

## File No. 10

## 氮肥中的氮形态与作物吸收的关系

氮是原子序数7的元素,在地壳中的存在量约20ppm,大部分处于大气中,占大气的78.08%。氮气作为无味无色的气体,其化学性质非常稳定,在零下195.8℃液化成液氮,作为冷却剂被广泛使用。

氮除了氮气之外,还有存在于硝酸和氨等无机物中无机态氮以及存在于尿素和蛋白质等有机物质里的有机态氮。通常,土壤中的氮含量大概是0.1~0.6%,日本土壤的平均含氮量为0.23%。土壤中的氮约1%是铵离子和硝酸离子之类的无机态氮,其余的全都是有机态氮。即土壤中的氮有99%是以有机态氮的形态存在于动植物残骸,微生物,腐植酸等有机物中。土壤中的氮基本上是有有机态氮的理由是,土壤中的铵离子和硝酸离子之类的无机态氮容易被植物和微生物吸收同化成有机态氮,也容易通过土壤微生物的硝化作用和脱氮被还原成氮气分子,逸散到大气里,或被雨水和灌溉水溶脱流失,难以长期滞留在土壤里。

植物的生长需要氮磷钾三大元素和其他多种中量和微量元素。对于植物来说,氮是构成氨基酸,蛋白质,核酸等的重要元素。若土壤中氮不足的话,会显著地抑制植物的生长,出现缺氮症状。

对于植物来说,根能够吸收利用的氮仅限于硝酸离子和铵离子,还有微量的氨基酸。另外,叶片还能够通过气孔吸收利用少量的尿素。通常,耕地土壤里的氮养分完全不能够满足农作物的生长需求,为了促进作物生长,增加收获,需要从外部施加含氮养分的肥料来补充土壤中不足的氮。

氮肥中含有的氮养分主要有以下5种形态。其中能够直接被作物吸收利用的只有硝态氮和氨态氮2种,其余的3种需要分解转换成硝态氮和氨态氮之后才能被作物吸收利用。

### 1. 硝态氮 (nitrate nitrogen)

硝态氮是指以氮氧化物状态存在的氮,硝酸离子( $\text{NO}_3^-$ )是其代表。存在于自然界里的硝态氮基本上是铵经过硝化细菌被氧化成亚硝酸,亚硝酸再继续氧化成硝酸而生成的。即硝态氮是氮化合物的氧化反应生成的最终产物。硝态氮是植物,特别是陆地植物最容易吸收的氮形态。但是,土壤胶体表面带负电荷,不能吸附同样带有负电荷的硝态氮。因为硝态氮不被土壤吸附,容易随水溶脱流失,亦容易受土壤微生物的脱氮作用还原成氮原子,变成氮气逸散到大气中,

含硝态氮的肥料有硝酸铵(硝态氮和氨态氮各占一半),硝酸钙,硝酸钾,硝酸钠(智利硝石)等。含硝态氮的肥料都是水溶性肥料,加上硝态氮容易被作物吸收利用,施用后很快就会表现出肥效。所以这些含硝态氮的肥料都是速效性肥料。需要注意的是,硝态氮容易随水溶脱流失,不适合用于水田。最合适施用于蔬菜等生长快,需氮量大的经济作物。

### 2. 氨态氮 (ammonium nitrogen)

氨态氮是指以铵离子( $\text{NH}_4^+$ )状态存在的氮。自然界中的氨态氮主要来源于动植物的残骸

中的有机氮分解物以及动物粪尿中的尿酸和尿素分解生成的代谢物。低浓度的氨对植物无害，可以被根吸收利用。但氨浓度超过了阈值后会给植物生育造成危害。因此，土壤中存在过剩的氨态氮时，作物也只是吸收自身生长所需的数量，不会过剩吸收氨态氮。作为氨态氮的代表铵离子是阳离子，带有正电荷容易被土壤吸附，可以较长时间存留在土壤里。

土壤中的铵离子会被土壤微生物氧化成亚硝酸后再进一步氧化生成硝酸。氨态氮被氧化成硝态氮的过程被称为硝化作用。

含有氨态氮的肥料有硫酸铵，氯化铵，硝酸铵（硝态氮和氨态氮各占一半），磷铵等。含有氨态氮的肥料容易溶解于水，形成铵离子。氨态氮容易被植物吸收，也容易通过硝化作用转变成硝态氮，所以含有氨态氮的肥料都是速效性肥料。另外，水稻等水生植物嗜好吸收氨态氮，所以水稻栽培多使用含氨态氮的肥料。

### 3. 脲态氮 (Urea nitrogen)

脲态氮是指尿素 ( $(\text{H}_2\text{N})_2\text{C}=\text{O}$ ) 所含的氮养分的形态。自然界中的尿素来源于哺乳类和两栖类动物的尿液。这些动物消化吸收了食物中的蛋白质等有机氮化合物，在体内新陈代谢后以尿素的形态将不要的氮排泄出体外。尿素还是有机化学史上人工首次从无机物合成的有机化合物，是重要的化工原料。

脲态氮是有机物，不能被植物根直接吸收利用。需要被土壤中能够分泌脲酶的微生物分解成碳酸铵或碳酸氢铵，溶于水形成氨态氮之后才能被植物吸收利用。尿素被土壤微生物分解成氨态氮的过程又被称为氨化作用。但是部分植物的叶面可以通过气孔直接吸收利用尿素，所以尿素可以作为叶面散布的肥料来施用。

含有脲态氮的肥料只有尿素一种。尿素易溶于水，亦容易受到土壤微生物的氨化作用分解成氨态氮，所以尿素是速效性肥料，施用后数日即可看到肥效。

### 4. 氰胺态氮 (cyanamide nitrogen)

氰胺态氮是指石灰氮中所含的氮养分的形态。氰胺是化学式为  $\text{H}_2\text{N}-\text{CN}$  的酰胺化合物，是石灰氮的主要成分。氰胺具有生物毒性，可以杀死各种动植物和微生物，所以氰胺态氮不能被植物直接吸收利用。但是，氰胺会在有水分的存在下加水分解成尿素，所以施用到土壤后会加水分解成尿素，再经氨化作用生成氨态氮，硝化作用变成硝态氮被植物吸收利用。

施用到土壤中的石灰氮所含的氰胺的分解速度受土壤水分和地温的支配。通常，氰胺分解成尿素后再变成氨态氮所需的时间是，夏季高温季节大概是 3~5 日，冬季低温季节大概是 7~10 日。氰胺态氮对硝酸菌和亚硝酸菌的增殖和活性有很强的抑制作用，可以作为生物性稳定肥料用的硝化作用抑制剂添加到氮肥里。因此，含有氰胺态氮的石灰氮是一种具有农药效果的缓释性肥料。

### 5. 有机态氮 (organic nitrogen)

有机态氮是指有机化合物所含有的氮养分的形态。有机态氮主要是动植物残骸和排泄物中

的蛋白质，氨基酸，核酸等含氮有机化合物，还包括了化学工业和食品工业等排水中含有的含氮有机化合物。通常，狭义的有机态氮是指有机肥料中的氮养分。

植物不能直接吸收有机态氮。虽然有研究结果报告说植物根能够吸收某些小分子的氨基酸，但吸收量非常小，远远不能满足植物对氮养分的需求。有机态氮需要被微生物分解成氨态氮，再转化成硝态氮后才能被植物吸收利用。

含有有机态氮的肥料主要有堆肥，家畜肥料，植物粕（豆饼，菜籽饼等），鱼粉，菌体肥料等。因为有机态氮需要被微生物分解成氨态氮和硝态氮之后才能被植物吸收利用，所以有机肥施用到土壤后不能马上显示出肥效，需要经过一段时间后才能发挥出肥效。

施用有机肥需要防止土壤出现氮饥饿（nitrogen starvation）现象。氮饥饿是一次性地大量施用有机肥所引起土壤中的氨态氮和硝态氮暂时性不足，导致作物吸收不到足够的氮养分而出现缺氮症状的现象。又称为有机物引起的氮缺乏。其原因是含有多量有机态碳的有机肥和绿肥施用到土壤后，土壤微生物对有机态碳进行分解获得能源来快速进行增殖，在增殖过程中需要吸收大量的无机态氮来构成微生物个体，所以使得土壤中的无机态氮不足，导致作物出现缺氮症状。为了避免发生氮饥饿，需要预先掌握有机肥，特别是植物茎秆为主的堆肥和绿肥的碳氮比（C/N），避免一次性的大量施用富含植物性原料的未腐熟堆肥。在翻耕埋入绿肥时同时施入少量的尿素或硫酸铵等含氮化肥来补充土壤中的无机态氮等方法也可以避免氮饥饿的发生。

另外，某些微生物（细菌，放线菌，蓝藻，甲烷菌等）具有固氮能力，可以将大气中的氮气转换成氨吸收到微生物的体内生成有机态氮化合物。这些微生物死亡后遗骸中的有机态氮化合物最终会分解生成氨态氮和硝态氮，被植物吸收利用。这种现象称为生物固氮，所固定的氮养分亦属于有机态氮。据研究结果，地球上的生物固氮量达到每年 1.8 亿吨，可与化学工业的合成氨数量相媲美。