

## File No. 80

## 硝态氮和氨态氮的异同

化肥中氮肥的生产量和施用量是最多的，大约为化肥总量的 55~60%，超出了磷肥和钾肥的总和。这是因为氮是氨基酸，蛋白质，核酸等成分的重要元素，构成了整个植物体。若吸收不到足够的氮，就会显著地抑制植物的生长。氮在土壤中容易流失，还容易被土壤微生物降解还原成分子态的氮气散逸到大气里。通常土壤中能够供作物吸收利用的有效氮并不多，远远不能满足作物生长的需要。为了促进作物生长，提高收获量就必须适当地施加氮肥来增加土壤中的氮养分以供给作物吸收利用。

肥料中所含的氮按照其化学结构可以分为硝态氮，氨态氮，脲态氮，氰胺态氮和有机态氮共 5 大类。

尿素所含的氮就是脲态氮。植物根不能直接吸收脲态氮，需要经过土壤微生物的氨化作用加水分解成碳酸铵或碳酸氢铵之类的氨态氮，再经过土壤微生物的硝化作用分解成硝态氮之后才被根吸收利用。但部分植物的叶细胞可以直接吸收脲态氮，所以也有将尿素溶解稀释后作为叶面肥施用的方法。

氰胺态氮是氰氨化钙（又称石灰氮）所含的氮的化学形态。氰胺态氮对生物有毒性，接触到植物的话，会造成药害。通常，氰胺态氮在土壤中会加水分解成尿素，再经过土壤微生物的氨化作用和硝化作用分解成氨态氮和硝态氮后才能够被植物吸收利用。

有机态氮是氨基酸和蛋白质之类的有机物里含有的氮，基本上不能被植物吸收。有机态氮需要经过微生物的分解，变成氨态氮和硝态氮后才能被植物吸收利用。部分植物的根和叶细胞可以直接吸收氨基酸，但其吸收能力很弱，吸收量极少，可以完全无视。

因此，对于农作物来说，能够直接吸收利用的氮养分只限于硝态氮和氨态氮这 2 种。

硝态氮是以硝酸离子（ $\text{NO}_3^-$ ）的状态存在的氮。含有硝态氮的化肥有硝酸铵（氨态氮和硝态氮各占一半），硝酸钙，硝酸钾，硝酸钠（智利硝石）等。

氨态氮是以氨离子（ $\text{NH}_3^+$ ）的状态存在的氮。含有氨态氮的化肥有硫酸铵，氯化铵，硝酸铵（氨态氮和硝态氮各占一半），磷酸铵（磷酸一铵和磷酸二铵）等。

以下详细说明作为化肥施用的硝态氮和氨态氮在土壤和作物上的不同点。

### 1. 土壤中的存在和移动

硝态氮是以阴离子的状态存在的，施用后不会被土壤胶体吸附，容易随水流动扩散。因此，硝态氮很容易随土壤溶液而移动，硝态氮在耕地土壤中的分布状况与施肥位置的关系不大，主要与灌溉和降雨有关。因为硝态氮不被土壤吸附，容易因灌溉和降雨而流失，给地下水和地表水造成无机氮污染。

氨态氮是以阳离子状态存在的，容易被土壤胶体吸附，在土壤中基本上不会移动或移动范围很小。氨态氮基本上是要经过土壤微生物的硝化作用转化成硝态氮后才移动扩散到耕地各层土壤里。因此长期施用硫酸铵或氯化铵的话，表土里会积累多量的氨态氮，成为土壤盐分积累的一个原因。另外，氨态氮在高温多湿的环境下容易变成氨气挥发到大气中。在塑料薄

膜小拱棚栽培和地膜覆盖栽培，以及部分大棚栽培等换气不良的环境下，从土壤挥发出的氨气滞留在密闭空间里容易引起烧苗等危害。

氨态氮与硝态氮在土壤中的存在状态如图 1 所示。这 2 种氮的最大区别是氨态氮会被土壤吸附，不易移动，而硝态氮不被土壤吸附，容易随水移动扩散。

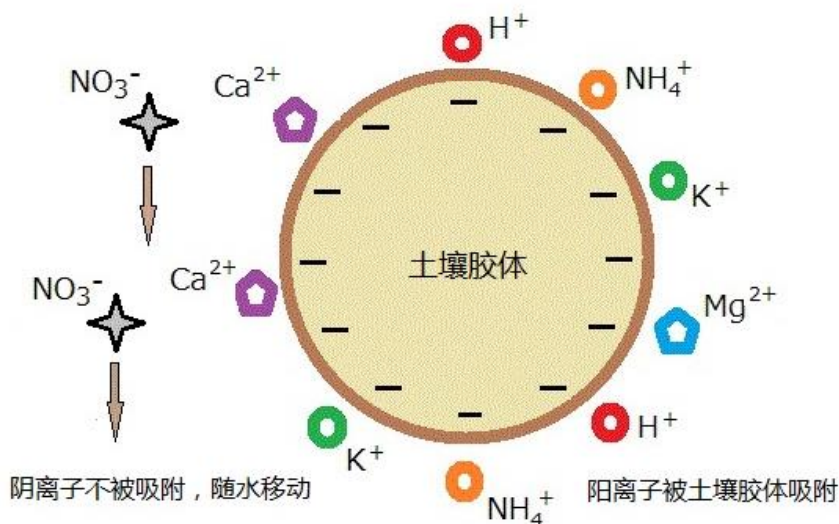


图 1. 硝态氮和氨态氮在土壤中的存在状态示意图

因此，硝态氮适合用于旱地作物，特别是蔬菜和水果，不适合用于水田和水生作物。在欧洲和北美，硝酸铵和 UAN（尿素硝酸铵液肥）很受欢迎的理由就是欧洲和北美主要是栽培小麦，玉米，马铃薯等旱地作物，很少栽培水稻。与此相比，氨态氮适合施用于旱地和水田，用途要比硝态氮广。

## 2. 土壤中的化学变化

硝态氮在缺氧的嫌气环境下，容易被土壤微生物还原成氮气分子和一氧化二氮分子后挥发到大气里。这个过程称为脱氮。在好气环境下硝态氮则基本上不会发生化学变化。

氨态氮在富氧的好气环境下会被土壤中的亚硝酸生成菌氧化成亚硝酸，再被硝酸生成菌氧化成硝酸，转化成硝态氮。这个过程称为硝化作用。在嫌气环境下氨态氮则不易起变化，长期保持氨离子的状态。

土壤中硝态氮和氨态氮这 2 者的关系是，氨态氮可以被氧化成亚硝酸，再氧化成硝酸，变成硝态氮。即硝态氮是氮化合物氧化反应的最终产物。在通常的土壤环境中，硝态氮不会被还原成氨态氮。

图 2 是石灰氮，尿素，铵系肥料和硝酸系肥料在土壤中的化学变化示意图。

但是，氨态氮在土壤中转化成硝态氮需要一定的条件。

① 必须要有亚硝酸生成菌和硝酸生成菌的存在。没有这类土壤微生物就不会出现氨态氮转化成硝态氮的变化。

- ② 土壤温度需要超过 20℃。土壤温度过低的话，亚硝酸生成菌和硝酸生成菌的活性受到抑制，转化速度大大减慢。
- ③ 土壤 pH 需要在 5.5~7.5 之间。强酸性土壤和强碱性土壤都会抑制亚硝酸生成菌和硝酸生成菌的活性。
- ④ 需要有充分的土壤水分和氧气。氨态氮在土壤中转化成硝态氮需要在富氧的好气环境和一定的水分才能进行。

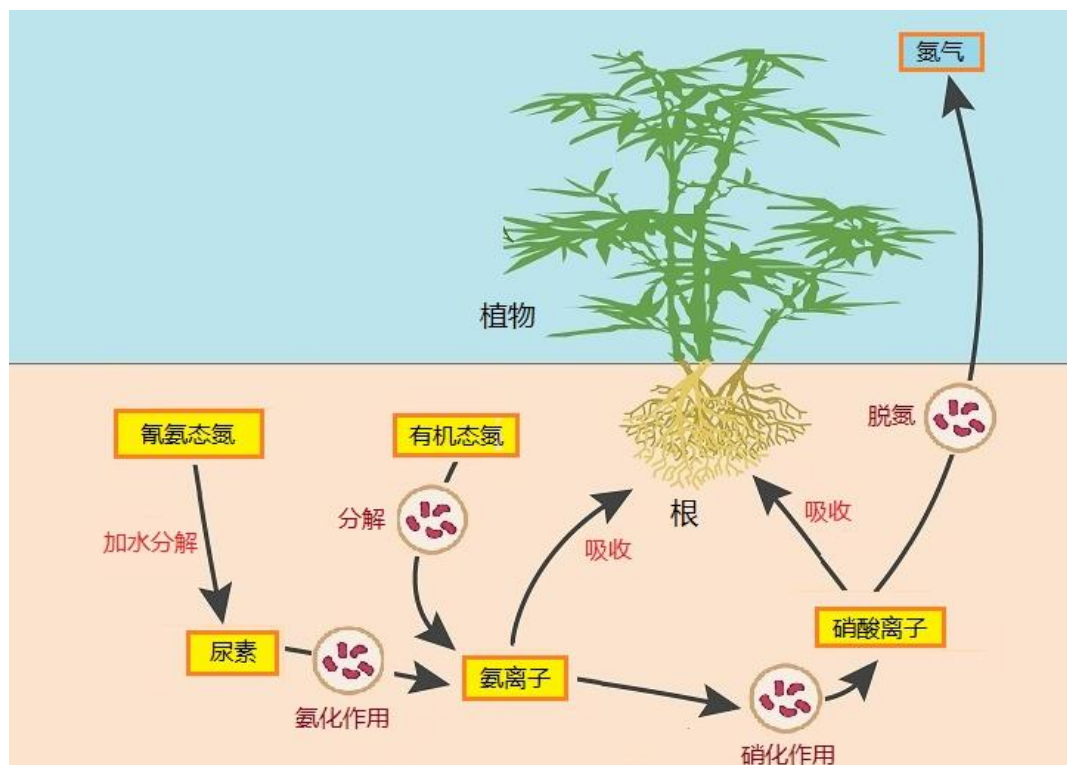


图 2. 氮肥施用后在土壤中发生的化学变化示意图

### 3. 植物根的吸收

植物根对硝态氮的吸收是通过离子转运蛋白 (ion transporter) 方式进行的。位于根细胞膜上的 NRT 型硝酸离子转运蛋白可以结合土壤溶液中的硝酸离子，将其通过细胞膜转入细胞内。根对硝酸离子的吸收需要消耗代谢能量，属于能动输送方式。

植物根对氨态氮的吸收通常是通过离子通道 (ion channel) 方式进行的。贯通了根细胞膜的 AMT 氨离子输送蛋白在其内部有叫做门 (gate) 的部位，当门被打开后土壤中的氨离子就可以通过蛋白质的细孔 (pore) 流入到细胞内。根对氨离子的吸收是通过被动扩散方式进行的，不需要消耗代谢能量。每吸收一个氨离子就会放出一个氢离子到根外。

图 3 是植物根对硝态氮和氨态氮的吸收示意图。

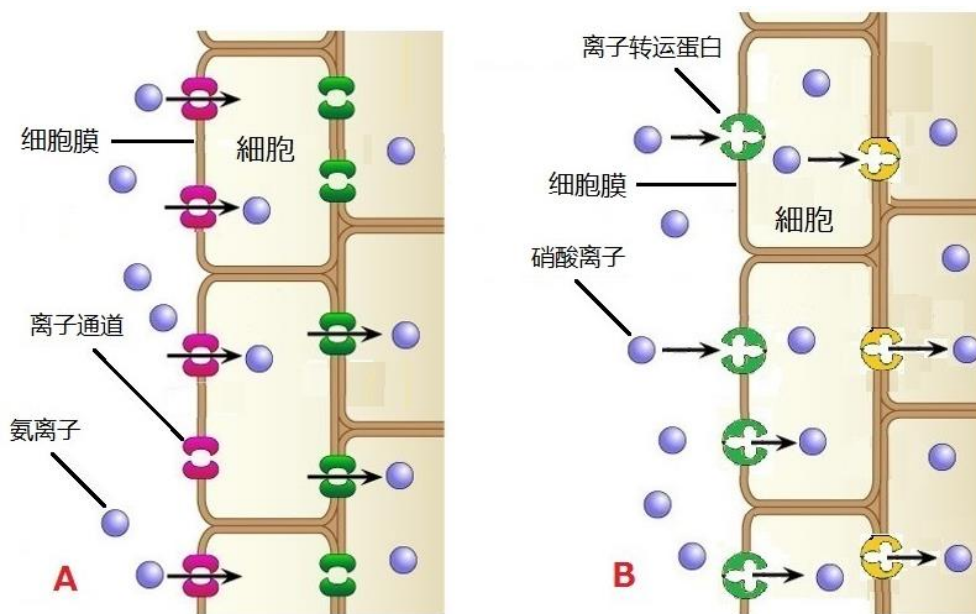


图 3. 根对氮养分的吸收示意图

(A：离子通道方式、B：离子转运蛋白方式)

#### 4. 植物体内的流转，储存和代谢

硝酸离子被根吸收后主要是与水一起通过导管输送到地上部的各个组织器官。输送到各组织器官内的硝酸离子被储存在细胞的液胞里，通过细胞内的硝酸还原酶（NR）被还原成亚硝酸离子（ $\text{NO}_2^-$ ），再由亚硝酸还原酶（NiR）还原成氨（ $\text{NH}_3$ ）后，马上就在谷氨合成酶（GS）和谷氨酸合成酶（GOGAT）的作用下与光合作用生成的碳水化合物反应合成谷氨酸，进入氨基酸和蛋白质代谢。一部分硝酸离子作为储存养分会滞留在根和叶细胞的液胞里，储存在液胞里硝酸离子也还有调节细胞渗透压的作用。

氨离子对植物细胞有毒性。氨离子被吸收入根细胞后，马上就被根细胞里的谷氨合成酶（GS）和谷氨酸合成酶（GOGAT）合成谷氨酸，再被谷氨酸脱氢酶（GDH）和天冬酰胺合成酶（AS）合成天冬酰胺等氨基酸。合成了的氨基酸的一部分滞留在根细胞的液胞里，大部分被流转到地上部，参与氨基酸和蛋白质代谢。在植物体内不会有氨离子的存在。

因此，当遭遇低温和日照不足导致光合作用生成的碳水化合物不能满足氨基酸合成时，植物体内的氮代谢会受到一定的抑制。其结果就是根对氨态氮的吸收受到强烈的抑制，但对硝态氮的抑制作用很小，使得植物体内的硝态氮（硝酸离子和亚硝酸离子）浓度上升。在 10~3 月低温短日照的冬春季节里，蔬菜中的硝态氮浓度升高的原因就在这里。

#### 5. 与其他养分的拮抗和相乘作用

硝酸离子与氯离子之间有拮抗作用，阻碍氯离子的吸收。对其他养分没有拮抗，反而钾离子和钙离子有促进硝酸离子的吸收作用。

氨离子与钾离子和钙离子等阳离子之间有拮抗作用，会影响根对阳离子的吸收。



其原因被推测是因为根细胞膜上的离子受体表面出现了离子竞争和根细胞膜的离子通道竞争等引发了同类离子的拮抗作用所致。

## 6. 施用后肥料效果的出现时期

硝态氮可以直接被旱地作物吸收，含硝态氮的化肥在施用 2 天后就可以看到肥料效果，所以含硝态氮的化肥属于超速效性肥料。另外，天气和土壤条件等外因对硝态氮肥料效果的出现时期影响不大。

氨态氮需要经过土壤微生物的作用转化成硝态氮之后才能大量地被旱地作物吸收利用，所以肥料效果需要在施用 2~5 天之后才能看到。含氨态氮的化肥虽然也是属于速效性肥料，但肥料效果的出现要比硝态氮迟一些。特别是低温和强酸性或强碱性土壤会抑制土壤微生物的活性，在冬季和强酸性或强碱性土壤上施用氨态氮化肥时，需要更长的时间才能看到肥料效果。但是，水稻和一些水生植物嗜好吸收氨态氮，施用到水田 2~3 天后就可以看到肥料效果。

其他形态的氮肥，例如尿素必须经过土壤微生物分解转换成氨态氮和硝态氮后才能被根吸收，所以在施用后需要更长时间才能看到肥料效果。而且土温等外界环境对肥料效果的出现时期影响很大。根据非正式的实验数据，在土温 10℃ 的环境下，尿素被分解成氨离子需要 7~10 天，氨离子转化成硝酸离子需要 5~7 天。在土温 30℃ 的环境下，尿素被分解成氨离子只需 2~3 天，氨离子转化成硝酸离子只要 1 天就行了。

因为硝态氮和氨态氮在土壤中的吸附，移动和代谢变化有相当大的不同处，所以不同的植物种类对硝态氮和氨态氮的嗜好性有很大的差异。大体上是，陆地上的植物，俗称陆生植物喜好吸收硝态氮，而生长在水中的水生植物则主要吸收氨态氮。这是植物进化和对环境适应的结果。但是外部环境也会对植物的氮吸收产生很强的影响。例如在低温，土壤水分过多，强碱性土壤等恶劣环境下土壤微生物的活性受到抑制，氨态氮不能顺利地转化成硝态氮，土壤中硝态氮不足的情况下，陆生植物就会较多地直接吸收氨态氮。在低温和日照不足的环境下，水稻也会积极地吸收硝态氮来维持自身的生长。

与含氨态氮的化肥相比，含硝态氮的化肥价格要高一些。因此有必要按环境条件和栽培需要来选择性地分别使用这 2 类肥料。通常，旱地作物，特别是冬春季节的蔬菜栽培有必要多施用含硝态氮的化肥，以使肥料效果尽快出现，促进蔬菜生长，缩短生长期。在土温超过 20℃ 的晚春到初春季节，施用廉价的尿素和硫酸铵也能很快地转化成硝态氮，肥料效果的出现时期不会有太大的差距，没有必要特意施用高价的硝态氮肥料。