

## 水稻の乾田直播栽培の施肥法に関する研究 (III)

### 基肥窒素の肥効と硝酸化成との関係\*

山根 忠 昭\*\*・松 浦 一 人\*\*

Studies on the Application Method of Fertilizer on the  
Direct Sowing Rice Plant in Well-drained Paddy Field(III)  
Influence of Nitrification on the Effect of  
Nitrogenous Fertilizer given at Sowing Time

by

Tadaaki YAMANE and Kazuto MATSUURA

### I 緒 言

水稻の乾田直播栽培に尿素あるいはアンモニア性窒素肥料を基肥として施用した場合、灌水後の肥効が著しく不良で、極端な場合は水稻の生育が最高分けつ期から幼穂形成期頃になると無窒素区の生育とほとんど変わらないような水田がある反面、基肥窒素の肥効が2~3回分施した区に比較してあまり劣らない水田がある。また基肥窒素の肥効は施肥法によって異なり、全層施肥に比較して、直下または条間施肥のような局所施肥は肥効の高い傾向がしばしば認められた。

これらの原因を明らかにすることは乾田直播栽培における施肥技術の確立上極めて重要であり、移植栽培にも参考とすべき点もあると考えられるので、若干の検討を加えた結果主要な原因の一つとして灌水前における硝化作用と密接な関係のあることが明らかになったので報告する。

本研究の遂行に当り終始御指導を頂いた当场土壤肥料科長入沢周作博士、現地における肥料試験の資料を提供され、助言と討論を頂いた月森善一、三原文吉の両研究員、硝酸菌数の測定に対し御教示を頂いた中国農試坂井弘技官に心から御礼申上げる次第である。

### II 実験材料と方法

1. 供 試 土 : 乾田直播栽培の施肥法試験で無窒素に比較して基肥窒素の肥効が高い塩冷水田土壤と出東水田土壤、肥効の甚だ低い農試水田土壤を供試し、対照として農試畑土壤を加えた。

2. 硝酸化成の測定 : 300~500 ml 容のビーカーに容水量の60%の水分を含む土壤を入れ乾土100 g 当り硫酸でNとして20~40 mg を添加してよく混合し、28℃でインキュベートして一定期間後にNO<sub>3</sub>-NまたはNH<sub>4</sub>-Nを定量した。

インキュベート中に水分の蒸発を防止するためビニール膜でカバーし4日に1回減量を測定して蒸発した水分を補給した。

3. NH<sub>4</sub>-N : 10% KOI 溶液で浸出し蒸留法によった。

4. NO<sub>3</sub>-N : JACKSON (1958) によるCuSO<sub>4</sub> 浸出、Phenol disulphonic acid 発色法によった。

5. PH : ガラス電極法

6. 浸透圧 : 米田 (1958) の電気伝導度測定用の土壤浸出液の調製法に準じて試料液を採取した。すなわち土壤に飽水状態(HILGARD法の最大容水量に近似)に達するまで水を加えて攪拌し、捏和して20~24時間放置後、ブナ漏斗を用いて濾過し、この飽和浸出液を用いて電気伝導度を測定して CAMPBELL (1948) らの提案した次式によって浸透圧を求めた。

$$P = 0.36 \times EC \text{ (Cat } 25^\circ\text{C)}$$

但しPは土壤水の浸透圧(氷点降下法による測定値で気圧で示す)

ECは電気伝導度 (mMho/cm)

7. 硝酸菌数 : 坂井 (1959) の方法に準じて試験管に STEPHENSON (1949) の培養液 5 ml を入れ用い、dilution frequency method によって菌数を測定した。

### III 結果と考察

#### 1. 基肥窒素の肥効の違いと硝酸化成

乾田直播栽培において施肥法に関する試験を行ったと

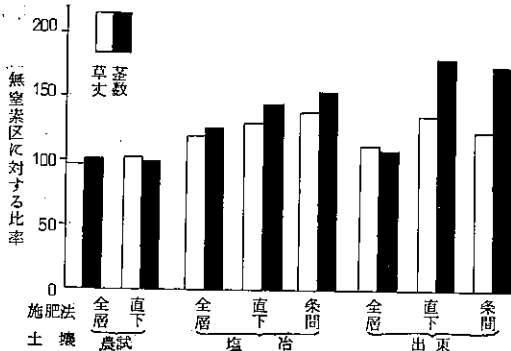
\* 本報の要旨は1964年4月土壤肥科学会大会で発表した。

\*\* 土壤肥料科

ころ第1表及び第1図の如く、水田によって著しく基肥窒素の肥効が異なることが認められた。

第1表 中期における水稲の生育状況

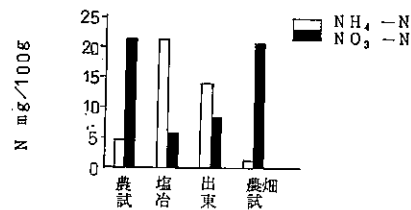
Table with 8 columns: 土壌, 施肥法, 最高分けつ期 (草丈, 同百分比, 茎数), 幼穂形成期 (草丈, 同百分比, 茎数). Rows include 農試, 塩治, 出東 with various fertilizer treatments.



第1図 幼穂形成期における生育状況

農試土壌においては無窒素区と施肥区との差がほとんどなく(湛水直後は畑状態のときに吸収された窒素で生育は良い)塩治及び出東土壌では明らかに基肥窒素の肥効が認められ、また全層施肥に比らば条間または直下施肥の肥効が高い。このような傾向は一作だけの結果ではなく其の後も同様な傾向がみられた。

基肥窒素の肥効が水田により顕著に異なるのは土壌の種類によって硝化作用に差異があるように推測されたので肥効の明らかに異なる前記の土壌について硝酸化能を見た結果は第2図の如くであった。



第2図 土壌の種類別硝酸化成

注 添加N量、硫酸でN 20mg/乾土100gインキュベート2日間

基肥窒素の肥効が高い塩治土壌と出東土壌では添加した窒素の大部分はアンモニア態窒素のままで存在しているが、肥効の低い農試土壌では大部分が硝酸態窒素に変化していることが確認された。

乾田直播栽培の基肥に施した窒素の肥効は湛水後も持続せしめるための第一段階は損失(溶脱及び脱窒による)の少ないアンモニア態窒素のままで湛水期を迎えることが必要である。したがって基肥窒素の肥効が高い土壌は硝酸化能が弱く、逆にその肥効が低い土壌は硝酸化能が旺盛な土壌であると考えられる。

2. 土壌の性質と硝酸化成

硝酸化成の良否と基肥に施された窒素の肥効との間に密接な関係のあることが明らかになったが、圃場によって土壌の硝酸化能に著しい相違があるのは、土壌の如何なる性質と最も関連があるのか、第2表をみると、土壌反応の影響が最も大きいように見える。

第2表 供試土壌の性質

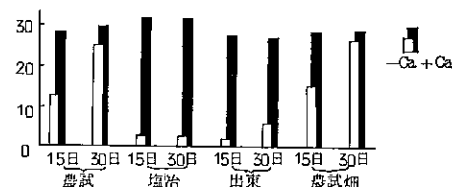
Table with 11 columns: 土壌, PH (H2O, KCl), Y1, CEC (me), EX Ca (mg), EX Mg (mg), 全炭素(%), 全窒素(%), 容水量(%), 土性. Rows include 農試, 塩治, 出東, 塩治畑.

すなわち硝化作用の弱い土壌ほどpHの低い傾向がうかがえる。

3. 炭酸カルシウムの添加と硝酸化成

pHが低い土壌は硝化作用が弱い傾向がみられたが、はたして反応が主原因となっているかどうか実験的に確認するため石灰を添加して酸性を矯正した場合の硝化作用を調べた結果は第3図及び第3表の通りである。

NO3-N mg/乾土100g



第3図 炭酸カルシウムの添加と硝酸化成

注 添加N量硫酸アンモニアでN 30mg/100g(乾土) 炭酸カルシウム添加量は1g/100g(乾土)

石灰の無添加区においては前の実験と同様土壌の種類によって明らかに差異が認められた。炭酸カルシウムの添加は硝酸化成を著しく促進し土壌間の差はほとんど消失した。この事実は土壌の種類により硝酸化能に顕著な差異があったが、これは反応の相違に基づくものであることを裏書きしているものと考えられる。

第3表 炭酸カルシウムの添加と硝酸化成(Nmg/100g)

Table with 7 columns: 土壌, 処理, 15日間 (pH, NH4-N, NO3-N), 30日間 (pH, NH4-N, NO3-N). Rows include 農試, 塩治, 出東, 農試畑, 農試Ca, 農試畑Ca, 農試N, 農試畑N, 農試Ca+N, 農試畑Ca+N, 出東, 農試畑.

注 本実験ではNH4-N及びNO3-Nを10%のKClで浸出し、その浸出液についてConwayの微量拡散分析で定量した。pHはKCl浸出液部につき測定した値である。

4. 炭酸カルシウムの添加と硝化菌数の変化

畑状態の土壌中におけるアンモニア態窒素は条件さえ良ければ速かに硝酸態窒素に酸化されるがこの変化は亜硝酸菌と硝化菌の共同作用に負うものであるしたがってこれらの硝化細菌の菌数が硝化作用の相違する土壌間に差異があるか、また炭酸カルシウムの添加により著しい硝化作用の促進をみたが、この場合どのような菌数の消長を示すかは問題の解決に対し重要な事項と考えられる。硝酸化能が明らかに異なる前記の土壌の原土と、これに硫酸アンモニア及び炭酸カルシウムを添加した場合の硝化菌数の変化を調べた結果は第4表に示す如くであった。

第4表 土壌別硝化菌数(乾土1g当り)

Table with 5 columns: 土壌, 処理, 原土, 10日, 20日. Rows include 農試, 塩治, 出東, 農試畑 with +N and +N+Ca treatments.

上表から原土における硝化菌数は硝酸化成の旺盛な農試畑及び同水田土壌に多く、塩治及び出東土壌においては少ない。

硫酸の添加によって硝化菌はかなり増殖し、殊に硝化

能の旺盛な土壌がその程度は高い。また出東土壌は早くも20日で菌数の減少を来たした。次に炭酸カルシウムを添加すると各土壌共顕著な増殖を示し、何れも乾土1g当り12万以上になった。

以上の実験結果は土壌の種類による硝酸化能の相違、炭酸カルシウムの添加に伴う硝酸化成の促進、それによる土壌間の差異の消失等を硝化菌数の面から裏付けするものであろう。

5. 反応を異にするカルシウム塩の添加と硝酸化成

炭酸カルシウムの添加によって硝酸化成は甚だしく促進され、硝化菌も著しく増殖したが、厳密にはpHを高める効果か、Caイオンの添加による影響かは明らかではない。そこでpHにあまり変化を与えない硫酸カルシウムと弱い塩基性の炭酸カルシウムを乾土に対して1%宛加えた場合の硝酸化成とpHの変化について検討した結果は第5、6表の通りである。

第5表 カルシウム塩の添加と硝酸化成(NO3-Nmg/100g)

Table with 6 columns: 土壌, 培養日数, 7日, 14日, 21日, 28日. Rows include 農試 with CaSO4 and CaCO3 treatments.

第6表 カルシウム塩の添加とpHの変化

Table with 6 columns: 土壌, 培養日数, 7日, 14日, 21日, 28日. Rows include 農試, 塩治 with CaSO4 and CaCO3 treatments.

硝酸化成の良好な農試土壌も不良な塩治土壌もCaSO4の添加による硝酸化成の促進効果は認められず、pH値もほとんど変化はなかった。CaCO3の添加は両土壌共顕著な硝酸化成の促進効果がみられ、実験開始時のpHは7.4と7.7に高まった。以上の結果から本実験の場合Caイオンそのものの添加による硝化作用の促進効果とは認め難い。なお塩化カルシウムの添加は逆に硝酸化成を抑制した。この理由については後で論ずる。

6. 数種の無機化合物の添加によるpHの変化と硝酸化成

炭酸カルシウムの添加によって土壌の硝化作用は甚だしく旺盛になるけれども、これ以外の物質でpHを上昇(pH8位まで)せしめた場合も同様に硝酸化成が促進されるか、数種の化合物を添加してpHと硝酸化成との関係を調べた結果は第7表の通りである。

第7表 無機化合物の添加によるpHの変化と硝酸化成

無機化合物	乾土100g当り添加量(g)	PH(H <sub>2</sub> O)			NO <sub>3</sub> -N mg/100g
		1日後	10日後	平均	
(MgCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Mg(OH) <sub>2</sub>	1.0	8.2	6.6	7.4	30.0
CaCO <sub>3</sub>	1.0	7.4	6.6	7.0	26.6
Ca(OH) <sub>2</sub>	0.5	7.7	6.1	6.9	26.2
MgO	0.5	7.9	6.2	7.1	26.0
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1.0	7.8	6.2	7.0	24.2
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.5	7.0	5.6	6.3	19.2
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1.0	6.6	5.7	6.1	12.2
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.0	5.8	5.5	5.7	6.5
対 照	-	5.8	5.3	5.6	5.7

注 添加N量 硫酸アンモニアでNとして40mg/100g

上表の各化合物は硝酸化成量の多い順に上から列記した。これらのアルカリ及びアルカリ土金属化合物の添加によって土壌pHは上昇を示すが、インキュベート10日後になると最初よりかなり低下を来たすため、添加1日後と10日後の土壌pHの平均を求めると、その値が大きいほど硝酸化成量も大きい。次に硝酸化成量と土壌の平均pH値との相関係数を求めると $r = 0.913$ で高い相関関係が認められた。

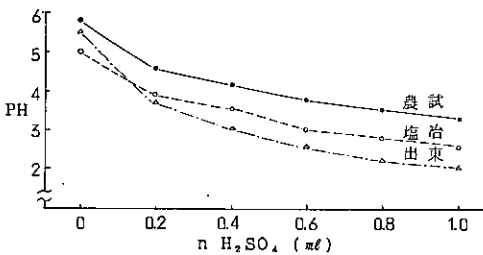
以上の実験結果から酸性を中和するのに用いられた各種の化合物も炭酸カルシウムを添加した場合と同様硝酸化作用を促進し、その程度はpHの上昇程度(pH8位まで)に対応した。

この事は本実験で使用されたような化合物であればpH値の変化に応じて硝酸化作用が促進されることを示すものである。

7. 土壌の緩衝能と硝酸化成

アンモニア塩が酸化されて硝酸塩が生成するにしたがって土壌反応は酸性に傾斜し、硝酸化作用は次第に衰退する。この場合硝酸の生成量が同一でも、土壌のpHの低下は主として土壌の塩基の含量と緩衝能の強さによって異なり、以後における硝酸化成の速度と量は土壌の種類によって甚だしい開きを来たすのは当然である。

本実験に用いられた土壌は何れも河川沖積層の土壌で極端な性質の違いはないが、僅かな性質の相違が硝酸化成に大きく影響する場合もある。硝酸化成能が顕著に異なる前記の土壌の緩衝曲線を示すと第4図の如くである。



第4図 供試土壌のpH緩衝曲線  
注 風乾土20gに水20mlを加え、これにnH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を規定量加えて30分後にpHを測定した。

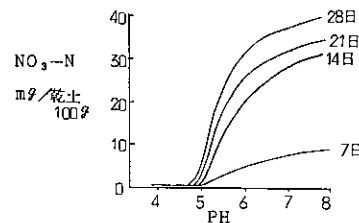
第4図から硝酸化成の良好な農試土壌は実験開始前のpHが高く緩衝能も強い傾向がうかがえる。塩治土壌は初期からpHが低く、緩衝能それ自身は前者と大差ない。出東土壌は始めは塩治土壌よりも高いpHであったが酸の添加によって急激な降下を示し緩衝能が弱いことが認められた。このような土壌は硝酸化作用によってアンモニア性肥料から硝酸塩が生ずるとpHの低下は著しく、このため硝酸化成は弱まり、一部はアンモニアのまま残存して湛水期を迎える事になる。圃場では局所施肥とした場合に施肥部の酸性化が進むとその影響を強く受けると考えられる。しかしながら畑状態の期間に降雨の頻度が多ければ、生成した硝酸塩はその位置から移動しさらに硝酸化成が進行するのであろう。実際には硝酸化成によって局所的な酸性化が起り、硝酸化成の低減の要因となっているほか、他の要因と重複して硝酸化作用を抑制している可能性も考えられる。此の点については10)で述べる。

8. 土壌反応と硝酸化成

硝酸化作用に及ぼす培地の反応の影響は前述の如く極めて大きい。

pHと硝酸化作用との関係についてより詳細に検討し、実際の硝酸化作用の衰える酸性限界を知る必要がある。しかしながら硝酸化作用に及ぼす反応の影響は、培地が土壌である場合は硝酸塩の生成に伴ないpHの低下を招来しまた酸、アルカリで土壌の反応を種々に変えても緩衝能によって変動するため、一定のpH値を保つ事は困難である。そのため本実験ではpHの変化と硝酸態窒素の生成量を並行して測定し、反応の推移(酸性側)と硝酸化作用との関係をグラフ上にプロットして検討した。

実験方法は乾土100g当りに対し硫酸アンモニアでN40mg宛添加し、これにnH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>とCa(OH)<sub>2</sub>を種々の割合で加えてpHを変化させ前記と同様の方法で培養した。以後1週間毎にpHとNO<sub>3</sub>-Nを測定して土壌反応と硝酸化成との関係を見た。その結果は第5図の通りである。



第5図 土壌反応と硝酸化成(農試土壌)

第5図から明らかな如くpH5以下になると著しく硝酸化作用は阻害された。この事は塩治及び出東土壌が硝酸化作用の不良でpH5以下であった事と良く符合する。またpH値が5よりも高くなるにしたがって硝酸化作用は著しく旺盛となり、特にpH5から5.5間の変化は大きい。

農試畑及び水田土壌の原土はpH6近くであり、pH8の場合に比べるとその作用は劣るけれども、pH5以下の場合に比べれば甚しく高く、農試土壌が塩治及び出東土壌に比較して硝酸化作用の良好であることを裏付けるものである。

9. 局所施肥と硝酸化作用 一特に塩類濃度との関係について

水稻の移植栽培で基肥に施用される窒素肥料は全層施肥とされる場合が普通であるが、乾田直播栽培においては、条施肥のような部分施肥に比較して全層施肥の肥効が劣る場合が多い。この原因については次のような点が考えられた。乾田直播栽培の初期の畑状態の期間は耕土全層が酸化状態であるため全層施肥を行っても硝酸化作用の抑制効果はなく、そのため多量の硝酸が生成し、灌漑湛水後に溶脱と脱窒等による損失が増大するためであろう。一方条施肥とすれば局所的に塩類濃度が高く、その結果硝酸化成に対して抑制効果が生ずるのではないかと推測した。

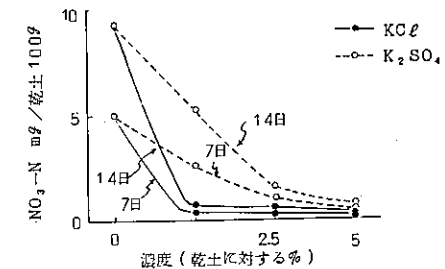
先ず条施肥と全層施肥で硝酸化作用にどれほどの相違があるかを確かめるため5千分の1ポットを用い、乾土25gに対して三要素を成分量で1g宛(但し使用した肥料は硫酸、過石、塩加を予め配合して施す)与え、土壌によく混和したものと、条施肥に似せて層状に半円内に施したものについて硝酸化作用を調べた結果は、農試土壌の場合施肥後3週間まで前者が約80%の硝酸化成が進んだのに反し後者は26%に止まった。このように局所施肥の硝酸化成を抑制する原因として、高い塩類濃度がどの程度関与しているか、この点を明らかにするため塩化カリと硫酸カリを用いて塩類濃度が硝酸化成に及ぼす影響を検討した。

実験方法は乾土100gに対して硫酸アンモニアでNとして30mg宛加え塩化カリと硫酸カリを乾土に対して1, 2.5, 5%宛を添加し、1週間後と2週間後にNO<sub>3</sub>-Nを定量し、硝酸化作用に及ぼす影響をみた。また基肥としてカリ肥料と共に過リン酸石灰も施用されるのが普通であるので乾土に対して1%加え、カリ塩類と同様硝酸化成に及ぼす影響をしらべた。

第8表 塩類濃度と硝酸化成(NO<sub>3</sub>-N mg/100g)

処 理	培養日数		電気伝導度 (mMho/cm) (飽和浸出液) at 25°C	浸透圧(気圧) (飽和浸出液)
	7日	14日		
対 照	5.0	9.2	2.15	0.80
KCl 1%	0.4	0.5	22.95	8.26
" 2.5 "	0.3	0.4	35.21	12.67
" 5 "	0.2	0.4	44.11	15.88
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 "	2.6	5.1	9.55	3.44 (2.87)
" 2.5 "	0.9	1.6	21.42	6.64 (6.45)
" 5.0 "	0.4	0.5	37.00	11.47 (11.10)
過 石 1 "	3.7	6.0	2.57	0.92

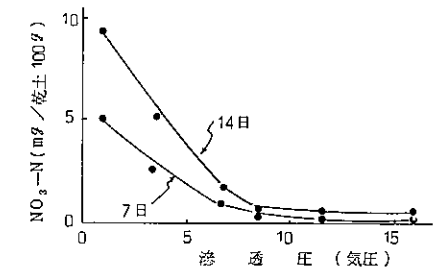
注 P=0.36 EC ( )P=0.3 EC  
但しP=浸透圧 EC=電気伝導度(mMho/cm)



第6図 塩類濃度と硝酸化成

以上の結果からKClは乾土に対して1%でも硝酸化作用の抑制は顕著であり、ほとんど停止した。K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>も硝酸化作用を抑制するけれども、2.5%でもなお硝酸化成は進行し、5%でようやくほとんど停止することが認められた。このような事実は塩化物が硫酸塩に比較して硝酸化作用抑制効果が大きいようにみられるも、これはCl<sup>-</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の硝酸化作用に対する本質的相違か、あるいは両塩の浸透圧の差によるものかを明らかにするため、土壌の飽和浸出液(水)の電気伝導度を測定し、浸透圧を算出した。その結果これらの塩類を同じ重量濃度で比較するとKClがK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>よりも圧倒的に高い。HAYWARD & SPURR (1943)はCaCl<sub>2</sub>, NaCl及びNa<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の水溶液を等浸透圧に保つときは、水分吸収と植生にほぼ同じ制約を生じること認めたが、他方これらの塩類を同重量濃度で比較すると差を生じ、NaClはNa<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>に比べて有害作用は大で、その理由の一つとして浸透圧の差が指摘されているが、硝酸化作用に対するKClとK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>との差異も同様な理由に起因することが本実験の結果から推測された。

次に両化合物の浸透圧と硝酸化成との関係を示すと第7図の如くである。



第7図 土壌飽和浸出液の浸透圧と硝酸化成との関係

第7図からみて、これらの塩類は土壌飽和浸出液の浸透圧と硝酸化成量との関係から描かれた曲線上に規則正しくおさまった。この事は硫酸塩でも塩化物でも土壌飽和浸出液の浸透圧が3~4気圧で硝酸は対照区(1気圧以下)の1/2位に減じ、8気圧以上になるとほとんど停止することを示していると考えられる。

この場合、土壌水の浸透圧に換算すると、供試土壌の最大容水量は70.2%で、容水量(農学会法)が58%その60%の水分含量は34.8%となり、最大容水量の

ほぼ1/2に相当し、その時の土壤溶液の浸透圧は16気圧に当ることになる。実際にはイオン活量が濃度によって異なり、土壤粒子の界面の影響も加わって多少はこの値よりも異なるものと思われる。

以上の結果からCl<sup>-</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が硝酸化成に対して特有の差異があると云うよりも、この場合単位容積の水中に溶存するイオン数によって規定される浸透圧の相違に基因するものであろう。前にCaCl<sub>2</sub>を添加した場合、対照区に比べて硝化作用の減退を見たことに触れたが、その理由を浸透圧の上昇によるものと考えた。

また過リン酸石灰の添加も硝化作用を多少抑制しているが、この場合浸透圧にはほとんど変化はなく、pHの低下によるものであろう。

以上の実験結果から局所施肥による硝酸化成の抑制は塩類濃度と部分的酸性化に起因していることが明らかになった。

#### IV 論 議

乾田直播栽培の基肥窒素の肥効は水田によって顕著な差異があり、その原因が土壤の硝酸化成の強弱と密接な関係のある事が明らかになった。そこで土壤の種類によって硝化作用の相違があるのは土壤の如何なる性質と関連があるのか検討した結果、土壤の反応と高い相関関係があり、特にpH5以下の土壤では硝化作用が著しく弱く、この種の土壤では基肥に施した窒素の肥効が高かった。土壤に施された窒素質肥料がNH<sub>4</sub><sup>+</sup>→NO<sub>2</sub><sup>-</sup>→NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の経路で亜硝酸または硝酸に酸化される作用は主に硝化細菌(Nitrifying Bacteria)によって行われ、典型的なものとしてNitrosomonas属(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>→NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)の作用がある亜硝酸菌とNitrobacter属(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>→NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)の作用がある硝酸菌が知られており、アンモニアから硝酸が生成するためには両者のリレー的な共同作用によって行われる。

これらの硝化菌は培地の反応によって硝化作用に及ぼす影響は顕著であるが、硝化作用の最適pHは研究者により多少異なる。

Nitrosomonasの最適pHとしてMEYERHOF(1916) pH8.5~8.8, HOFMAN & LEES, pH8.6(1953), ENGEL & ALEXANDER(1958)はpH6.8~9.0で、浅野, 有馬(1964)の7.0~8.6とほぼ一致している。WINOGRADSKY & WINOGRADSKY(1933)はpH6.0~9.0で最適pHの中が広範囲でありその下限が低い。

Nitrobacterの最適pHとしてHOFMAN & LEES(1953) pH7.7, ALEEM & ALEXANDER(1960)はpH8.0, 浅野, 有馬(1964)はpH7.0~8.2で、これらの三成績は大体一致している。MEYERHOF(1916)はpH8.3~9.3で高く、WINOGRADSKY & WINOGRADSKYは6.3~9.4で上限は前者の値と一致しているけれども下限は著しく後者が

低い。これらの差異は実験条件の差異によるものか、菌種の違いによるためかは明確ではない。何れにせよ亜硝酸菌及び硝酸菌共中性ないしは微アルカリ性でその作用が最適であると云える。

またMEYERHOF(1916)はNitrosomonasはpH7.6で硝化作用はほとんど停止すると報告した。しかし浅野, 有馬(1964)はNitrobacterでpH6.5以下, Nitrosomonasで6.3以下でその作用がかなり衰え、それぞれ活性は最高値の約86%を示したと報告し、MEYERHOFと甚だしく相違した。また酸性土壤から分離した硝化菌の酸性限界はpH3.9~4.5で、酸性によく適応すると云われている。(WAKSMAN, 1927)

本実験の場合は上記の純粋培養と著しく異なる条件下で行われ、土壤培地における亜硝酸菌と硝酸菌の混合系での硝化作用であるが、浅野, 有馬らのNitrobacter Winogradskyの場合と比較的pHの影響が類似している。

すなわちpH7~8で硝化作用は旺盛で、7以下になるとその作用は次第に衰え、5.3~5.4以下になると顕著に弱まり、4.8~5.0以下ではほとんど停止することが認められた。これに反し LYON & BUDGMAN(1949)によればカルシウムさえ十分あればある程度酸性でも硝化作用にたいした影響はなく、pH5以下の泥炭土壤で硝酸塩が顕著に集積することがあるが、これは活性のカルシウムが多量に存在するためであるとしている。

しかし本実験では土壤に硫酸カルシウム(CaSO<sub>4</sub>)を添加した場合は硝化作用の促進効果は見られず、炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)の添加は顕著な促進効果が認められた。この場合硫酸カルシウムは土壤反応に対して変化をほとんど与えず、炭酸カルシウムの添加はpHを7以上に高めた。両カルシウム塩の硝化作用に及ぼす影響から、Caイオンの添加と云う効果よりも、むしろこの培地のpHの差異によってたらされた硝化作用の相違と見るべきであろう。次に他のアルカリ及びアルカリ土金属化合物の接種を添加した場合も、炭酸カルシウムと同様硝化作用の促進効果がみられたが、その程度は塩基の種類より土壤反応と高い相関関係が認められた。

坂井(1960a)は十勝火山灰地の土壤の硝酸化成の実態を調査し、硝化作用の劣る乾燥統の未墾地土壤は湿地統や既墾地土壤に比して易溶性有機物が多く、且つ硝酸菌数が少ない傾向を認めた。更に同氏(1960b)はこの原因について検討し、硝化作用の促進には硝酸菌の接種の効果が最も顕著で石灰の施用がこれにつき、この種の土壤では洗滌培養が有利で、これには易溶性の有機物の存在が関係していると考え、稀アルカリ溶液や水で土壤を前につけて洗滌すれば硝化能を促進するが、逆に有機物の可溶化を促進する濃アンモニアや苛性ソーダの施用は硝化の進行を妨害し、他方その溶出を抑えとみられる石膏(CaSO<sub>4</sub>)は有効であることを認めている。

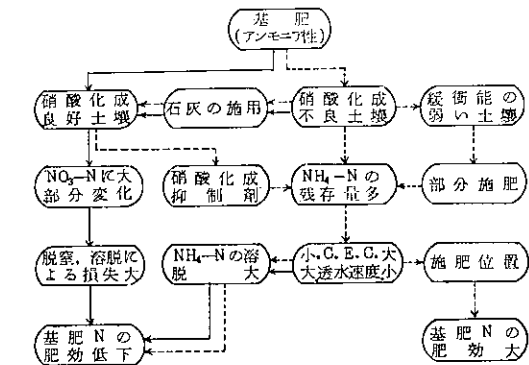
以上の点からみて硝化作用の不良原因は十勝火山灰土の場合は硝化菌の生育を抑制する物質が存在し、硝化菌

数の増加を妨げているとみられているが、本実験で扱った沖積土の場合は主に反応に支配されており、塩化及び出東土壤は酸性が強いため硝化能が弱い。したがって石灰の添加などによって酸性を矯正すれば著しく硝化作用が促進される。

局所施肥の肥効が全層施肥に比べて高い理由は、塩類濃度が局所的に高く施肥部位附近の硝化菌の活動を抑制して硝化作用が阻害されるためであると考えられる。基肥に窒素肥料と共に併用されるカリ塩類を用いて、硫酸アンモニアの硝酸化成に及ぼす塩類濃度の影響について検討した結果、これらのカリ塩類を同じ重量単位で比較するとKClはK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>に比べて著しく硝化作用抑制効果の大きいことが判明した。その原因について検討した結果、両塩の浸透圧の相違によるものと考えられる。

また土壤の飽和浸出液で浸透圧が8気圧以上(その時の土壤溶液の浸透圧は倍近くに当る)ではKClでもK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>でも硝化作用はほとんど停止することが認められ、アンモニアやカリの塩類で成分量が同じ場合は何れも塩化物が硫酸塩よりも浸透圧が高くなるため硝化作用の抑制効果も高い。また基肥の施肥量は浸透圧を大きく支配する要因の一つで、その多少が硝化作用に大きく影響し、基肥の施肥量が僅少の場合は局所施肥の効果を減ずことは当然である。このほかに部分施肥の窒素肥料の肥効を増進する要因として施肥された一部分が硝化することにより酸性化し、その後の硝酸化成の進行を抑制する。特に緩衝能の弱い土壤においてその効果が期待される。過石との併用も酸性化を強め硝化作用の抑制効果を増進すると思われる。

実際圃場では畑状態の期間(約1ヶ月)に降雨があれば、その頻度と量によって肥料は施肥位置から移動し、塩類濃度が希薄になると硝化作用は進展する。しかし硝化能の弱い土壤では少々移動してもその作用はたいした問題とならないが、主として部分施肥のみによって抑制されるような条件の土壤では基肥の効果は減少する。このような土壤では硝酸化成抑制剤を肥料に混入して硝化作用を抑えるか、硝化作用を受け難い肥料を選ぶ必要があり、また石灰質肥料を使用する場合も同様である。



第8図 基肥窒素の肥効の発現

あり、また石灰質肥料を使用する場合も同様である。以上乾田直播栽培の畑状態における基肥窒素(特にアンモニア性肥料について)の肥効と硝化作用との関係について論じた。しかしこれらの問題点は乾田直播栽培における云わば第一段階であって、アンモニア態窒素で湛水期を迎えた場合は別の角度から基肥の肥効を検討しなければならない。土壤からのアンモニアの溶脱や肥効発現の時期などは第2段階の問題で別の機会に譲り、本研究の位置づけと今後の問題点との関連を第8図に示した。

#### V 摘 要

水稻の乾田直播栽培の基肥に施された窒素肥料の肥効は土壤の性質や施肥法の違いによって著しく異なる。その原因について検討した結果を要約すると次の通りである。

1. 基肥窒素の肥効の高い水田は畑状態の期間(約1ヶ月)においても土壤の硝化作用は貧弱である。
2. 硝化作用の弱い土壤はpHが低く、(pH5以下)硝酸菌数も少ない。
3. CaCO<sub>3</sub>の添加は硝酸化成の促進と硝酸菌数の増加をもたらす、土壤間の硝酸化成能の差異はほとんど消失した。
4. 数種のアルカリ及びアルカリ土金属化合物を添加した場合もCaCO<sub>3</sub>を添加した場合と同様硝化作用は促進され、その程度はpH(8まで)の変化に対応した。
5. 局所施肥(窒素肥料とリン酸およびカリ肥料を共存状態で施す)は全層施肥に比較して基肥窒素の肥効が高く、その理由の一つとして塩類濃度が高まるため、土壤の飽和浸出液の浸透圧が8気圧以上になるとほとんど停止することを認めた。
6. 硫酸塩と塩化物とではカリ及び窒素量が同じければ後者の浸透圧が大きく硝酸化成抑制効果が高い。
7. 局所施肥の場合一部が硝化することにより施肥部位が酸性化し、以後の硝化の進行を抑える。また過石の混用も施肥部位の酸性化を強め硝酸化成の抑制効果を高めるために役立つ。

#### 引用文献

ALEEM, M. I. H. & M. ALEXANDER: (1960): Nutrition and Physiology of *Nitrobacter agilis*, J. Bacteriol., 8: 80

浅野浩司・有馬啓: (1964) 硝化細菌について 土と微生物 6: 13~30

CAMPBELL, R. B., G. A. BOWER & L. A. RICHARDS (1948) Change of electrical conductivity with temperature and the relation of osmotic pressure to electrical conductivity and ion concentration for soil extracts. Soil sci. Amer. proc. 13: 66-69

- ENGEL, M. S. & M. ALEXANDER, (1958) : Growth and autotrophic metabolism of *Nitrosomonas Europaea* J. Bacteriol. 76 : 217~222
- HOFMAN, T. & H. LEES, (1952) : The biochemistry of the nitrifying organisms. 4, The respiration and intermediary metabolism of *Nitrosomonas* Biochem. J. 54 : 579~583
- JACKSON, M. L. (1958) : Soil chemical analysis (prentice-Hall, Inc. Englewood cliffs, N, J) 475 pp.
- LYON, T. L. & C. O. BUCKMAN (1949) The nature and properties of soils. (Macmillan Co. New York) 499 pp.
- MEYERHOF, O. (1916a) : Untersuchungen über den Atmungsvorgang nitrifizierender Bakterien. I Die Atmung des Nitratbildners, Arch. ges. physiol., 164 : 353~427 (1916b) Untersuchungen über den Atmungsvorgang nitrifizierender Bakterien. II Beeinflussungen der Atmung des Nitratbildners durch chemische Substanzen. Arch. ges. physiol., 165 : 229~284
- 坂井弘 (1959) : 土壤の硝化作用に関する研究
- (3) 十勝火山灰土壌の硝化作用について, 土肥誌 30 ; 149 ~ 153
- 坂井弘 (1960a) : 土壤の硝化作用に関する研究
- (4) 十勝火山灰地の未墾地土壌の硝化作用 土肥誌 31 ; 149~151
- 坂井弘 (1960b) : 土壤の硝化作用に関する研究
- (5) 十勝火山の乾燥続未墾地土壌の硝化作用の不良原因, 土肥誌 31 ; 207 ~ 210
- STEMPHESON, M. (1949) : Bacterial Metabolism, 3rd ed. (Longmans, Green and Co New-York) p 317
- WAKSMAN, S. A. (1927) : Principles of soil microbiology (Williams & Wilkins Co. Baltimore) 897 pp.
- WINOGRADSKY, S. & H. WINOGRADSKY (1933) : Etudes sur la microbiologie du sol (7) Nouvelles recherches sur les organismes de la nitrification. Ann Inst. Pasteur, 50, 350
- 米田茂男・河内知道 (1958) : 干拓地土壌に関する研究
- (13) 電気伝導法による土壤塩分の測定法とその意義について, 岡大農学術報告 11 : 1 ~ 14

## Summary

The alluvial soils which effect of nitrogenous fertilizer given at sowing time are high, have poor nitrifying power even under upland condition (about field moisture capacity). These soils have strongly acid reaction (below pH5) and are very small in number of nitrifying bacteria but the nitrification was remarkably promoted by the addition of  $\text{CaCO}_3$  and increase of nitrifying bacteria, Consequently the difference in nitrification among these soils was almost disappeared. Same effect was recognized by addition of any other compounds of alkali and alkaline metals. However, the nitrifying power of soils was promoted according to rate of elevation of soil pH.

Fertilizing effect for rice plant of locally application was more than that in

the broadcast dressing, in the case of locally application, the nitrification was inhibited because of high concentration of salts in fertilized place, and when the osmotic pressure of moisture saturation extract was higher than about 8 atmospher (as soil solution was corresponded to 16 atmospher). the nitrification in soil was almost stopped.

When ammonium fertilizer mixed with potassium fertilizer was locally applied its nitrification are more inhibited by chloride than sulphate, it is because of high osmotic pressure of chloride.

In the case ammonium fertilizer mixed with superphosphate was locally applied, its nitrification was clearly inhibited owing to acidification of fertilized place.