收更多的氨态氮来促进生长。嗜好硝态氮的菠菜，萝卜等蔬菜类则因硝态氮不足而有可能生长放慢。

二. 影响化学型缓释肥料效果的因子

化学型缓释肥料 (Controlled release fertilizer by chemical modification) 是通过化学处理来抑制氮肥的水溶性，使得肥料不溶于水，需要通过微生物的分解或加水反应，缓慢地转换成水溶性氮之后才能释放出来被作物吸收利用。因此该类缓释性肥料养分的溶解释放受到土壤温度，土壤水分和微生物活性等外因影响。另外，肥料颗粒的粒径与外界接触面积的大小，完全溶解所需时间有正的相关关系，同样会影响到肥料养分的释放速度。施用适当的话，可以控制肥效，提高肥料吸收利用率。

现在日本被批准使用的化学型缓释肥料有脲甲醛，异丁醛脲 (IB)，CDU，脘基脲和草酰胺共 5 种。其中脲甲醛，CDU 和脘基脲是尿素的聚合物，需要微生物分解再度生成尿素。异丁醛脲也是尿素的聚合物，水溶性很低但可以缓慢地加水分解释放出尿素，加水反应不需要微生物的作用。草酰胺是氨和氧，一氧化碳合成的化合物，水溶性很低，可以缓慢地加水分解释放出氨。草酰胺亦受到微生物的影响，在微生物的存在下的加水分解速度会有所加快。

1. 影响需要微生物分解的化学型缓释肥料效果的因子

- ① **土性：** 有机质多的粘性土壤中微生物数量多，会促进化学型缓释肥料的分解和氨化作用，使得缓释性效果减弱。
- ② **地温：** 土壤微生物的繁殖速度和活性与地温有关。地温越高化学型缓释肥料的分解速度越快。通常，地温超过 15℃后随着温度的上升，化学型缓释肥料的分解速度逐渐加快。但地温超出 35℃之后微生物的活动受高温抑制而衰退，缓释肥料的分解速度反而会降低。
- ③ **土壤水分：** 化学型缓释肥料基本上是不溶于水或水溶性很低，不会因降雨或灌溉而流失。因此，土壤水分多时缓释效果会更加明显。但是水分会对微生物的繁殖和活动有影响，一般情况下土壤水分多时化学型缓释肥料的分解速度会加快，但是缓释效果还是会明显地表现出来。
- ④ **土壤 pH：** 分解这些缓释性肥料的微生物都是细菌，在酸性环境下繁殖和活动能力增加，可以加速化学型缓释肥料的分解。因此，土壤 pH 越低，化学型缓释肥料的分解和尿素的生成越快，释放出的尿素的氨化作用也会加快，缓释效果降低。
- ⑤ **肥料粒径：** 肥料颗粒的粒径与外界接触面积的大小有正的相关关系，粒径越大所需的分解时间越长，缓释效果越明显。

2. 影响单纯加水分解的化学型缓释肥料效果的因子

异丁醛脲（IB）和草酰胺是单纯加水分解型缓释肥料，加水分解时不需要微生物的存在。水溶性很低，但溶解出来的成分就会被加水分解成尿素或氨。这类缓释性肥料的分解速度受到下面因子的影响。

- ① **土壤水分：** 溶解和加水分解都需要水分，土壤水分越多，分解速度越快。
- ② **地温：** 加水分解速度与地温有正的相关关系，地温越高，分解速度越快。
- ③ **肥料粒径：** 肥料颗粒的粒径越大，完全溶解所需的时间就越长，缓释性效果就越好。

三. 影响物理型缓释肥料效果的因子

物理型缓释肥料（Controlled release fertilizer by physical modification）主要是采用在肥料颗粒的表面覆盖上 1 层不透水或半透水薄膜技术的化肥，又称为包膜肥料。水分或水蒸气通过覆盖膜上的针孔或微细龟裂渗入到内部，将肥料逐渐溶解后释放出养分供作物吸收利用。覆盖膜的材料种类和厚度决定了膜的透水性和分解性，在理论上可以相当精密地控制肥料成分的溶解释放速度，能够按照农作物的生长阶段和对养分的需求来供应所需的养分种类和数量，是目前最理想，最有效的缓释肥料。现在物理型缓释肥料的主流是树脂包膜肥料和硫磺包膜肥料这 2 种。

1. 影响树脂包膜肥料效果的因子

树脂包膜肥料是在肥料颗粒表面覆盖上一层树脂薄膜，为了控制肥料养分的溶解释放速度，在树脂材料里混入了淀粉等碳水化合物或滑石粉等无机矿物，乙烯·乙酸乙烯酯共重合体等脂肪族聚合物作为溶解释放调节材料。施用后，溶解释放调节材料会因水分的存在而缓慢的溶解或膨润崩坏，在树脂膜上形成针孔。水分从针孔渗入到内部，将肥料溶解后释放出养分

来供作物吸收。

影响树脂包膜肥料的溶解和释放速度，时间的主要因子有 2 个。

① **土壤水分：** 树脂包膜肥料的养分溶解释放要在掺在膜里的溶解释放调节材料的溶解或膨润崩坏后才会发生。而溶解释放调节材料的溶解或膨润崩坏速度与土壤水分有密切的关系。土壤水分不足时，溶解释放调节材料的溶解或膨润崩坏所需时间要延长，会与事先设定的溶解释放期间和释放量不相符合。

经常处于湛水状态的水田因存在充分的水分，最适于施用树脂包膜肥料。旱地因为土壤水分变动较大，难以正确控制树脂包膜肥料的溶解释放时期和释放量。因此，在日本，树脂包膜肥料主要是用作水稻的基肥，还有部分是施用在莲藕等水生作物上，蔬菜等园艺作物一般都不会施用树脂包膜肥料。

② **地温：** 溶解释放调节材料的溶解或膨润崩坏速度与温度一定的关系，随着地温的升高，溶解或膨润崩坏速度会加快。另外，树脂覆盖膜上形成了针孔后，树脂包膜肥料的养分溶解速度和释放量与水分的渗入速度有关。地温越高，土壤水分的渗入速度就越快。因此，随着地温的升高，树脂包膜肥料会出现提前溶解释放的现象，溶解释放期间也会有若干程度的缩短。

2. 影响硫磺包膜肥料效果的因子

硫磺包膜肥料是使用硫磺在肥料颗粒表面覆盖上一层硫磺薄膜，再在硫磺膜的外面覆盖上一层生物降解性密封材料（石蜡或聚氨酯）来控制肥料养分的溶解释放速度。施用后，硫磺膜膜外的生物降解性密封层被土壤中的微生物分解而消失，水分从硫磺膜上的龟裂和针孔渗入，将肥料颗粒逐渐溶解释放。硫磺膜脆，容易发生大量的龟裂，一旦生物降解性密封层消失后肥料养分很容易释放出来。因此，降雨和灌溉后会大量释放出养分，与作物的养分吸收倾向相近。

影响硫磺包膜肥料的溶解和释放速度，时间的主要因子较多。

① **土性：** 在有机质多的粘质土壤中微生物的活性高，使得生物降解性密封层的分解快，会提前释放出养分。

② **地温：** 生物降解性密封层的分解速度与微生物的繁殖和活性有正的相关关系。随着地温的升高微生物的繁殖加快，活性增大，养分释放时期会提前。但地温超过 35℃后，微生物因高温而被抑制，养分释放时期反而会推迟。

③ **土壤水分：** 养分的溶解释放需要水分的渗入。土壤水分越多养分的溶解释放速度越快。长期湛水的耕地土壤水分过多，养分会在短时期内全部溶解释放，缓释效果不好。干旱地区没有灌溉条件的耕地，养分因水分不足不能按需释放，也不太适合施用。

④ **土壤 pH：** 土壤 pH 基本上不会对养分溶解释放发生影响。但养分释放后留下的硫磺空壳会被微生物氧化生成强酸性的硫酸，加速土壤的酸性化。因此施用在碱性土壤上有矫正土壤 pH，降低碱性的效果。但长期施用在酸性土壤上有可能加剧土壤的酸性化，必须注意。

⑤ **耕地种类：** 硫磺膜很脆，容易出现大量的龟裂，水分充足时短期间内养分就会全部溶解释放，缓释效果不好。硫磺在厌氧环境下还会被还原成硫化氢，对作物根造成损害。因此，

硫磺包膜肥料适宜施用于旱地，而不宜用在水田里。

⑥ **作物种类：** 硫磺包膜肥料的养分溶解释放都集中在降雨或灌溉之后，旱地作物，特别是生育期长，需要多量的氮养分和水分的玉米和茶，嗜好硫的大葱和蒜等作物最适合施用。施用于水田里，养分的溶解和释放很快，缓释效果不良，不宜用于水稻和莲藕等水生作物。

影响缓释性肥料的养分溶解释放速度的各种因子归纳为表 1。

表 1. 影响缓释性肥料的养分释放速度的因子

缓释性肥料类型	肥料种类	粘土矿物	有机质	土壤水分	地温	土壤 pH
生物型稳定肥料	脲酶抑制剂添加肥料	↑	↑	↑	↑	↓
	硝化作用抑制剂添加肥料	↑	↑	↓	↑	↑
化学型缓释肥料	脲甲醛, CDU, 脲基脲	↑	↑	↑	↑	↓
	IB, 草酰胺	—	—	↑	↑	—
物理型缓释肥料	树脂包膜肥料	—	—	↑	↑	—
	硫磺包膜肥料	↑	↑	↑	↑	—

标记说明： ↑：加速养分释放。 ↓：推迟养分释放。 —：基本没有影响