

File No. 80 硝酸態窒素とアンモニア態窒素の違い

化学肥料の中には窒素系肥料の生産量と使用量が断トツに多い。これは窒素が植物組織のアミノ酸、核酸、タンパク質などを構成する非常に重要な元素で、その欠乏が作物の生育を顕著に抑制するためである。元々土壌中の窒素養分が少なく、作物の生育需要を賄うには断然不足である。従って、作物の生育を促進させ、農産物の収量を増やすために適切に窒素肥料を与える、いわゆる施肥が必要である。

肥料に含まれる窒素はその化学構造から硝酸態窒素、アンモニア態窒素、尿素態窒素、シアナミド態窒素、有機態窒素の5つに分けられる。

尿素態窒素は、尿素に含まれている窒素成分で、植物の根から直接吸収することができず、土壌中で微生物により炭酸アンモニウムあるいは炭酸水素アンモニウムに分解された後、さらに硝酸態窒素に変化してから植物に吸収利用される。ただし、一部の植物の葉細胞は尿素を吸収することができるため、葉面散布という施用方法もある。

シアナミド態窒素は、石灰窒素に含まれている窒素成分で、毒性があり、植物に害を与える。土壌中で加水分解され尿素となり、アンモニア化を経てアンモニアへ、さらに硝化作用を経て硝酸態窒素に変化してから植物に吸収利用される。

有機態窒素は、アミノ酸やタンパク質のような有機物に含まれている窒素成分で、植物には直接吸収されない。まず、微生物によりアンモニア態窒素に分解され、さらに硝酸態窒素に転換するという過程を踏んでから植物に吸収利用される。一部の植物の根と葉はアミノ酸を吸収することができるが、その量が微々たるもので、養分としての意義を無視してもよい。

従って、植物にとって窒素養分として直接に吸収利用できるのは硝酸態窒素とアンモニア態窒素に限られる。

硝酸態窒素は、硝酸イオン (NO_3^-) の形で存在する窒素のことである。硝酸態窒素を含む肥料は硝安、硝酸石灰、硝酸加里、硝酸ソーダ (チリ硝石) などがある。

アンモニア態窒素は、アンモニウムイオン (NH_4^+) の形で存在する窒素である。アンモニア態窒素を含む肥料は硫安、塩安、硝安 (硝酸態窒素とアンモニア態窒素が半々である)、りん安 (MAP と DAP) などがある。

以下は硝酸態窒素とアンモニア態窒素の違いを説明する。

1. 土壌中の存在

硝酸態窒素はマイナスイオンの形で存在するため、施用後、土壌コロイドに吸着されず、水の流れに沿って拡散しやすい。従って、施用位置にも関わらず、表土だけではなく、中層や下層の土壌にも容易に移動する。但し、土壌に吸着されないため、降雨や灌漑により流亡しやすく、地表水と地下水の窒素汚染の一因になる。

アンモニア態窒素はプラスイオンの形で存在し、土壌コロイドによく吸着されるので、

土壌中の移動がほとんどない。大体土壌微生物により硝酸態窒素に転換されてから移動する。従って、長期表面施用の場合は、アンモニア態窒素が表土に集中して、土壌の塩分集積の一因になる。また、高温多湿の場合はアンモニア態窒素がアンモニアガスとなって土壌から揮発されやすく、トンネル栽培やべたがけ栽培、一部のビニルハウスなど換気不良の栽培環境に於いて揮発したアンモニアガスが密閉空間に溜まり、肥料焼けを誘起する恐れがある。

即ち、アンモニア態窒素が土壌コロイドに吸着されるが、硝酸態窒素が吸着されず、水分と一緒に移動する。図1はこの2種類窒素の土壌における挙動を示す。

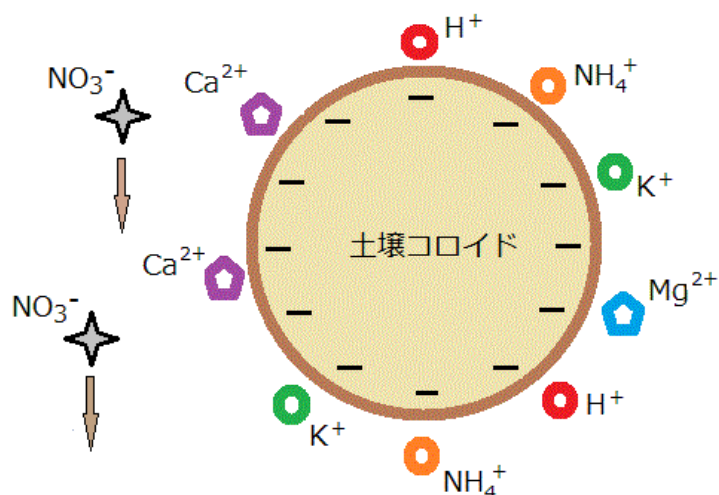


図1. 硝酸態窒素とアンモニア態窒素の土壌における存在状況模式図

したがって、硝酸態窒素は畑作物、特に野菜と果樹に適し、水田には向けない。畑栽培の多いヨーロッパや北米は硝安、UAN（尿素硝安液肥）に人気があるのはその理由である。それに対して、アンモニア態窒素は畑と水田とも適している。

2. 土壌中の変化

硝酸態窒素は嫌気的な環境下に於いて土壌細菌により、窒素分子 (N_2) や一酸化二窒素 (N_2O) 分子に還元され、窒素ガスとなつては大気中に揮散していく。この過程を脱窒という。好気的な環境に於いては化学変化がほとんど起きない。

アンモニア態窒素は、好気な環境に於いて亜硝酸生成菌によって亜硝酸イオンに酸化され、さらに硝酸生成菌によって硝酸イオンに酸化されていく。この過程を硝化作用という。嫌気的な環境に於いては長くアンモニウムイオンとして土壌に存在する。

土壌中における両者の関係は、アンモニア態窒素が酸化されて亜硝酸態窒素になって、さらに酸化されて硝酸態窒素となる。即ち、硝酸態窒素は窒素化合物の酸化反応によって生じる最終生成物である。これに対して、硝酸態窒素からアンモニア態窒素に還元されることはない。

図 2 はシアナミド、尿素、アンモニア態窒素と硝酸態窒素が土壌における化学変化を示す。

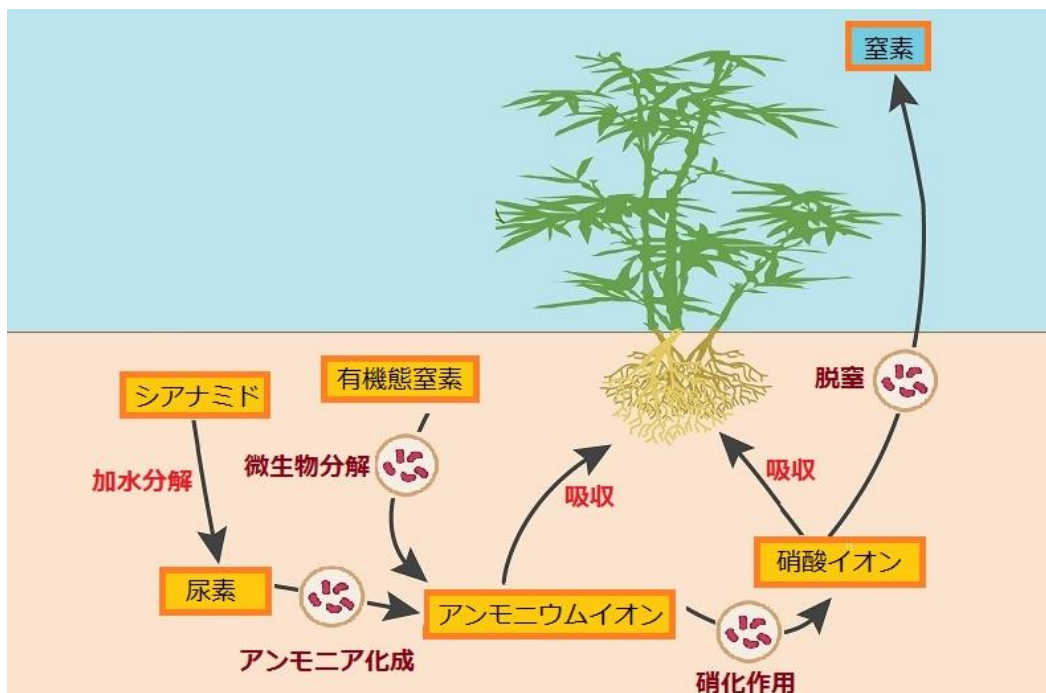


図 2. 施用された窒素肥料の土壌中における化学変化模式図

ただし、アンモニア態窒素から硝酸態窒素に転換するには一定の条件がある。

- ① 亜硝酸生成菌と硝酸生成菌の存在。これらの微生物がないと、反応が起きない。
- ② 土壌温度 $> 20^{\circ}\text{C}$ 。土壌温度が低いと、亜硝酸生成菌と硝酸生成菌の活動が鈍くなる。
- ③ 土壌 pH $5.5 \sim 7.5$ 。強酸性土壌 ($\text{pH} < 5.0$) 及び強アルカリ性土壌 ($\text{pH} > 8.0$) は微生物の活性を抑制する。
- ④ 十分な土壌水分と酸素がある。転換には好気性環境と水分が必要である。

3. 植物根の吸収

根による硝酸態窒素の吸収はイオントランスポーターの方式で行う。根の細胞膜にある NRT 型硝酸イオン輸送タンパク質が硝酸イオンと結合して、細胞膜を通過し、細胞内に入る。なお、硝酸イオンの吸収には代謝エネルギーを消費する能動輸送である。

根によるアンモニア態窒素の吸収は通常イオンチャンネルの方式で行う。根の細胞膜にある AMT アンモニア輸送タンパク質が分子内にゲートと呼ばれる構造があり、これが開くと外部のアンモニウムイオンはタンパク質の細孔（ポア）を通過して細胞内に流れる。イオンチャンネルを介するイオンの移動には代謝エネルギーは必要でないが、その代わりに水素イオン (H^+) を根外に放出する。

図 3 は根による硝酸態窒素とアンモニア態窒素の吸収模式図である。

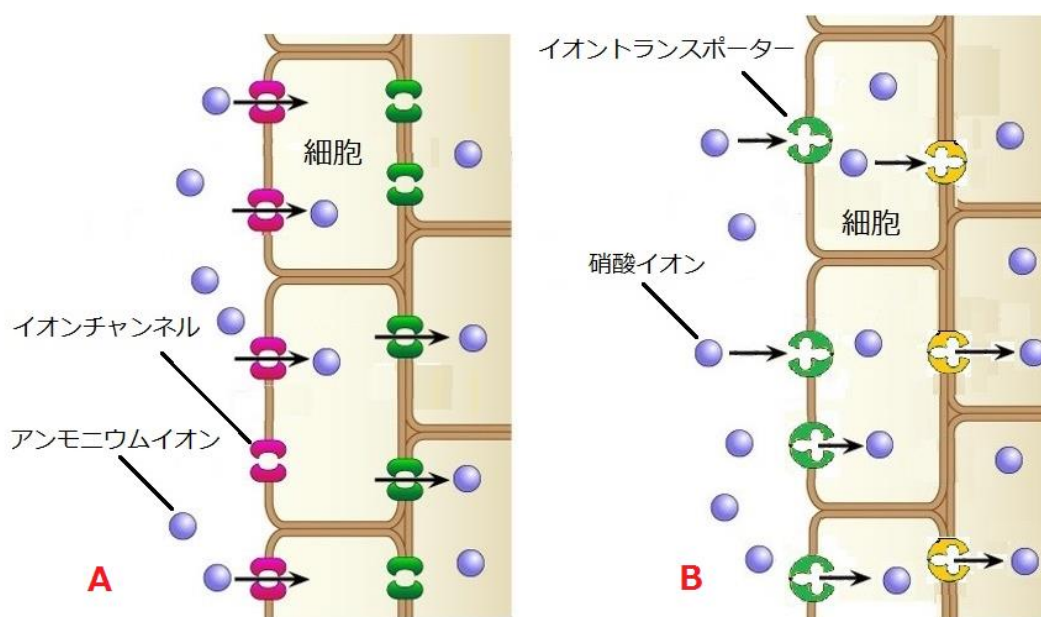


図 3. 根による窒素養分吸収の模式図

(A : イオンチャンネル方式、B : イオントランスポーター方式)

4. 植物体内の転流、貯蔵と代謝

根に吸収された硝酸態窒素は主に水分と一緒に道管を經由して地上部の各器官に転流される。植物組織内に転流された硝酸イオンが細胞の液胞に蓄え、細胞内の硝酸還元酵素により亜硝酸イオン (NO_2^-) に還元されて、さらに亜硝酸還元酵素 (NiR) によりアンモニア (NH_3) に還元されてから、すぐグルタミン合成酵素 (GS) とグルタミン酸合成酵素 (GOGAT) によりグルタミン酸を合成し、アミノ酸とタンパク質の代謝に入る。一部の硝酸イオンが根細胞の液胞に蓄え、養分として生長に備える。なお、液胞に蓄えている硝酸イオンは細胞の浸透圧調節にも働く。

アンモニウムイオンが植物細胞に対して毒性があるため、根細胞に入った途端、すぐグルタミン合成酵素 (GS) とグルタミン酸合成酵素 (GOGAT) によりグルタミン酸、グルタミン酸デヒドロゲナーゼ (GDH) とアスパラギンシンターゼ (AS) などによりアスパラギン酸などのアミノ酸に合成される。合成されたアミノ酸は地上部に転流され、アミノ酸とタンパク質の代謝に入るほか、液胞に貯蔵することもある。アンモニウムイオンの形で植物体内に存在することがない。

従って、低温と日照不足で光合成産物が足りない場合は、植物体内の窒素代謝が抑制される。それに合わせるように根によるアンモニア態窒素の吸収が強く抑制されるが、硝酸態窒素の吸収抑制がほとんど見られない代わりに植物体内の硝酸態窒素 (硝酸イオンと亜硝酸イオン) 濃度が高くなる。10~3月の冬春シーズンに野菜中の硝酸態窒素濃度が高いのはこの理由である。

5. ほかの養分との拮抗と相乗

硝酸態窒素は塩素との拮抗があり、塩素イオンの吸収を阻害するが、ほかの養分を拮抗することがない。逆にカリウムとカルシウムが硝酸態窒素の吸収を促進する。

アンモニア態窒素はカルシウムとマグネシウムなど陽イオンの吸収を阻害する。

これは根の細胞膜受容体表面のイオン競合、根細胞膜のイオンチャンネルの争奪競争などによるものと推測される。

6. 施用後の肥料効果の現れ時期

畑作物の場合は硝酸態窒素が直接に吸収されるので、施用 2 日後に肥料効果が見られる。いわゆる超速効性肥料である。また、肥料効果の現れに天候や土壌条件の影響が少ない。

一方、アンモニア態窒素は土壌中に硝酸態窒素に変化してから根に吸収されるので、肥料効果が見られるのは施用 2~5 日以降である。速効性ではあるものの、硝酸態窒素より時間がかかる。特に低温時期、土壌が強酸性とアルカリ性の場合にはさらに時間が必要である。但し、イネが直接アンモニア態窒素を吸収するので、水田に施用 2~3 日後に肥料効果が見られる。

ほかの形態の窒素肥料、例えば、尿素などを施用する場合は肥料効果の現れにはさらに時間がかかる。非正式の試験データによれば、土壌温度 10℃の条件に於いて、尿素がアンモニア態窒素に分解されるには 7~10 日、アンモニア態窒素から硝酸態窒素に転換するにはさらに 5~7 日が必要である。土壌温度 30℃の条件に於いて、尿素がアンモニア態窒素に分解されるには 2~3 日、アンモニア態窒素から硝酸態窒素に転換するには 1 日だけで完了する。

この 2 種類窒素の土壌中の吸着・移動と代謝変化の違いにより、植物の種類により硝酸態窒素とアンモニア態窒素に対する嗜好性が明白に分かれてきた。大体陸上植物が硝酸態窒素を好み、水生植物が主にアンモニア態窒素を吸収する。これは環境適応と進化の結果である。ただし、外部環境も植物の窒素吸収に強く影響する。例えば、陸上植物は低温や過湿、土壌がアルカリ性に転じアンモニア態窒素が硝酸態窒素に転換できず、硝酸態窒素が不足の場合にはアンモニア態窒素も多く吸収するが、低温と日照不足の悪環境に於いて水稲も積極的に硝酸態窒素を吸収する。

アンモニア態窒素肥料に比べ、硝酸態窒素肥料の価格が高い。従って、使い分けが必要である。通常、畑作物、特に冬春野菜の栽培に硝酸態窒素を施用する場合は肥料効果が早く現れ、野菜の生育が速くなり、収量が増えるため、硝酸態窒素肥料を使う意味がある。一方、土壌温度が 20℃を超えた晩春から初秋にかけて廉価の尿素や硫安を施用しても速く硝酸態窒素に転換し、肥料効果の現れに日数の差が少ないので、わざわざ高価な硝酸態窒素肥料を使用する必要がない。