

## ●特集 植物に対する代謝栄養——その4

## 作物生育と亜硝酸

北海道大学農学部教授 田 中 明

近年、硝酸態窒素肥料が出廻るようになって、アムモニア態窒素と硝酸態窒素の、作物生育に及ぼす影響の比較がいろいろ試みられ、それぞれの形態に対応した施肥上の注意事項が明かにされつつある。

これら両形態の、土壌中での変化の中間産物として亜硝酸が存在するが、この亜硝酸の作物に対する働きについては、あまり考えられていないので、本稿ではこの問題について論じてみることにした。

アムモニア態窒素が土壌中で硝酸化成を受ける場合には、亜硝酸を経ること、また土壌の通気状態が悪いと、硝酸が亜硝酸に還元されることは周知のことである。

しかし、このようにして生じる亜硝酸が、土壌中である程度の濃度で集積することはあまりないので、亜硝酸が問題とされたことは殆どなく、また、実際、農業上で今日問題が起きているというわけでもない。

ただ、こんな点についても或る程度の予備知識を持っておくことが、将来起るかも知れない問題を予測し、防止するために必要ではないかと考えたわけである。

たとえば、アミン・アミド類—亜硝酸塩の連係作用が、発がんにつながるといった説が出てくると、天然農作物にはどのくらい亜硝酸が含まれているのだろうか、といった疑問が出て来るわけである。

## 作物の生育と亜硝酸

だいぶ以前から、亜硝酸が作物の生育を阻害することが知られていた。

第1表は大麥、菜豆、トマトに対する亜硝酸の影響を示したものである。この表で明かなように、亜硝酸がある濃度以上になると、各作物の生育は阻害される。ただここで注意すべきことは、

pHが低い場合の限界濃度は極めて低いが、pHが高い場合には、pHが低い場合の10倍以上の濃度にならないと、害作用が現われないということである。

第1表 水耕条件下の各作物の生育に及ぼす  
亜硝酸濃度の影響 (新鮮重%) (ビンガム等 (1954))

pH	亜硝酸濃度 (NO <sub>2</sub> -N ppm)	大 麥	菜 豆	ト マ ト
4.0	0	10.0	27.0	52.0
	1	5.7	18.0	66.0
	2	2.8	5.2	41.0
	3	2.2	5.4	16.0
	4	1.6	3.9	6.3
6.0	0	6.4	19.0	106.0
	25	6.6	14.0	94.0
	50	3.4	4.8	8.7
	70	2.3	2.5	4.2
	100	—	1.8	2.0

第2表は、水耕した水稻の幼植物を1週間、各濃度の亜硝酸で処理した場合の結果であって、前の実験と同様、低pHにおいて亜硝酸の害作用が発現し易いことを示している。

亜硝酸の害を受けると根はまず黄化し、さらに進むと褐変し、また株の基部から枯死する。さらに高濃度の亜硝酸処理の場合には、植物体内で明かに亜硝酸が検出される。

このように低pHで亜硝酸の害が出易いのは、有害なのは未解離の亜硝酸であり、pHが高い場合には、解離して亜硝酸イオンとなると、害作用が弱くなるためであると解釈されている。しかし、高pHの場合にも、害作用が現われることは確実である。

なお、データは省略するが水耕で害作用が出ない程度の低濃度で、亜硝酸が供給された場合には、アムモニア態や硝酸態に比敵する程度に窒素源となり得る。

第2表 水耕条件下における水稻に対する亜硝酸の影響

pH	亜硝酸濃度 NO <sub>2</sub> -N ppm	乾物重葉鞘中		症 状
		NO <sub>2</sub> -N ppm (個体当g)(対新鮮物)		
4	0	6.4	0	正 常
	4	4.4	0	葉のしおれ 根の黄変
	20	4.1	2	株基部枯死 根の褐変
	100	4.0	20	//
	200	4.0	29	//
6	0	7.1	0	正 常
	4	7.6	0	//
	20	6.7	0	//
	100	4.0	3	葉のしおれ 根の黄変
	200	4.0	8	//

土壤中における亜硝酸の集積

先にも述べたように、土壤中で窒素化合物が形態変化を行なう場合、中間産物として亜硝酸が生成することは良く知られている。しかし、これが多量に集積して来るのは、むしろ特殊な条件下においてである。

亜硝酸の集積が関心を集めたのは、石灰質の弱アルカリ性の土壌が多い地域においてであった。アムモニアが亜硝酸を経て、硝酸に変化する場合、pHが上昇すると、第一段の反応の方が、第二段の反応よりもより促進されるために、pHが中性または弱アルカリ性となると、酸性の場合より、土壤中における亜硝酸の集積が多くなると考えられている。

また、温度が低下した場合には、第一段の反応速度の低下より、第二段の反応速度の低下の方が著しいので、低温下には、土壤中に亜硝酸が長期間高濃度で存在すると考えられる。

第3表は、上記の関係を示す実験結果の一例であって、高温では亜硝酸が一時集積するが、すぐ消失するのに対して、低温では長時間高濃度に保

第3表 土壤中における亜硝酸集積に対する温度および炭カル添加の影響  
(Mg NO<sub>2</sub>-N) (坂井・吉田, 昭和34年)

培養温度 (°C)	炭カル添加量 (対乾土%)	培 養 日 数				
		7	14	21	28	35
8	0	60	42	19	40	390
	5	104	92	165	617	1100
14	0	21	16	28	23	—
	5	440	1400	32	27	—

たれる。

なお、土壌水分が多く、通気不良の場合にも、亜硝酸の集積が長期間にわたって認められるという。

多量の窒素質肥料を施与した場合、窒素ガスや二酸化窒素ガス等として土壌から窒素が損失するが、これはpHが低い場合に著しく、pHが高い場合には、亜硝酸の土壌中での集積が問題となると考えてよいであろう。

多量の窒素質肥料が施与された場合には、肥料が土壌pHを変える可能性があり、施肥によって、もし高pH状態が出現した場合には、亜硝酸が集積する可能性

もあるわけである。

第4表はpHが中性に近い土壌に炭カル添加、無添加の両区を作り、これに各種の窒素質肥料を加え、通常の土耕栽培用ポット状態で畑状態に10日間保ち、土壌を分析した結果である。

その結果によると、尿素区においてのみ高濃度の亜硝酸の集積が認められており、硫酸区との比較では、この集積が尿素的分解による土壌pHの上昇と関係があると推論される。

なお、この種条件下における亜硝酸の集積は、硝酸態窒素の添加によっては起らないことは、下記の結果からもわかるが、他の報告においても同様なことが指摘されており、亜硝酸の集積はアムモニア態に由来するものであって、亜硝酸に由来するものではないと考えてよい。

もちろん、たとえば、水耕条件下で、培養液に対する通気が不十分な場合には、硝酸態から亜硝酸が生成するといわれており、条件次第ではこの

第4表 土壤中における亜硝酸集積に対する肥料の種類、炭カル施与の影響

肥料の種類	炭カル	pH	NO <sub>2</sub> -N (土壌濃液中ppm)	
			—	+
無 窒 素	—	6.50	0.1	
	+	8.05	0.1	
硝 酸 ソー ダ	—	6.04	0.2	
	+	7.59	0.3	
尿 素	—	5.70	47.0	
	+	7.59	250.0	
硫 安	—	4.47	4.0	
	+	6.83	2.5	

種の反応も、土壤中で起らないとはいえないであろう。

以上のことを総合すると、わが国では酸性土壌が多いので、土壌中に亜硝酸が多量に集積することは、あまり問題となっていなかったのであるが、酸性矯正が進み、さらに窒素施与量が増大して来ており、また、土壌のpHを少くとも一時的に上昇させるような肥料が用いられる場合には、亜硝酸が一時的にかなり高濃度に集積する可能性があることを忘れてはならない。

特に、多量の肥料が条施される場合に問題がある。また、肥料施与時に土壌温度が低い場合には、長時間、亜硝酸の集積が持続するので注意すべきであろう。

#### 土壌における亜硝酸集積と作物生育

北海道の畑苗代において、いわゆる“ムレ苗”が重大問題とされていた時代があった。

各種の調査が進むに従って、床土のpHが5.0以上の場合にその発生が著しく、硫酸灌注によって土壌pHを低下させると、“ムレ苗”を治すことができることを西潟氏が明かにした。

そして、炭カルの施与や石灰窒素の使用等によって土壌pHが高まった場合に、亜硝酸が集積することが“ムレ苗”発生の原因であると推論されるに至った。

坂井氏らは、この亜硝酸の集積の機作について詳細な研究を進めたのであるが、その後、氏らによって“ムレ苗”の直接原因はピシウム属の糸状菌が根に寄生するためであることが明かにされた。

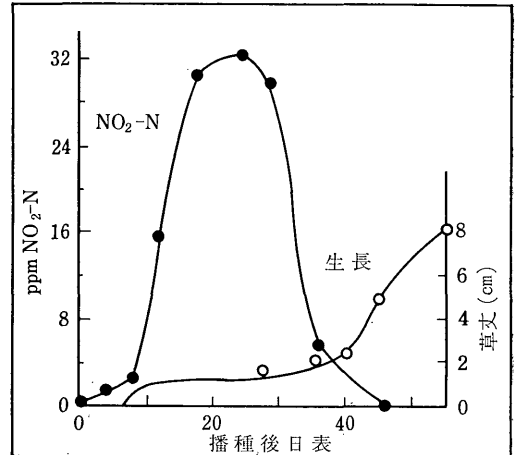
それで、pHが高い場合には、この糸状菌の発育が良好なために“ムレ苗”が発生し易いと考えられており、亜硝酸の集積そのものが、“ムレ苗”の原因であるとは、現在は考えられていないようである。

外国の文献によると、pHが7.7の土壌にレタスを生育させて、アムモニア態と硝酸態の窒素質肥料を比較したところ、アムモニア態の場合、黄化現象が起り、著しく生育が不良となることを認め、その原因として亜硝酸の土壌中における集積を挙げている例がある。

すなわち、アムモニア態を施与した場合の、播種後のレタスの生育経過および土壌中の亜硝酸濃

度の消長は、図のごとくであって、播種後、日を追って亜硝酸が集積し、これが高濃度の期間中はレタスは生育せず、40日後、亜硝酸が消失するに至って初めて生育を開始する。

レタスの生育と土壌中の亜硝酸濃度の関係  
(Paul等1965)



硝酸態肥料を使用した場合には、この亜硝酸の集積が見られず、発芽直後から生育が良好であった。これらのことから、亜硝酸の集積が、アムモニア態肥料で生育が不良であった原因であると結論しているのである。

カリフォルニアの弱アルカリ性土壌についての調査結果によると、40 ppm程度の亜硝酸態窒素が土壌中に集積し、これによって柑橘類の根が被害を受けるという報告もある。

先にも述べたように、亜硝酸は土壌pHが中性または弱アルカリ性において、集積する可能性があるが、その植物に対する毒性はpHが高い場合には小さいから、どの程度の濃度に集積があった場合に、実際害作用が発生するのかは、なかなか決めにくい点もあるようであるが、近年のように酸性矯正が進み、多量の窒素質肥料が使用されている条件下には、この問題が皆無であるとはいえないのではないかと、私は考えている。

以上述べて来たところから、土壌中に亜硝酸が集積すると作物の生育が不育となり、また或る程度作物体内に亜硝酸が集積する可能性があることは、否定できないということになる。

亜硝酸による生育阻害が、どの程度現実にかかる可能性があるかを見極めるためには、各種の調査が必要である。しかし、酸性矯正が過度に行な

われた土壌に対して、低温下に土壌pHを高めるような窒素質肥料が、多量に使用された場合に最もその可能性が高く、この種の組合せが起ることは当然考えられるので、注意しておく必要があると思う。

次に作物体内に亜硝酸が集積し、この集積が食品として問題を起す可能性があるか否かについて考えて見よう。

植物体内には多量の硝酸が集積し、そのために家畜に障害が起ることは、よく知られているところである。

これは、硝酸が胃中で微生物の作用により、亜硝酸に還元されるためである。各種の蔬菜にはかなりの硝酸が含まれており、その含有率は土壌中の硝酸濃度に強く影響を受ける。この硝酸は収穫後、時間が経過すると、ある程度亜硝酸に変化し、われわれが食べる蔬菜には多少の亜硝酸が含まれているようである。さらに漬物とした場合には、かなりの亜硝酸が生育する可能性もあるよう

である。

蔬菜類には、2,000~3,000 ppm の硝酸態窒素が含まれていることがあるのに対して、これまで報告されている例では、亜硝酸態窒素は数 ppm であるから、食品として亜硝酸が問題となるとすれば、生育している状態における亜硝酸よりも、むしろ、収穫後取扱中に、硝酸から生成してくる亜硝酸の方が、問題となる可能性が大きいのかも知れない。

しかし、第2表の稲の例では29 ppm という例がある。もちろん、このような極端な状態では生育が不良となるので、亜硝酸含有率よりもむしろ生育の方で問題が起るわけであるが、特殊条件下に亜硝酸を多量に含んだ蔬菜が生産されないとは限らない。

以上のことから、不必要なことかも知れないが、問題が起る前に、亜硝酸と作物生育のことを多少詳しく調べておくのも、良いことではないかと考えている。