

N-(2,5-dichlorophenyl) Succinamic Acid (DCS) の硝酸化成抑制効果

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	浪岡,日左雄 上田,実 小牧,倫男
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	46巻3号
掲載ページ	p. 69-75
発行年月	1975年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



N-(2, 5-dichlorophenyl) Succinamic Acid (DCS) の硝酸化成抑制効果

硝酸化成抑制剤 (DCS) とその応用 (第1報)

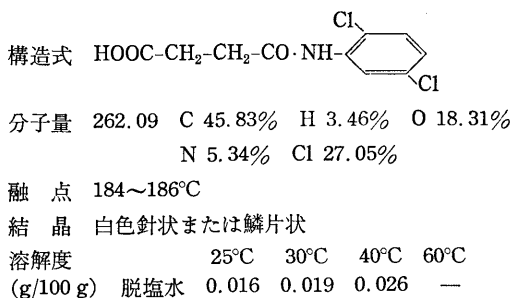
浪岡日左雄・*上田 実*・小牧 倫男*

硝酸化成を抑制する薬剤については、西原¹⁾、三幣ら²⁾をはじめ多くの報文があり、また硝酸化成抑制剤の利用面については渡辺³⁾の総説がある。

著者らも、施用窒素の効果を高めるために硝酸化成抑制剤 (以下硝化抑制剤) は重要な一手段であると考え、新しい硝化抑制剤の開発にとりくんだ。化合物の探索にあたり、特に留意したことは、硝酸化成抑制効果 (以下硝化抑制効果) が強いことと同時に、化学的に安定で化成肥料の工業的製造条件で揮散したり分解しないこと、および、化成肥料に混合した条件で長期間硝化抑制効果に変化がないことと、植物に対して薬害を示さないことなどである。化学的な安定が要求される理由は、硝化抑制剤は施肥窒素の効率を高めるのが目的であるから、窒素肥料や化成肥料と共用され、他の農薬のように単体で使用されることがまれなためである。かつて、硝化抑制効果の高い 2-トリクロロメチル-6-クロロピリジン (N-サーブ®)⁴⁾ が報告されたが、その揮散性のために化成肥料中に長期間安定に保持されず、ついに実用化に至らなかった。

著者らは詳細な肥料への添加試験や硝化抑制効果の試験より、硝化抑制剤として N-(2, 5-ジクロロフェニル) スクシナミン酸 (以下 DCS) がすぐれた性質を持つことを確かめた。DCS は 2, 5-ジクロロアニリン (硝化抑制効果は高いが、揮散性が強く肥料中に混入できない) と無水コハク酸よりほぼ定量的に合成できる。以下に種々な条件下における DCS の硝化抑制効果について報告する。

1. DCS の理化学的性質



* 住友化学工業株式会社 (新居浜市惣開町 5-1)
昭和 48 年 10 月 16 日受理
日本土壤肥料学雑誌 第 46 卷 第 3 号 p.69~75(1975)

ベンゼン	—	0.018	—	—
アセトン	—	4.156	—	—
酢酸	1.74	—	3.37	7.30

ナトリウム塩は水に可溶

7.25(17°C) 16.0(30°C) g/100 g H₂O急性毒性 マウス経口 LD₅₀ 1000 mg/kg 以上

2. DCS の安定性

硝化抑制剤を肥料に混合し製品とするためには、肥料の製造時に混入可能なのが望ましい。2, 5-ジクロロアニリンは、硝化抑制効果は高いが尿素や肥料塩と混合し、50°C で保存すると 1~2 週間で 20% から 95% 近くが揮散し失われていく。DCS の安定性を検討するため以下の実験を行った。

尿素 200 g を 500 ml ビーカーにとり、オイルバス中で溶融し DCS を粉末で 1.0, 2.0 g 添加し、経時に溶融尿素をサンプリングし固化した尿素中の DCS 含量を測定した。第 1 表に示すごとく、40 分以内であれば DCS の分解はみられなかった。

第 1 表 溶融尿素中における DCS の安定性

DCS 添加量 (%)	溶融温度 (°C)	溶融時間 (分)			
		直後	20	40	60
0.5	133	0.51	0.50	0.50	0.49
1.0	〃	1.01	1.01	1.01	0.99
0.5	140	0.51	0.50	0.49	0.48
1.0	〃	1.00	1.00	1.00	0.96

数字は DCS% を示す

つぎに化成肥料の製造条件での DCS の安定性を調べた。硝りん安系化成肥料は、りん鉱を硝酸とりん酸の混酸で分解し、アンモニアで一部中和した部分中和スラリーを原料の一つとして使用する。カリ塩や循環品に部分中和スラリーを混合し、ガスアンモニアで完全中和する。この中和時の反応熱を利用して高温造粒をする方法が一般的な製造法である。硝化抑制剤は、固体原料に混合し高温造粒条件 (120°C を越えることはない) に耐える必要がある。DCS についての実験結果は第 2 表に示した。DCS は化成肥料製造条件でも分解しないことがわかった。

第 2 表 化成肥料中での DCS の安定性
(DCS 1% 含有硝りん安系化成)

乾燥温度 (°C)	造粒温度 (°C)	100			120			
		乾燥時間 (hr)	1	2	3	1	2	3
80			1.04	1.04	1.07	1.07	1.08	1.09
100			1.05	1.06	1.05	1.05	1.07	1.05
120			1.05	1.06	1.09	1.10	1.08	1.09

数字は DCS% を示す

3. 実験方法

風乾し、10 メッシュの篩を通した土壌 50 g を 100ml 容三角フラスコに秤取し、一つの試験区に 8~12 フラスコ用意し、二つのフラスコを 1 組として分析に供し、結果はその平均値を用いた。試験に用いた土壌の性質を第 3 表に示す。

窒素源として用いた尿素やアンモニウム塩は窒素 (以下 N) として 10 mg (200 ppm), DCS は水溶性のソーダ塩として DCS 換算 0.25~1.0 mg (5~20 ppm) の範囲で添加した。土壌は畑条件にするために脱塩水で最大容水量の 60% に加湿した。フラスコは恒温室内に静置培養し、その期間中、2~3 日間隔で蒸発した水分を補給した。培養期間を経過したフラスコをとりだし、pH, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N を分析した。

pH は脱塩水を供試土壌 50 g に対し 125 ml 加え、ガラス電極で測定した。NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N は 1% カリウムアラムで抽出した抽出液を用いて分析した⁹⁾。NH₄-N の定量にはマイクロケルダール法、NO₃-N の定量にはフェノール硫酸比色法、NO₂-N の定量にはジアゾ比色法を用いた。

結果は 50 g の風乾土壌中に含まれる各 Nmg 数で表示した。硝化抑制効果の比較には、実験期間 (4~6 週) 内での硝化生成曲線の最大傾斜時の 1 週間あたりの NO₃-N の生成量 (mg/50 g 風乾土) を用いた。本報告では

この値を硝化指数と名づけた。

実験 1 DCS 濃度と硝化抑制効果

DCS を風乾土に対して 5, 10, 20 ppm 添加して硝化成を測定し、濃度と硝化抑制効果の関係を検討した。比較のために既知の硝化抑制剤ジアンジアミド (Dd) と揮散性が高く化成肥料中に長期間安定に保持できない 2,5-ジクロロアニリン (DCA) を用いた。供試土壌に寝屋川表土, N 源に尿素を用いた。培養温度は 30°C で行った。

実験 2 培養温度と硝化抑制効果

DCS 濃度と供試土壌は実験 1 と同じ条件。N 源として尿素と硫酸の 2 種を用い、培養温度は 20, 30°C の 2 水準とした。

実験 3 土壌 pH と硝化抑制効果

供試土壌は寝屋川表土, N/5 H₂SO₄ または N/10 KOH で土壌 pH を 4.0, 5.0 および 7.0 に調節して硝化成速度を測定した。pH は酸またはアルカリを添加した後細いステンレス棒で攪拌して 30 分間放置してから常法により測定して調節した。DCS 濃度は 10, 20 ppm の 2 水準, N 源としては尿素を用い、30°C で測定した。

実験 4 各種窒素化合物と硝化抑制効果

N 源に尿素, 硫酸, リン酸-アンモニウム, リン酸二アンモニウム, 塩安を用いて、それぞれの窒素の硝化成に対する DCS の効果を検討した。DCS 濃度 10 ppm, 培養温度 30°C で測定した。供試土壌は寝屋川表土を用いた。

実験 5 各種土壌と硝化抑制効果

供試土壌として第 3 表に示した土壌を用いた。DCS 濃度は 10, 20 ppm の 2 水準, N 源として尿素を用いた。培養は 30°C で行った。

実験 6 DCS の硝化抑制効果の持続性

寝屋川表土を用いて測定した。まず、DCS のみを土

第 3 表 供試土壌の性質

名称	米歴	採取地	pH		窒素含有量 mg/100 g 風乾土				灼熱減量 (%)	最大容水量 (%)
			H ₂ O	KCl	全窒素	NH ₄ -N	NO ₃ -N	有機態-N		
栃木土壌	水田	栃木農試	5.85	5.20	4.58	1.26	0.82	2.50	15.08	96.5
田無土壌	畑	東大田無農場	5.90	5.30	5.48	1.62	1.10	2.76	15.67	91.8
鴻巣(施肥)土壌	水田	農事試	5.90	5.15	7.12	3.76	0.86	2.50	9.14	58.5
鴻巣(無施肥)土壌	水田	同上	6.50	5.60	4.24	1.62	0.48	2.14	7.81	55.1
長野土壌	水田	長野農試	6.30	5.10	5.60	2.12	0.60	2.88	5.57	55.8
寝屋川土壌	休耕田 表土	高槻市別所新町	6.20	5.20	4.94	1.74	2.72	0.48	5.39	53.8
松山洪積土壌	果樹園	松山市東野町	5.15	4.22	7.56	2.00	0.72	4.84	7.61	52.5
松山水田土壌	水田	愛大農学部農場	5.92	4.98	10.16	6.14	2.34	1.68	5.39	52.6
松山砂岩土壌	畑	松山市久米町	5.60	4.30	10.40	3.98	1.06	5.36	5.44	46.8
松山花崗岩土壌	畑	松山市道後祝谷	7.48	6.30	7.16	0.88	0.94	5.34	3.91	40.2

壤に添加し、畑状態にして 30°C で培養した。DCS 添加量は 10, 20 ppm の 2 水準、前培養期間は 2 または 4 週間の 2 水準とした。前培養期間が経過してから尿素を添加し、前の実験と同様に 4 週間にわたり硝化化成を測定し、2 または 4 週間前に添加した DCS の硝化抑制効果を同時添加の場合と比較して、DCS の持続性を検討した。

4. 実験結果ならびに考察

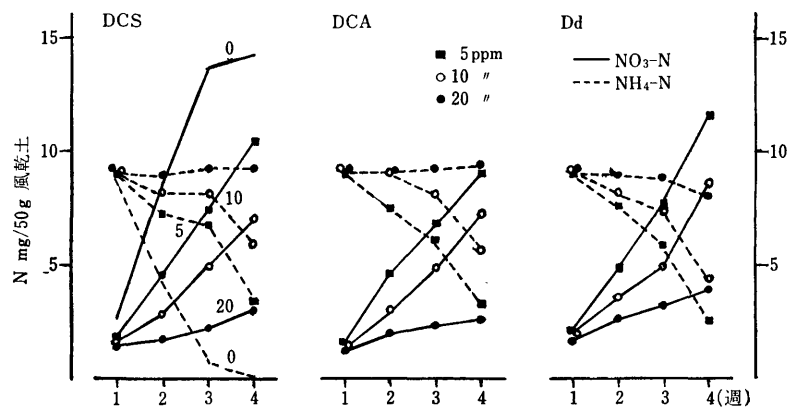
硝化化成は亜硝酸菌によるアンモニウムの亜硝酸への酸化、ついで硝酸菌による亜硝酸の硝酸への酸化の結果として起ることは既によく知られている。

硝化抑制剤は硝化化成のうち主として亜硝酸菌の作用を抑制する必要がある。硝酸菌の活性を主として抑制する場合は、土壤中に $\text{NO}_2\text{-N}$ が蓄積する。この $\text{NO}_2\text{-N}$ は植物に対して有害である^{6,7)} から蓄積することは望ましくない。尿素を多量に施用すると、尿素的加水分解により土壌 pH が上昇し遊離のアンモニアが生成し、硝酸菌の活性を抑制し、多量の $\text{NO}_2\text{-N}$ が蓄積することが知られている⁸⁾。このために硝化抑制剤の効果判定には、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の生成抑制のみでなく、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の動きにも注意する必要がある。

実験 1 DCS 濃度と硝化抑制効果

結果を第 1 図に示す。対照尿素区での N の動きをみると、まず始めの 1 週は尿素的加水分解が進行し、硝化化成はあまり起らなかった。硝化化成は 2~3 週間に急速に進み、3 週間で添加 N の 100% が $\text{NO}_3\text{-N}$ になった。このときの硝化指数は 5.6 であった。この間の土壌 pH の動きは、尿素無添加区では pH 6.7 から 5.8 へと変化が小さいが、尿素を加えると第 1 週で pH 7.0 へと上昇し、第 4 週では pH 4.9 へと著しく低下した。

DCS を尿素と同時に土壌に添加すると明かに硝化抑



第 1 図 DCS, DCA および Dd の硝化抑制効果

第 4 表 DCS, DCA, Dd の硝化指数

薬剤濃度 (ppm)	DCS	DCA	Dd
0	5.57 (100)	5.57 (100)	5.57 (100)
5	2.85 (51)	2.53 (45)	2.67 (48)
10	1.68 (38)	1.79 (32)	1.54 (28)
20	0.45 (8)	0.47 (8)	0.79 (14)

制効果がみられる。DCS の硝化抑制効果は DCA, Dd, とほぼ等しい。第 4 表はこのときの硝化指数を示している。5 ppm の添加で対照の 50%, 10 ppm で 30%, 20 ppm で 10% と硝化指数が低下した。pH の動きは、DCS 20 ppm 添加区では、pH 7.0 から 5.7 と低下の響が尿素区よりせまかった。

一般に畑状態では、硝化化成のために施用した $\text{NH}_4\text{-N}$ が $\text{NO}_3\text{-N}$ に酸化されると同時に土壌 pH の低下が起る。pH が低下すれば、土壌コロイドのカチオン吸着力も弱まる。それ故降雨などによる水の下方向への移動があると、 $\text{NO}_3\text{-N}$ のみならずカチオンの流出も進む。硝化抑制剤を使用すると、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の生成を抑制すると同時に土壌 pH の低下幅もせまくする。(実験 3 も参照) この結果として、土壌カチオンの溶脱をも減少させる効果が期待できる。船引ら⁹⁾は土壌カチオンの溶脱は $\text{NO}_3\text{-N}$ の溶脱とほぼ等量に進むことを報告している。

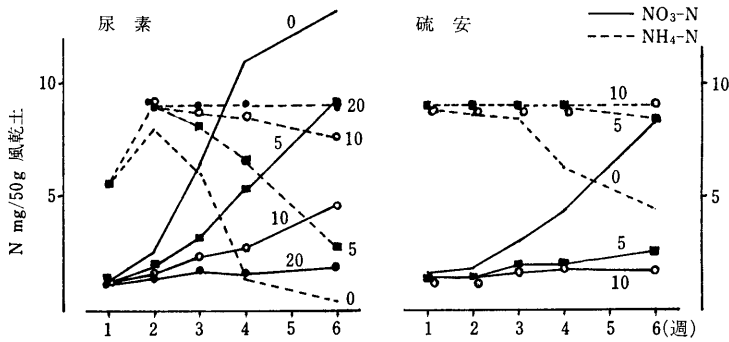
実験 2 培養温度と硝化抑制効果

20°C での結果を第 2 図に示す。実験 1 (30°C) と比較して、20°C では尿素のアンモニア化は 1 週間では完了せず、硝化化成が活発化するのに 2 週間を要した。また、硝化指数も 4.2 と 30°C のその 80% に低下した (第 5 表)。硫酸の硝化指数は 30°C で 2.7 (実験 4 参照) と尿素のその約 50% にすぎない。20°C では 1.6 と 30°C の約 60% となり、尿素よりも温度低下の影響を強くうけた。この条件で DCS

の効果を見ると、尿素の場合、DCS を 10 ppm 添加したとき、30°C では硝化指数は対照の 30% であったが、20°C では対照の 20% 以下に低下する。硫酸ではこの傾向がより強く認められる。つまり、低温条件では同じ濃度の DCS でより強い硝化抑制効果が得られる。

実験 3 土壌 pH と硝化抑制効果

土壌 pH を変えて尿素の硝化化成を測定すると pH 7 に近づ



第2図 20°CにおけるDCSの硝化抑制効果

pH 7.0 では 6.6 (114) pH 5 では 4.9 (85) pH 4 では 2.1 (36) となった。これに DCS を添加すると pH 6.8 と 7.0 ではほぼ 30% に抑制, pH 5 では対照の 10% にまで抑制した。この間の土壤 pH の動きをみると, 第1週の pH 値は設定した値より高くなった。これは尿素の加水分解の影響と土壤の緩衝能によるものと思われる。いずれも硝酸化の進行に伴って pH は低下し, 初期条件に関係なく pH 5 付近におち

ついた。DCS を添加し硝酸化を抑制すると pH はほとんど変動しなかった。

実験 4 各種窒素化合物と硝化抑制効果

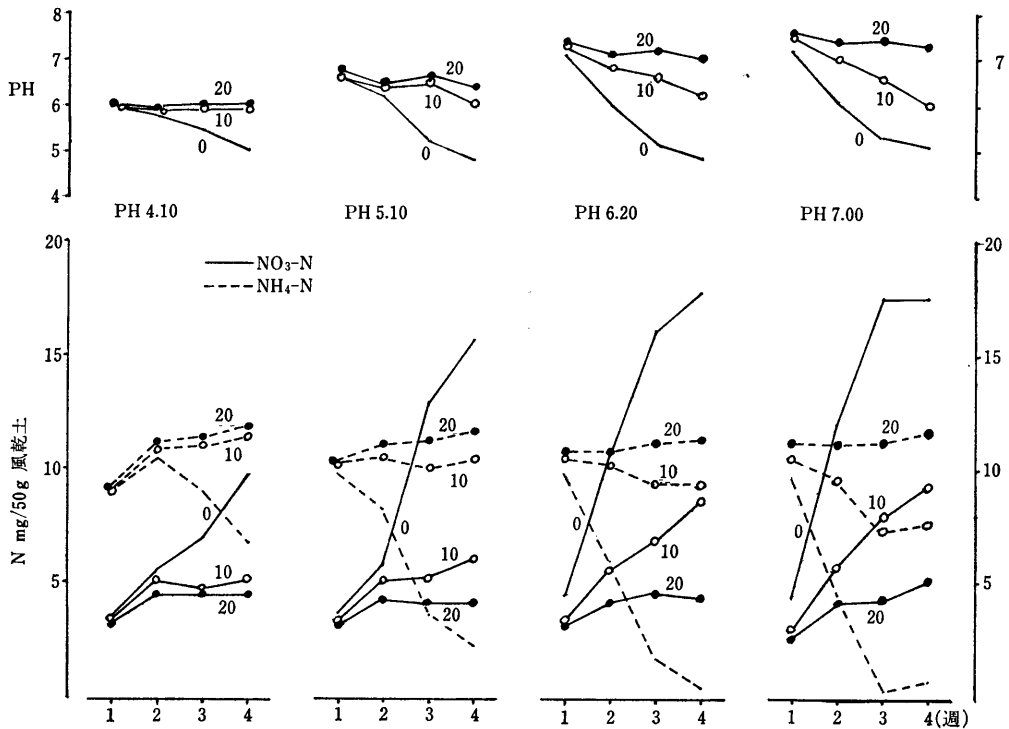
第5表 DCS の硝化指数に対する温度の影響

DCS 濃度 (ppm)	尿 素		硫 酸	
	20°C	30°C	20°C	30°C
0	4.2	5.6	1.6	2.7
5	1.8	2.9	0.3	—
10	0.8	1.7	0.05	0.9
20	0.1	0.5	—	—

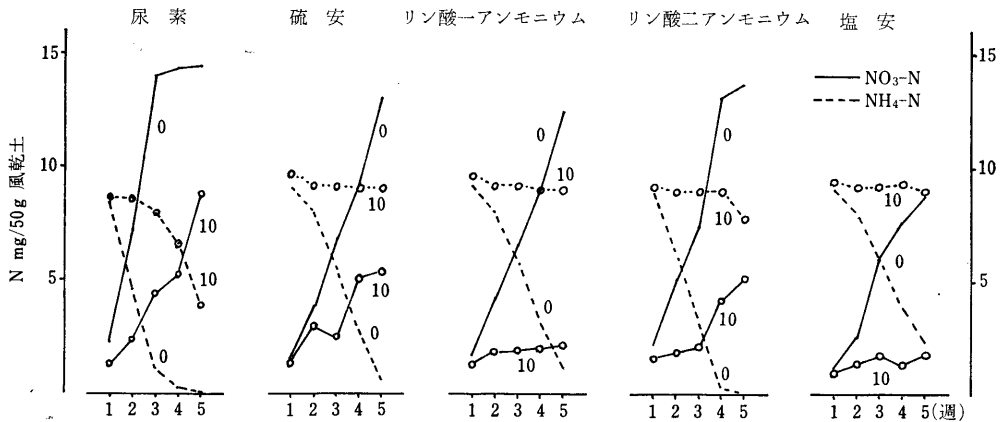
第6表 土壤 pH と DCS の硝化指数

DCS 濃度 (ppm)	土 壤 pH			
	4.1	5.1	6.8	7.0
0	2.1	4.9	5.8	6.6
10	0.1	0.6	1.7	2.1
20	0.0	0.6	0.4	0.8

くにつれ速くなった。(第3図, 第6表) 酸またはアルカリで処理しない土壤の硝化指数 5.8(100%) に対し,



第3図 土壤 pH と DCS の硝化抑制効果



第4図 窒素化合物と DCS の硝化抑制効果

第7表 窒素化合物の硝化指数

DCS 濃度 (ppm)	尿素	硫安	リン酸一アンモニウム	リン酸二アンモニウム	塩安
0	5.8	2.9	2.7	3.6	1.9
10	1.9	0.9	0.2	0.9	0.2

第4図、第7表は各種の窒素化合物について、その硝酸化成速度を調べたものである。尿素と他のアンモニウム塩の硝酸化成速度は、尿素(100として比較)リン酸二アンモニウム(62)硫安(50)リン酸一アンモニウム(47)塩安(33)の順であった。これは主として化合物を土壌に添加した時の初期土壌 pH の影響と考えられる。すなわち、化合物を加えない土壌の pH 6.02 に対し、尿素(6.92)リン酸二アンモニウム(6.22)は上昇、リン酸一アンモニウム(5.95)硫安(5.85)塩安(5.72)は低下した。この pH と硝酸化成速度には相関関係がみられる。

なお、塩安の場合には塩素イオンの影響¹⁰⁾と、リン安ではアンモニウムイオンの土壌コロイドへの吸着力が強い¹¹⁾ためか、pH から予測される硝酸化成よりかなりおそい傾向を示した。

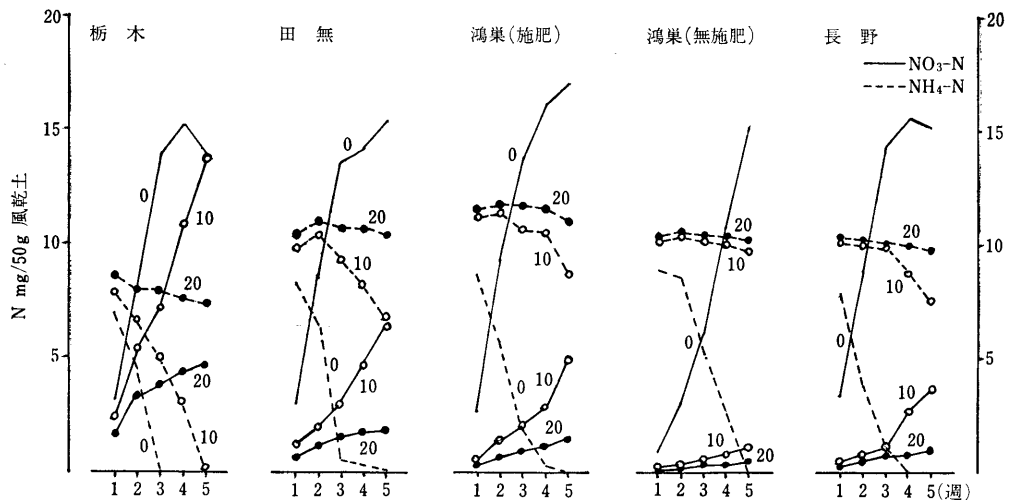
これらの化合物の硝酸化成に対する DCS の硝化抑制効果は尿素、硫安に添加したときより、リン酸一アンモニウム、塩安に添加したときの方が高かった。

実験 5 各種土壌と硝化抑制効果

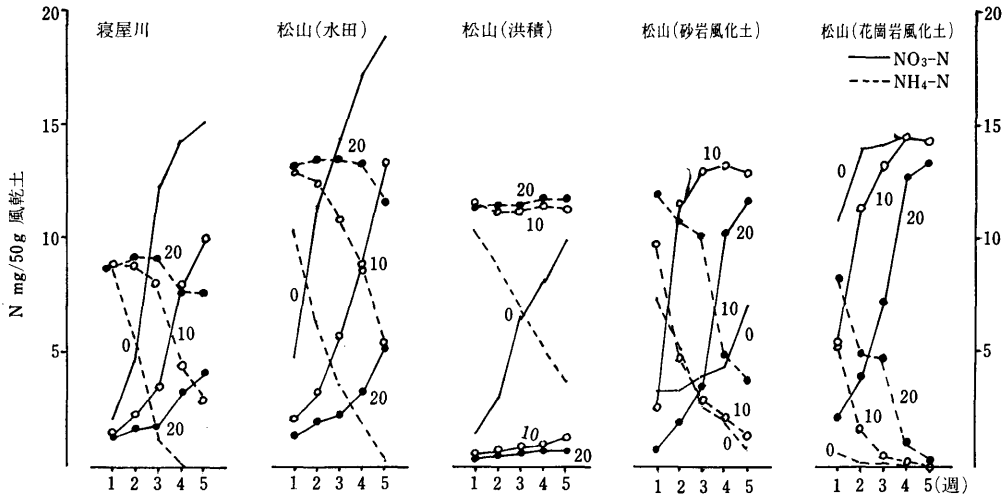
第5図 I、II および第8表に各種土壌別に DCS の硝化

第8表 各種土壌における尿素的硝化指数

DCS 濃度 (ppm)	栃木	田無	鴻巣	鴻巣(無施肥)	長野	寝屋川	松山水田	松山洪積
0	5.3	5.3	5.6	4.5	5.5	5.1	4.8	2.1
10	2.8	1.4	1.1	0.2	0.8	2.1	2.8	0.2
20	0.7	0.3	0.2	0.1	0.2	0.9	1.0	0.03



第5図-I 各種土壌と DCS の硝化抑制効果



第5図-II 各種土壤とDCSの硝化抑制効果

抑制効果を示す。松山砂岩風化土および花崗岩風化土を除き、他の各土壤はほぼ同一の硝酸化成を示した。それぞれの土壤の硝酸化成が活発になるまでの時間と、易分解性の有機N含量に差があるので一見大きな差があるようにみえるが、尿素の硝化指数は鴻巣無施肥土壤を除いて5~6ではほぼ同一であった。鴻巣無施肥土壤では、初めの1週間の硝酸化成はあまり活発ではないが、その後の硝化指数は5に近づいた。このように長い期間無施肥で経過した土壤は、土壤腐植も少ないが(第3表)、硝化菌数も少ないのではなからうか。

土壤の硝酸化成が土壤によって特長があるように、DCSの効果も土壤によって異った。DCSの効果最も強く現われるのが鴻巣無施肥で、つぎに松山洪積、長野、鴻巣の各土壤であった。それらについて田無、寝屋川、栃木、松山水田の順であった。

硝化抑制の効果は、土壤中の硝化菌数や活性度と硝化抑制剤の土壤中での存在期間などに左右される。たとえば、他の土壤に比し初期の硝酸化成活性のより低い鴻巣無施肥土壤では、DCSの硝化抑制効果はきわめて高く、10ppmで5週間NO₃-Nの生成を抑制した。

硝酸化成活性の増大が速い場合には、土壤中でのDCSの有効化、分解、吸着、揮散などに対する土壤の影響の相違によってDCSの硝化抑制効果に差が生ずる。火山灰土壤で土壤有機物含量やpHなどがほぼ同じ栃木と田無でもDCSの効果に違いがある。これは添加されたDCSの効果発現に対する土壤間の差によるものと考えられ、続報で検討したい。

松山花崗岩風化土は硝酸化成の活性がきわめて高く、かつ、砂質土のためか、硝化抑制効果の持続期間が短か

かった。

砂岩風化土は土壤緩衝能が低いため、尿素の加水分解に伴うpHの上昇により遊離のアモニアが生成し、硝酸菌の活性を阻害し、多量の亜硝酸が蓄積する^{8,11)}。そしてNH₄-N、NO₃-N、NO₂-Nの合計量が著しく低下する。これは橋田ら¹²⁾が報告した亜硝酸ガス揮散によるものと考えられる。DCSの硝化抑制効果はあまり強力でないが、NO₂-Nの蓄積、揮散の防止には顕著な効果を示している。

硝化抑制剤の利用として、施設でのガス障害の防止があげられている³⁾が、この結果は一つの例証になるであろう(第9表)。

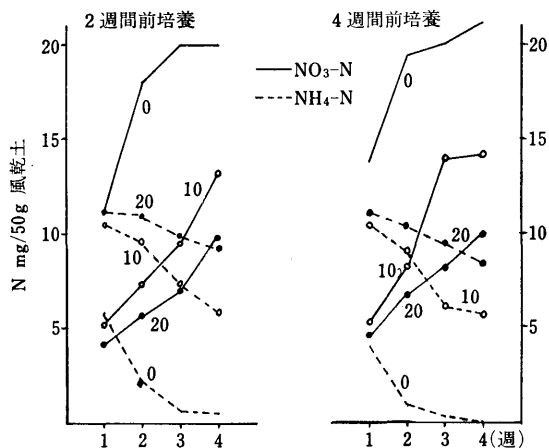
第9表 松山砂岩土壤での尿素の硝酸化成 (30°C)

処 理	窒素形態	1	2	3	4	5(週)
DCS 無添加	NH ₄ -N	7.32	5.15	2.67	2.00	0.87
	NO ₃ -N	3.30	3.28	3.95	4.44	7.10
	NO ₂ -N	0.58	0.32	0.15	0.18	0.00
	合計量	11.20	8.75	6.77	6.62	7.97
DCS 200 ppm 添加	NH ₄ -N	11.97	10.75	10.11	4.87	3.84
	NO ₃ -N	0.83	2.03	3.56	10.34	11.74
	NO ₂ -N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計量	12.80	12.78	13.67	15.21	15.58

数字は Nmg/50g 風乾土

実験 6 DCSの硝化抑制効果の持続性

第6図はDCSの硝化抑制効果の持続性を示したものである。尿素の硝酸化成速度は前培養により大きな変化はないが、2週間で添加した尿素態Nの大部分がNO₃-Nに酸化される。DCSを添加して2~4週間前培養し



第6図 DCS の硝化抑制効果の持続性

た土壤に尿素を添加しても硝化抑制効果は明らかに認められる。

つまり DCS の硝化抑制効果は4週間以上持続することを示している。しかし、抑制率は同時添加のものより低くなっており、この期間内に DCS の一部が無効化したことを示唆している。

以上の各実験では、風乾し、10メッシュの篩を通した土壤に水を添加して培養を開始したが、こうした系では硝化活性は初期の誘導期間を経た後増大を始める。硝酸化成は土壤条件(土性、温度、水分、pH など)によって影響をうけることは知られている¹³⁾。本実験結果からも培養温度 30°C、土壤 pH 7.0、土壤水分が最大容水量の60% 付近で硝酸化成が急速に進み、温度や土壤 pH が低下すると硝酸化成速度も低下することがわかった。

以上の種々の条件下で DCS の硝化抑制効果を調べ、充分実用に耐えることを確認した。すなわち、硝酸化成の早い条件で風乾土に対し DCS を 10 ppm 添加した場合、培養後1カ月間の NO₃-N 生成量は対照の約 50% であった。これに硝酸化成速度に対して負の要因となる低温とか、低 pH (尿素を硫酸とカリウム安、塩安等に変えることを含めて) が加わると、同濃度でより強い硝化抑制効果が得られ、また、低濃度の DCS で同じ効果が得られた。

5. 要 約

1) 多くの化合物の中から 2,5-ジクロロアニリンと無水コハク酸との反応物 N-(2,5-ジクロロフェニル) スクシナミド酸 (DCS) が硝化抑制効果が高く、物理化学的に安定で、工業的に生産される化成肥料中にも混入しうるので、その硝化抑制効果について検討した。

2) 3週間で添加尿素 (N として 200 ppm) の尿素態

-N の 100% を NO₃-N に酸化する硝酸化成活性を持つ一般的な土壤で、DCS を風乾土に対して 5 ppm 添加したとき、3週後の NO₃-N の生成量を対照の 50% に、10 ppm 添加では 30% に抑制、20 ppm 添加すると4週間ほとんど完全に NO₃-N の生成を抑制した。

3) 温度、pH、窒素化合物、土壤などを変化させて、DCS の硝化抑制効果を検討した。NH₄-N の硝酸化成は、温度 30°C、pH 7.0、土壤水分最大容水量の 60% で急速に進み、温度、pH の低下で硝化速度もおそくなる。このような条件では、DCS のより強い硝化抑制効果が得られる。土壤により DCS の硝化抑制効果が異なるが、これは土壤中の硝化菌の活性度とか、土壤中での DCS の有効化、分解、吸着、揮散などに対する土壤の影響の相違によるものと考えられる。

謝 辞 本研究を遂行するにあたり懇切なるご指導を賜った東京大学名誉教授三井進午博士に感謝します。

文 献

- 1) 西原典則：土壤の硝化作用抑制剤の検索とその利用に関する研究，鹿児島大学農学部学術報告，No. 12, 107~158 (1962)
- 2) 三幣正己：硝酸化成抑制剤に関する研究 (1)，農技研報告，B-23 号 79~145 (1972)
- 3) 渡辺敏夫：硝化作用と硝化抑制剤，植物の化学調節，2, 23-32 (1967)
- 4) GORING, C. A. I.: Control of Nitrification by 2-Chloro-6-Trichloromethyl-Pyridine. *Soil Sci.* 93, 211-8 (1962)
- 5) BALKS, von R.: Bestimmung des nitrat- und ammoniak Stickstoff in Boden, *Landwirt, Forschung*, 8, 7-13 (1955)
- 6) CURTIS, D. S.: Nitrite Injury on Avocado and Citrus Seedlings in Nutrient Solution. *Soil Sci.* 68, 441-50 (1949)
- 7) BINGHAM, F. T., CHAPMAN, H. D., DUGH, A. L.: Solution Culture Studies of Nitrite Toxicity to Plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 18, 305-8 (1954)
- 8) BROADBENT, F. E., HILL, G. N., TYLER, K. B.: Transformations and Movement of Urea in Soils. *Ibid.* 22, 303-7 (1958)
- 9) 船引真吾，永江幸江，坂本辰馬，薬師寺清司，奥地進：温州ミカンのライシメーター試験について (1)，肥料成分の流亡，土肥誌，34, 125-30 (1963)
- 10) 浜本正夫，榊清弘，藤田新七：化学肥料に関する研究 (第1報)，尿素化成の硝化速度について，土肥要旨集 4 集，91 (1958)
- 11) CHAPMAN, H. D., LIEBIG, Jr., G. F.: Field and Laboratory Studies of Nitrite Accumulation in Soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 16, 276-82 (1952)
- 12) 橋田茂和：ビニールハウス栽培の土壤肥料学的問題点，土肥誌，36, 274-83 (1965)
- 13) PARKER, D. T., LARSON, W. E.: Nitrification as Affected by Temperature and Moisture Content of Mulched Soils. *Soil Sci Soc Amer Proc.* 238-242 (1962)