

## シソの栽培に対する窒素源の効果

古谷, 貞治  
九州大学農学部食品分析学教室

<https://doi.org/10.15017/22935>

---

出版情報 : 九州大学農学部学藝雑誌. 21 (2/3), pp.293-301, 1964-12. 九州大学農学部  
バージョン :  
権利関係 :

## シソの栽培に対する窒素源の効果

古 谷 貞 治

Effect of nitrogen source on growth of *Perilla frutescens*

Sadaji Furutani

アンモニア塩、硝酸塩あるいは有機窒素化合物等の植物に対する窒素源の効果は植物の種類や生育条件、環境等によつて著しく異なつてゐる。たとえば畑状態では大部分の植物はその窒素源を硝酸塩の形で土壤から摂取するといわれている。しかし硝酸塩はアンモニア塩のように吸着保持されることなく雨水等によつて流亡し易いのでアンモニア塩や有機態窒素の形で施用される場合も少なくない。この場合アンモニアは土壤中で主として微生物の作用によつて硝酸態に酸化される。有機態窒素の場合も同様であつて種々の要因によつて分解されて先ずアンモニアを生じ、これから酸化される。この代表的なものは尿素であつて最も普遍的な有機肥料としてその使用量はますます増加している。土壤に投与された尿素は土壤中の微生物等のウレアーゼ作用によつて先ずアンモニアと炭酸ガスとに分解され、生じたアンモニアは植物に吸収同化される前に硝酸化細菌によつて硝酸態に酸化されると一般に信ぜられている。従つて土壤中の硝化反応は特に畑地でアンモニア塩や尿素等を窒素源として利用する場合不可欠の重要な過程である。土壤中で硝化反応に関与するものは普通硝化菌とよばれる微生物であつて、その代表的なものとしては *Nitrosomonas* および *Nitrobacter* が知られている。これらはいずれも chemo-autotroph に属するものであつて前者はアンモニアを亜硝酸にまで酸化する亜硝酸菌、後者は亜硝酸を硝酸に酸化する硝酸菌であり、これらの異なつた微生物群によつて硝化反応は土壤粒子の表面でリレー的に営まれている。しかしこれらの硝化菌を純粋にしかも大量に培養することは非常に困難であつて充分な量の菌体を得ることは容易でないのでこれらの菌による硝化作用の機構に関する生化学的な研究は殆ど行なわれていない。これに対して硝化菌の分布、硝化作用に影響する諸因子等については實際の立場から広く研究が進められて農業上に大きな貢献が行なわれている。

最近木学部の福島氏等(化学と生物, 1964, 2, 156.)

によつて砂で植物を栽培する研究が広く行なわれるようになった。砂は保水性あるいは諸養分の吸着力などが土壤に比べて著しく劣つてゐることから、砂での栽培は、ほとんど考慮されなかつたが、理論的には植物が必要とする諸要素を必要とする時期に必要な量だけ与えてやれば砂での植物の栽培も決して不可能ではなく、福島氏等によつて種々の作物について多くの成果が挙げられつつある。ここで窒素源としては硝酸塩が望ましいことは当然である。硝化菌は通常土壤粒子の表面に吸着されており又その含水量 15% 以下では硝化反応はほとんど停止するといわれている。これらの点から砂は硝化菌の棲息には好ましい環境であるとは思われず又硝化反応も土壤に比べて著しく弱いものと考えられる。従つて砂栽培に際しアンモニアや尿素を窒素源として利用することはほとんど考慮されていない。しかし他方植物はアンモニアだけでなく尿素分子をもそのまま吸収するという報告<sup>4,5)</sup>もあり、葉面散布などの投与方法<sup>6)</sup>も考案されてきた。又ウレアーゼ活性がほとんど認められないにも拘らず尿素を窒素源としてよく利用し得る植物も多く知られており更にアンモニアや硝酸塩よりも尿素でより顕著な生育を示す場合も報告<sup>7)</sup>されている。

他方土壤中の反応は非常に複雑であるので植物の生育が各種因子と直接関係があるのか間接的なものであるのか等特に結果の解析にあたり多くの困難を伴う。その点水耕試験は望ましいが畑状態等酸素を特に必要とする場合には使用されない。このような場合砂での試験が望ましいように思われる。このようないろいろの観点から窒素源として硝酸塩だけでなくアンモニア塩および尿素が植物の生育に直接有効かどうかを改めて検討した。

## I. シソ生育試験

## 実験方法

生育試験に用いた砂は九州大学農学部の構内、地下 2 ないし 3 m のものを採集した。これを工業用濃塩酸

に48時間浸漬した後、先ず水道水ついで蒸留水で塩素の反応がなくなるまで繰り返して十分に洗った。更に高圧殺菌釜を用い 120°C に2時間加熱殺菌しワグネルポット (1/50,000) に詰めて試験に用いた。

試験植物としては福島氏の奨揚もあつて青シソ (*Perilla frutescens* Britton) を用いた。種子の表面を出来るだけ消毒するため播種する前に1%合成洗剤(ミケソープ)溶液に20分、次に3.5%晒粉溶液に5分間浸し最後に殺菌水で十分に洗った。これをペトリ皿の中の適度に湿らせた濾紙の上に播種し 20°C の恒温器内に入れて発芽させた。約1週間後に発芽した種子をピンセットを用いて予め準備したポットの砂に注意深く移植した。植物の生長に従つて適当に間引き、あるいは移植し最後には1つのポットに30本の植物となるようにした。試験は各試験区に2ないし3ポットを用いた。これらのポットを冬から春にかけて 20°C 前後 (17°C~21°C) に保つた小硝子室に入れ、夜間は一定時間蛍光灯を点灯して1日当りの照射時間を13時間となるようにして花形分化を抑制した。

これに窒素源としてアンモニア、硝酸、尿素の何れかを含む培養液を1日に3回(午前9時、午後1時、午後5時)投与した。培養液はその都度新しく調製し各ポットに500ml 宛ピペットで砂の表面に均等に灌水、直ちにポットの下部の排水口を開いて外にとり出した。従つて培養液は毎回ごく短時間宛シソを植えた砂の層を通過するだけであつて、その時間だけシソの根は砂に保持されない培養液と接触した。培養液の組成は第1表に示すとおりであつてその pH は約 5.5

第1表. 培養液の組成。

成分	塩類	濃度 ppm
N	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 又は NaNO <sub>3</sub> 又は (NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	140
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	71
K <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> および KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	235
CaO	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	112
MgO	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	80
Fe	FeC <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> ·5H <sub>2</sub> O	1.3
B	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	0.5
Mn	MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.1
Zn	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.05
Cu	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.02
Mo	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.05

であつた。

比較のため灌水状態で試験することもあつたが、この場合には排水口を閉じて培養液を砂の表面すれすれになるまで加えて保持した。液は畑状態の場合と同様に1日3回新しいものと交換した。即ちポットの排水口を開いて排水している液を除き排水口を再び閉じて新しい培養液を加えた。

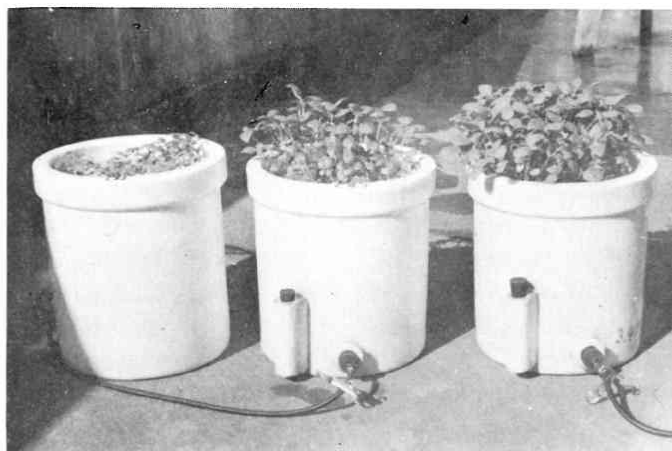
#### 実験結果

2月8日播種、2月15日に発芽した種子をポットに移植、3月1日第2回目の移植を行つて最終的に各ポット当り30本とした。初めの移植後硫酸アンモニア、硝酸ソーダ又は尿素を与えて行なつたシソの生育試験を1例として写真に示す。

第1図は移植後4日目(播種11日目)のシソ。左:アンモニア区、中:硝酸区、右:尿素区



第1図. 移植4日目(播種11日目)のシソ。  
左:アンモニア区, 中:硝酸区, 右:尿素区



第2図. 移植19日目(播種26日目)のシソ。  
左：アンモニア区，中：硝酸区，右：尿素区

ものはすでに生育の遅れが認められ若干の傷害もあらわれた。第2図は19日目すなわち播種後26日目のものであるが初めの傾向は引続いて認められた。第2回移植直後植物は硝酸区において最も元気がよく尿素区では多少遅れたが再び活潑な生長を開始した。しかしアンモニア区では第2回の移植はそれまでに比較的よく生育した個体を選んで行なつたがそれ以後の生育

もほとんど期待されなかつた。こうして硝酸区と尿素区とから60日後に第3図にみられるようなシソが収穫された。こうして尿素を唯一の窒素源とした培養液を用いてシソを砂地で栽培したが従来の常識とは異なつて硝酸区に劣らない良い収量が得られた。しかし細根は僅かながら硝酸区のものに比べて短く、かつ多少リグニン化して褐変していた。

また減水状態でも尿素区の生育は硝酸区のものに劣らなかつたが水面の少し上の部分から新しい根を生じていた。

これらの生育試験はいずれも塩酸処理殺菌操作を行なつた砂での栽培試験であつて、同一場所から採集した砂を前処理することなくそのまま用いた試験では硝酸区、尿素区だけでなくアンモニア区でもかなりよい生育がみられた。



第3図. 収穫シソ(移植60日目)。  
左：硝酸区，右：尿素区

## II. 窒素源の変化

上述のようにシソを砂に植えた場合でも尿素を窒素源としてよく生育することが確かめられた。この事実は尿素そのものが植物の根から吸収され組織内で同化利用されている可能性をも示唆するが、一応これは別として従来の概念からすれば、砂地でも土壌の場合と同様に程度の差はあつても尿素から硝酸が生成されていると推定される。しかも培養液をポットに加え直にその排水口から除いているので砂層を通過する時間はごく短いことおよび砂の保水性は低く又細菌を吸着保持する力も弱くしかも砂は予め殺菌処理を行なつていることなどから、硝酸塩投与区に劣らないだけの植物

の生育を支持するためにはこの硝化反応はかなり強いものでなければならない。これらの事実を明らかにし上記尿素による栽培試験の結果に根拠を与えるため投与した培養液を回収して窒素源の変化を追及した。

#### 実験方法

生育試験に用いたものと同一組成の培養液 500 ml を午前 9 時に試験ポットに投与し常法通り直に排水口から回収した。これを午後 1 時および 5 時にも繰り返して植物に与え直に回収した。この操作によつて硝酸およびアンモニア培養液の pH はほとんど変動しなかつたが尿素区のもの 5.5 から 6 ないし 6.5 に上昇した。これらの回収溶液について出来るだけすみやかにアンモニア、硝酸、尿素および反応の中間体と考えられる亜硝酸の含量を測定した。測定は遅くとも採集の翌朝までには行なつたが、この場合はもちろん 1 日 3 回投与の間にも回収した培養液は冷蔵庫に保存した。

各窒素化合物の測定は大村等<sup>9)</sup>の記載に従い試料 1 ml 中に 2 ないし 4 r 窒素を含むように適当に希釈した後比色法によつて次のように行なつた。

**硝酸：**試料 5 ml に水酢酸 1 ml および 10% 尿素溶液 1 ml を加え 100°C に 10 分間加熱して混在している NO<sub>2</sub> を除く。次いで 85% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 15 ml を加え室温まで冷却後 1% 2,4 キシレノール水酢酸溶液 1 ml を添加し 30 分間放置する。これを 200 ml 容分液漏斗に蒸溜水で洗い込み最終容量を 100~150 ml にする。次にトルエン 10 ml を加えよく振盪し静置して 2 層に分ける。水層を除きトルエン層だけを残す。これに水 100~150 ml を加え再び振盪してトルエン層を洗い静置後水層を除く。この洗滌操作を更に 1 回行なう。最後に 0.4 N NaOH 5 ml を加え分液漏斗を静かに 2~3 回反転してトルエン層と接触させるとアルカリ層は黄色を呈する。このアルカリ層を分離し日立分光光度計 EPU-2 型を用い 410 m $\mu$  でその吸光度を測定しこれから硝酸態窒素の量を求めた。85% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> およびキシレノール試薬を添加した際白濁することもあつたがトルエンおよびアルカリ転溶を繰り返した最終の測定には何等の支障もなかつた。

**亜硝酸：**常法通り Griess 試薬を用いジアゾ反応に基いて比色測定した。即ち試料 10 ml にスルファニル酸および  $\alpha$ -ナフチルアミンを 1 ml 宛添加しよく混合、室温に 5 ないし 20 分間放置した後日立光電比色計 EPO-A 型、緑色フィルター、又は分光光度計 525 m $\mu$  で吸光度を測定し亜硝酸の含量を求めた。

**アンモニア：**鋭敏なインドフェノール比色法により

測定した。試料 1 ml にアルカリ性フェノール溶液 1 ml、燐酸緩衝液 (pH 9.8) 7 ml、0.05% ニトロプルシッドソーダ溶液 0.5 ml およびアンチホルミン溶液 (有効塩素 4%) 0.5 ml を加えて全量を 10 ml とし 20°C 以上に 30 分間放置後光電比色計、赤色フィルターを用いて測定した。

**尿素：**Conway 装置の外室に試料 2 ml、0.2 M トリス緩衝液 (pH 7.5) 0.2 ml および市販結晶ウレアゼ 100~300 r を溶かした 0.5% アルブミン溶液 0.5 ml~1 ml を加え、一方内室に 0.002 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2 ml を入れる。45°C ないし 50°C に 30 分間放置して尿素を完全に分解した後外室に K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 飽和溶液 1 ml を加え 35°C で 2 時間拡散させる。内室から H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液 1 ml を採り出し上記方法によつてアンモニア含量を測定、遊離のアンモニア含量を補正して尿素態窒素の量を求めた。この場合はアンモニアを Conway 装置で拡散を行わずに直接発色させた場合よりは発色度が若干低い。Conway 法によつては少なくとも 1 r ないし 7 r の尿素態窒素の範囲に亘つて吸光度と尿素含量とは直線関係を示し、しかも硫酸で求めた標準曲線と完全に一致した。

中間体としては更に次亜硝酸およびヒドロキシルアミンも考えられるが前者は極めて不安定であつてその検出はほとんど期待されず、後者についても数回試みたが培養液に含まれている多くの塩類のために沈澱を生じその検出には成功しなかつた。しかし硝化菌の特性を考慮する時、中間体としては亜硝酸の意義が最も重要であるので上記 4 種の測定で一応の目的は達成される。

#### 実験結果

測定はシソの生育実験を通じて数日間隔に行い何れも類似の傾向が認められた。第 2 表にその 1 例として移植 2 週間後のものを示す。

第 2 表. 培養液中の窒素源の変化。

培養液	窒素化合物増減 N, ppm			
	NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO
アンモニア区	- 7.0	+0.06	+ 1.4	
硝酸区	+ 0.2	+0.5	- 8.0	
尿素区	+50.6	+1.3	+60.0	-112.0

アンモニア区の生育は非常に遅れたが移植にはそのうちでも比較的生育の進んでいるものを選んだ。従つて本実験の各ポットは植物の生育状態に関する限り

はなはだしい差はなかつた。

培養液は各試験区ともにごく短時間試験ポットを通しただけであるが、硝酸塩の吸収および還元、アンモニアの酸化が起つていることは明瞭である。特に尿素区において尿素の減少およびアンモニアならびに硝酸の蓄積が顕著に認められた。ここでとくに興味深いのは尿素が他のものに比べてとくに著しい変化を受けることである。尿素がアンモニアを経て硝酸に酸化された後に植物によつて吸収同化されるものであるならばアンモニア区の硝化作用も尿素区と同等あるいはそれより大きくなるものと思われる。しかし尿素の硝化速度は硫酸のそれよりも大きいのが普通であるといわれているが第2表の結果はその差が異常に大きい。

又硝化の効率は土壤によつても異なると思われるので供試砂と同じ場所から採取し塩酸処理、殺菌等の前処理を行うことなくそのままの砂を濾斗に詰めアンモニア区および尿素区の培養液を通しただけで NO<sub>2</sub> および NO<sub>3</sub> の生成量を測定したが、その結果は第3表に示す通りである。ポット試験に比べて小規模のものであるが、生育試験に用いた砂の天然の微生物群はアンモニアからの硝化反応が尿素からのものよりも大きいことを示している。

もちろん試験に用いた砂は塩酸処理、高圧殺菌を行

第3表. 未処理砂での硝化反応。

培 養 液	生 成 N, ppm	
	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>
アンモニア区	+0.25	+4.5
尿 素 区	+0.04	+1.0

つているので微生物群の状態は未処理のものと同じであると云うことは出来ない。しかし硝化反応が砂の中の微生物の作用にのみよるものであるならばシソの生育実験中に外部から再び汚染し培養液の投与に応じて増殖したものと考えられる。従つて第2表の結果から尿素は硝化に関与する微生物群に対しアンモニアよりも良好な環境を提供し菌の増殖あるいは活性を促進すると推定される。さらに尿素は微生物だけでなく植物によつても硝酸に酸化されることおよびアンモニア酸化系とは異なつた未知の他の機構によつても尿素から硝酸を生ずる可能性があるとも考えられる。

これらの推定を証明するために先ず次の実験を行なつた。アンモニアおよび尿素培養液で常法通りシソを生育させ移植後40日目にこれを取り除く。砂をポットから出して各區別にそれぞれよく混合する。これを別々に均等に2分し再びポットに詰める。引続いて數

第4表. シソ収穫後の砂による窒素源の変化。

試 験 砂	培 養 液	処 理 日 (取 穫 後)	窒 素 化 合 物 増 減 N, ppm			
			NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO
アンモニア区	アンモニア	1	-5	±	+0.4	
		2	-2	±	+0.3	
		3	-1	±	+0.3	
		4	-1	±	+0.4	
		5	-1	±	+0.5	
		6	-1	±	+0.6	
	尿 素	1	+80	+0.07	+2.4	-95
		2	+55	+0.15	+2.0	-72
		3	+50	+0.50	+4.0	-67
		4	+65	+0.70	+7.0	-75
		5	+70	+0.55	+10.0	-87
		6	+70	+1.20	+13.5	-89
尿 素 区	アンモニア	1	-5	0	+1.4	
		2	-2	0	+1.2	
		3	-3	0	+2.1	
		4	-5	0	+2.0	
		5	-4	0	+2.0	
		6	-3	0	+1.7	
	尿 素	1	+46	+0.94	+30.5	-105
		2	+31	+1.05	+20.5	-91
		3	+55	+0.82	+26.5	-98
		4	+55	+0.62	+26.4	-95
		5	+63	+0.70	+27.0	-100
		6	+71	+1.02	+27.2	-103

日間アンモニアあるいは尿素を含む新鮮な培養液を常法通りこれに投与しその変化を追求した。

第4表の結果から先ずシソをアンモニアで生育させた砂であつても、尿素で生育させた砂であつても、尿素からの硝酸生成量はアンモニアからのものよりも高く数倍ないし20倍にも達することが確かめられた。硝酸の生成が植物の生育試験中に空気中などから汚染した後に増殖した微生物群の作用にのみによるものとするれば少なくともアンモニア区、尿素区ともにその砂のシソ収穫直後の微生物群はそれぞれ類似している筈であるが、両区ともに尿素からの硝酸生成量はアンモニアからのものに比べて既に第1日から著しく大きい。また尿素の減少量もアンモニアの減少量の数10倍にも達する。従つて尿素の同化系あるいは尿素からの硝酸の生成にはアンモニアからの硝化作用とは異なつた別の機構が存在することも推定される。

一方アンモニアからの硝酸生成量あるいは尿素からの硝酸生成量は何れも尿素区の砂においてアンモニア区の砂によるものよりも数倍大きくとくに植物除去直後の尿素区の砂による硝酸生成はアンモニア区の10数倍に達した。こうして最高の硝酸生成は尿素を窒素源としてシソを生育した砂により尿素から達成されることが明らかにされた。

尿素をアンモニア区の砂に新しく与えると先ず亜硝酸の生成が直に増加し始めるが硝酸の生成量の増加は多少これに遅れる傾向も見られたしかしその増加の割

合は大きかつた。これに対してアンモニアの投与はアンモニア区、尿素区ともにその硝酸生成能の増加を惹き起すとは認められない。従つてこの場合硝化反応はすべて砂の中の微生物の作用に基くものと考えられるのでアンモニアからの硝酸生成に関与する微生物群は尿素からのそれとは異なるか、あるいは微生物群はアンモニアの投与で既に平衡に達して、これ以上はアンモニアによつては増加しないが尿素の投与はさらに効率よく菌を増殖させるかまたは菌の硝化能を促進させるものと考えられる。

他方尿素区における硝酸生成能も植物の収穫時にすでに一定に達していると考えられる。これとは逆に尿素からのアンモニアの蓄積はアンモニア区において多少大きいような傾向も認められるが顕著な差はなかつた。しかしこのことは必ずしもウレアーゼ力の強弱を示すものではないことは硝酸生成がアンモニアを経由して行なわれると考えた場合明らかである。

これらの観察は試験に先だつて使用する砂を殺菌しているとはいえ実験は無菌状態で行つたわけではないので、砂による硝化反応がその中に存在する微生物の作用にだけ基因するものとするれば尿素はこれら微生物の増殖あるいは活性にはなほだ効果的であると推定される。

次に発芽種子を常法通り1週間日にポットに移植しそのまま生育させた。この期間中シソの生長に応じて時々培養液の窒素源の変化を測定した。移植後38日

第5表. 硝酸化成に対する植物の影響。

試 験 区	移 植 後 の 日 数	窒 素 化 合 物 増 減 N, ppm			
		NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO
アンモニア区	1	- 1.0	0	0	
	7	- 4.0	0	+	
	22	- 4.0	0	+0.2	
	37	- 8.0	+0.01	+0.14	
硝 酸 区	1	0	+0.01	- 2.0	
	7	+ 0.2	+0.4	- 5.0	
	22	+ 0.5	+0.4	-13.0	
	37	+ 0.2	+0.4	-14.0	
尿 素 区	1	+ 0.2	0	0	- 0.3
	7	+ 2.8	+ 0.3	+ 2.1	- 10.0
	22	+45.0	+22.4	+15.8	- 89.0
	37	+43.0	+22.0	+36.0	- 95.0
	植 物 除 去				
	1	+50.0	+22.5	+20.0	- 96.0
	2	+60.0	+21.0	+20.5	-104.0
	3	+75.0	+12.5	+21.0	-110.0
	4	+74.5	+11.0	+22.0	-110.0
	5	+77.5	+ 8.0	+22.6	-109.0
	6	+73.0	+ 5.3	+22.0	-110.0

日に砂の損失がないように注意して試験植物を全部抜きとり、尿素区だけはさらに6日間ポットの砂層に培養液を通して窒素化合物の増減を測定した。

植物の生長に伴つて窒素源の同化作用も増加することは当然考えられるところであつて第5表から明らかなように各区ともに程度の差はあるがシソの生長に応じて窒素源の減少量は増大した。またこれに伴つてとくに尿素からの硝酸の生成量も増加した。しかしアンモニア区では砂での生育が他区のものに比べて非常に悪かつたが同様にアンモニアの酸化も増加せず硝酸の生成量はごく微量のまま変動しなかつた。シソの生育試験において移植直後は硝酸区のものに比べて非常に悪かつたが同様にアンモニアの酸化も増加せず硝酸の生成量はごく微量のまま変動しなかつた。シソの生育試験において移植直後は硝酸区のものに比べて非常に悪かつたが同様にアンモニアの酸化も増加せず硝酸の生成量はごく微量のまま変動しなかつた。シソの生育試験において移植直後は硝酸区のものに比べて非常に悪かつたが同様にアンモニアの酸化も増加せず硝酸の生成量はごく微量のまま変動しなかつた。シソの生育試験において移植直後は硝酸区のものに比べて非常に悪かつたが同様にアンモニアの酸化も増加せず硝酸の生成量はごく微量のまま変動しなかつた。

他方尿素区におけるアンモニアおよび亜硝酸の集積も植物の生長に伴つて増加するが22日目ではすでに一定値に達しそれ以降はほとんど変動なく硝酸の生成量だけが増加した。シソをとり除くと尿素からの硝酸の生成率はただちに約60%に低下し引続きポットに尿素的供給を続けても回復しなかつた。これは第4表でも明らかなように尿素区の砂による尿素からの硝酸生成率あるいは硝酸化細菌の活動は飽和点に達していることを示すものであつて、植物による吸収を考えると硝酸化の40ないし50%は植物そのものの作用によるものと推察される。しかも培養液は単に砂層を1日に3回通すだけであつて植物の根との接触は比較的短期間であるので、アンモニアを経由するか、あるいは他の代謝経路を通るにせよ、植物とくに根を持つ尿素からの硝酸化威力はかなり強いものであると思われる。

同時に尿素区において尿素からの硝酸生成が亜硝酸の蓄積と平行しないことも認められた。上述のように硝酸の生成量は植物を取り除くまでその生長に応じて増加しているが亜硝酸の量はそれ以前ですでに一定になつた。また植物を除いた後2日間までは変動がなくそれ以後において急激に減少した。これはシソそのものの作用というよりも亜硝酸菌がこれと密接な関係を持つことを示唆し植物の除去によつて菌の作用が急激に低下したと考えられる。植物の除去が砂の微生物群

の数も低下させるとは考えられないことはアンモニアの集積が植物を除いた後も低下することなく増加の傾向を示すことから推定される。しかし3日目で一定値に達したことはこれら微生物の増殖に必要な因子が植物からも供給されていることを示唆する。

いずれにせよ植物自体恐らくその根が尿素から硝酸を生成する能力を持っていることが示されたのでこのことをさらに明確に証明するために次の実験を行なつた。尿素区の1つのポットで生育させた移植後55日目のシソ20本を出来るだけ根の損傷がないように注意して抜き取り水で繰り返しよく洗つて附着している砂を完全に除く。このうち10本は収穫の前日にその葉を全部摘み取つておく。葉をつけたままのもの、摘み取つたものそれぞれ10本ずつ一纏めにし保水性を与えるためにその根を滅菌ガーゼで包む。500 ml 容ビーカーに尿素培養液を200 ml ずつ入れこれに根の部分だけを1~2分間浸す。ポット試験の場合と同じように1日3回浸した後培養液について窒素化合物の増減を測定した。対照としてシソの根を包むのに用いたのとはほぼ同じ量の滅菌ガーゼだけを同時に培養液に浸したがアンモニア、亜硝酸、硝酸の生成および尿素の減少いずれもほとんど認められなかつた。第6表にその結果を示す。

第6表。シソの根による尿素の変化。

試験植物	窒素化合物増減 N, ppm			
	NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO
完全区	+5.8	+0.07	+5.1	-32.0
摘葉区	+6.8	+0.03	+1.7	-21.0

シソの根を尿素培養液に長時間浸すだけで尿素の減少のほかアンモニア、亜硝酸および硝酸がかなり生成することが明らかに認められた。しかもアンモニアおよび亜硝酸の生成は植物の葉の有無にはほとんど影響されないが尿素の減少および硝酸の生成は葉を摘み取るによつてかなり低下した。シソの葉は勿論砂栽培の場合と同様に尿素溶液には浸しておらず根が接触するだけであるが葉は養分の吸収等のほか植物全体の生理的活性に重要な関係があつて根の硝化反応にも影響するものと思われる。

## 考 察

シソの栽培実験は先ずこの植物も窒素源その他の諸要素を適切に与えれば砂地でも十分に生育し良い収穫



が得られることを明らかに示した。この場合窒素源としては硝酸塩が有効であり硫酸では生育が遅れ、しばしば傷害も起こつてその収穫も期待されなかつたが、このことはこれまでの知識から容易に理解される。しかし尿素でも硝酸塩に劣らずよい生育を示すことが確かめられたことははなはだ興味深い。しかしこのような窒素源の効果とくにこれまでの常識とは異つて尿素も砂栽培に有効であるという事実を実験的根拠を与えることが必要である。このため硝化反応と関連して窒素源の変動を追及することは有効であつて、ポットを用いた砂栽培では投与した培養液が比較的容易に回収出来るのでこの目的を達成するに良い方法である。こうして砂において予め塩酸処理、殺菌操作を行なつたにも拘らず生育実験の初期から硝化反応が起こることが確かめられたことは生育試験に実験的根拠を与えるものである。しかも尿素からの硝酸の生成量がアンモニアからのものより著しく多いことは植物の生育に必要な硝酸が尿素区では充分に生成されその供給が円滑に行なわれていることを示すものであつて生育実験の結果ともよく一致する。

砂の場合 140 ppm というアンモニアの投与量は 500 ないし 1000 ppm という普通のポット試験に比べるとかなり少ないが砂の吸着能等を考えると植物にとつては過大でありそのため葉害を生じ生長を妨げるということも考えられる。その点尿素では少量ずつアンモニアを生じこれが逐次硝酸に酸化されるので傷害はあらわれないのかも知れないが、尿素区でも 50 ppm ものアンモニアの集積が起こつている。これらの点よりもむしろ硝酸の生成量は尿素区においてアンモニア区のもの数 10 倍にも達するということが重要である。培養液の投与は 1 日 3 回しかもただちに排水口を開いて外にとり出しているので単に砂の層を短時間で通過したに過ぎないが窒素源にかなりの変動が起つていることを示す。もちろん使用した砂にも多少の保水力は認められ約 26.4% であつたので、培養液の投与の間に窒素源が砂の間に保持されて変化を受ける可能性も無視されない。

3 種の窒素源の比較はとくに尿素の減少が顕著なことを示した。この大部分はアンモニアの蓄積および硝酸の生成で説明されるが、いずれにせよ尿素が非常に反応され易く多量の硝酸を生成し得ることはこれが砂栽培でも窒素源として有効なものであることを示す特性の一つである。しかし試験に用いた砂は予め塩酸処理および殺菌操作を行つているので硝化反応等が砂の

中の微生物群の作用によるものとすればこれらは生育実験中に外部から再び汚染し増殖したものと考えられる。従つて尿素の投与はこれらの微生物の増殖、機能の活性化を促すものと推定される。もちろんアンモニアも類似の効果を示すものと考えられるがその効率は尿素が著しくすぐれている。これらはアンモニア区および尿素区の植物収穫後の砂を用いた実験の結果からも明瞭に示される。すなわちアンモニア区あるいは尿素区の砂をそれぞれ均等に二分し、ただちに硝化作用を試験したところそれらは何れもそれぞれ同一の微生物群であるにも拘らず尿素からの硝酸の生成量はアンモニアからのものよりも多く、またアンモニア区の砂に尿素投与を行うと硝酸生成量は逐次増加したがアンモニア投与では増加は認められなかつた。

またシソの収穫前後におけるポットによる窒素源の変動から硝化反応は植物の根によつても行なわれており、しかも植物による吸収なども考慮すれば少なくとも 40 ないし 50% はこれに由来すると考えられる。聖実植物の根だけを培養液に浸漬して尿素からアンモニア、硝酸等を生ずることが確かめられた。しかもこの生成量は植物の葉を摘み取れば減少するので根だけの作用というよりも間接的に植物全体の活性によると考えられる。このような尿素の特性は砂栽培における実験結果を支持しさらにこの利用に対し有力な根拠を与える。

## 総 括

硫酸アンモニア、硝酸ソーダおよび尿素をそれぞれ唯一の窒素源としてシソの砂栽培を行ないその効果を検討した。尿素でも硝酸塩と同様に生育し良好な結果が得られたがアンモニアではほとんど生育しなかつた。

この事実を実験的根拠を与えるために投与した培養液中の窒素源の変動を追及し砂層に止まる量および時間は僅かであるにも拘らず硝酸還元および硝化反応が起ることを確かめた。とくに尿素は非常に反応を受け易く硝酸の生成量はアンモニアからのもの数 10 倍にも達した。又尿素の投与は砂における硝化反応の効率を著しく増強した。さらに植物の根によつても尿素およびアンモニアからの硝酸生成が起りその割合は全体の 40 ないし 50% にも達することが確かめられた。しかもその能力は植物の活性にも支配されることが認められた。

## 文 献

- 1) Bollard, E. G., 1959. Utilization of nitrogen and its compound by plant (Cambridge University Press), p. 304.
- 2) Boynton, D., 1954. Ann. Rev. Plant Physiol., **5**, 31.
- 3) 大村浩久, 篠島豊, 波多野昌二, 吉原典子, 渡辺健治, 山藤一雄, 1963. 九大農学芸誌, **20**, 179.
- 4) Webster, G. C., Varner, J. E. and Gansa, A. N., 1955. Plant Physiol., **30**, 372.
- 5) 谷田沢道彦, 並木満夫, 1955. 土肥誌, **26**, 219.

## Summary

Growth test of *Perilla frutescens* on sand was carried out with ammonia, nitrate or urea as the sole nitrogen source and the effect of them was discussed.

The plant supplied with nitrate or urea grew moderately, but some injury was observed on the plant supplied with ammonia.

By passing the nutrient solution through culture pot filled with sand, notably large amounts of nitrate were produced from urea, while only a little formation of nitrate from ammonia was demonstrated.

At any rate, it was confirmed that nitrification took place even on sand. About one half of the amount of nitrate formed from urea may be attributed to the function of plant itself, and the rest is to be ascribed to the action of microorganisms.

It was confirmed that ammonia and nitrate were formed from urea by plant root. The leaf of plant seemed to enhance the function of root on urea.