

File No. 10

肥料中の窒素形態と植物吸収

窒素（nitrogen、N）は原子番号7の元素で、地殻中の存在度が約20ppmであるが、大気には窒素ガスが約78.08%を占める。大気中の窒素ガスは無味無臭の気体として非常に安定し、氷点下 -195.8°C に冷却されると、液化して液体窒素と呼ばれ、冷却剤としてよく使用される。

窒素は窒素ガスのほか、硝酸やアンモニアに含まれる無機態窒素、尿素、タンパク質などの有機物質に含まれる有機態窒素もある。土壌には0.1~0.6%程度の窒素が含まれ、日本土壌の平均では0.23%である。この土壌窒素のうちの1%程度が無機態窒素であり、残りが有機態窒素である。即ち、土壌に含まれる窒素は99%以上が動植物、微生物の残骸に由来する有機態窒素という形で存在している。その理由は、無機態窒素は不安定で、容易に土壌微生物による硝化作用、脱窒作用を経て窒素分子に還元され、窒素ガスとして大気中に散逸してしまう。

植物の生育に窒素（N）、りん酸（P）、加里（K）の三大元素及びいくつかの微量元素が必須不可欠である。窒素は植物のタンパク質、核酸、アミノ酸などに含まれる非常に重要な元素であり、その欠乏は植物の生育を顕著に抑制する。

植物にとって、吸収利用できる窒素の形態は主に硝酸態窒素とアンモニア態窒素という無機態窒素である。土壌中の無機態窒素はその量が少ないため、植物の生長を加速させ、農産物の収量を増やすために外部から窒素を含む肥料を与える、いわゆる施肥が必要である。

肥料に含まれる窒素は次のようなものがある。

1. 硝酸態窒素（nitrate nitrogen）

硝酸態窒素は、硝酸イオン（ NO_3^- ）のように酸化窒素の形で存在する窒素のことである。自然界に存在する硝酸態窒素はアンモニア態窒素が硝化細菌により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。植物、特に陸上植物にとっては硝酸態窒素が一番吸収されやすい窒素である。但し、土壌がマイナスに帯電しているため、硝酸態窒素はマイナスイオンで、土壌粒子に吸着せずに流亡したり、土壌中の微生物による脱窒を起こして窒素分子に還元され、無駄になりやすい。

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）などである。硝酸態窒素が植物に吸収されやすいため、これらの肥料は施用後肥料効果が発揮しやすく、いわゆる速効性肥料である。

2. アンモニア態窒素（ammonium nitrogen）

アンモニア態窒素は、アンモニアイオン（ NH_3^+ ）の形で存在している窒素を指す。自然界にアンモニア態窒素の生成は、生物の死骸や糞尿などを由来とした有機態窒素のタンパ

ク質やアミノ酸あるいは尿酸、尿素が分解してできたものである。微量のアンモニアは植物には無害で、根による吸収利用することができるが、一定濃度を越えると、植物に害を与える。従って、土壌中にアンモニア態窒素が過剰に存在しても、植物はそのつどの生育度合いに合わせて、成長に必要な量しか吸収することがないため、過剰にアンモニア態窒素を吸収することがないといわれる。なお、稲など水田作物はアンモニア態窒素を喜んで吸収する。アンモニア態窒素はプラスイオンであるため、マイナス帯電の土壌粒子やコロイドに容易に吸着され、土壌中では安定して長い時間保持される。

土壌中のアンモニア態窒素が硝化細菌により酸化され、亜硝酸態窒素を経て、硝酸態窒素となる。

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）、りん安などである。アンモニア態窒素が植物に吸収されやすく、硝化作用により硝酸態窒素にも酸化されやすいため、これらの肥料は施用後肥料効果が発揮しやすく、いわゆる速効性肥料である。

3. 尿素態窒素 (Urea nitrogen)

尿素態窒素は、尿素 ($(\text{H}_2\text{N})_2\text{C}=\text{O}$) に含まれている窒素成分である。尿素は哺乳類や両生類は食物中のたんぱく質などに含まれている窒素有機化合物を消化吸収して、新陳代謝で不要となった窒素を尿素の形で尿から排泄される。また、有機化学では史上初めて無機化合物から合成された有機化合物として非常に重要な化合物である。

尿素態窒素は有機分子であるため、植物の根から直接吸収することができず、土壌中でウレアーゼを有する微生物によるアンモニア化成を受け、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る。アンモニア態窒素に分解された後、さらに硝酸態窒素に酸化されて植物に吸収利用される。ただし、一部の植物の葉面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。

尿素態窒素を含む肥料は尿素である。尿素態窒素が水によく溶け、微生物によるアンモニア化成を受けやすいため、尿素は速効性肥料で、施用後肥料効果が発揮しやすい。

4. シアナミド態窒素 (cyanamide nitrogen)

シアナミド態窒素は、シアナミドに含まれている窒素成分である。シアナミドは化学式 $\text{H}_2\text{N}-\text{CN}$ で表されるアミド化合物で、石灰窒素の主成分である。シアナミドは生物に毒性を有し、そのままでは植物に吸収されない。ただし、シアナミドは土壌の中で加水分解され尿素となり、アンモニア化成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。

シアナミド態窒素を含む肥料は石灰窒素である。シアナミド態窒素の分解速度は土壌水分と温度に影響される。シアナミドが尿素、アンモニアになる期間は夏では3~5日、冬で7~10日間位である。また、シアナミドは硝酸化成菌の増殖と働きを強く抑える

効果があり、硝化抑制材として窒素肥料に添加して生物的安定性肥料としてよく利用される。従って、石灰窒素は一応緩効性肥料に属する。

5. 有機態窒素 (organic nitrogen)

有機態窒素は、有機化合物に含まれている窒素成分である。人間や動植物に起因するタンパク質、アミノ酸、尿素、核酸などのほか、化学工業や食品工業の工場排水に含まれる含窒素有機化合物もある。通常、有機態窒素は尿素態窒素とシアナミド態窒素を除外して、もっぱら有機肥料に含まれる窒素を指す。有機態窒素は植物に直接吸収できず、まず、微生物の働きによりアンモニア態窒素に分解され、さらに硝酸態窒素となるという過程を踏んでから植物に吸収利用される。

有機態窒素を有する肥料は堆肥、家畜糞尿、植物油粕（大豆粕、菜種粕など）、魚粉、菌体肥料などの有機肥料である。有機態窒素がアンモニア態窒素と硝酸態窒素に分解されてから初めて植物に吸収されるため、これらの肥料は施用してすぐ肥料効果を現れず、時間をかけて分解して効果が発揮するものである。

有機肥料を施用する際に窒素飢餓 (nitrogen starvation) 現象に注意すべきである。窒素飢餓とは、有機物を与えすぎることにより土壌中の無機態窒素が不足で生じた植物の生育障害の一つであり、窒素欠乏とも呼ばれる。その起因は、有機質肥料や緑肥を土壌に加えると、土壌中の微生物がその有機炭素をエネルギー源として盛んに活動するが、増殖の過程で微生物が大量の無機態窒素を消費してしまい、植物の生育に必要な窒素が不足してしまう状態に陥る。窒素飢餓を避けるためには、有機肥料中の炭素と窒素の割合であるいわゆる C/N 比を把握し、多量の有機物の投入や未完熟の堆肥を避けるほか、窒素分を多く含む化学肥料を併用するといった手法もある。

また、一部の微生物（細菌、放線菌、藍藻、メタン菌など）は窒素固定という能力を有し、大気中の窒素分子をアンモニアに変換することができる。生成したアンモニアはすぐ微生物体内に有機窒素化合物に転化されるが、微生物が死んでから遺骸が分解され最終的にアンモニア態窒素、硝酸態窒素として植物に吸収利用される。この作用を生物学的窒素固定といい、年間固定された窒素量が 1.8 億トンに達し、工業的に合成されるアンモニア量に匹敵するといわれる。