

基肥窒素施用時期が水稻の基肥窒素吸収と収量に及ぼす影響

安藤 豊*・小野寺 敬*¹⁾・川浪 芳裕*²⁾

*山形大学農学部農業生産学講座
(平成6年9月1日受理)

Effect of Duration of Upland Condition After Application of Basal Nitrogen on Nitrogen Absorption and Yield of Lowland Rice

HO ANDO*, Kei ONODERA*¹⁾ and Yoshihiro KAWANAMI*²⁾

*Section of Agricultural Production, Faculty of Agriculture,
Yamagata University, Tsuruoka 997, Japan
(Received September 1, 1994)

Summary

To evaluate the effect of duration of upland condition on nitrogen (N) absorption and yield of lowland rice, the field experiment was carried out using N-15. Furthermore, an incubation experiment was conducted to clarify the effect of soil water content on the nitrification of ammonium N applied. The results obtained were as follows; ① Inorganic N applied decreased exponentially with time, irrespective of soil water content. Smaller amount of applied inorganic N was observed in soil at which the water content was equivalent to 60% of the water holding capacity (WHC) than that of 80%. Presence of nitrate N was detected in 60% of WHC condition soil, while none in the 80% WHC soil. ② In the field experiment, the longer the duration of upland condition, the lesser amount of applied inorganic and organic N was observed. Large amount of inorganic N applied was found in soil at which the water content was more than WHC due to precipitation. Negligible amount of inorganic N applied was observed at July irrespective of water content of soil and the duration of upland condition. ③ The recovery of N applied in lowland rice was 3 times higher in the plot which received water irrigation immediately after basal N application than in the plot which had 10 days duration of upland condition. On the other hand, there was no significant difference in the recovery of N applied in lowland rice in the year where there was ample amount of precipitation during the upland condition was imposed.

key words : N-15, nitrification, paddy field, recovery of applied N, soil water content

1. はじめに

水稻の収量と水稻の総窒素吸収量が密接に関係している

ことは周知の事実である。水稻の吸収する窒素はその由来から大きく3つに分けることができる。すなわち、施肥由来、土壌有機物由来そして施用有機物由来である。施肥窒素はさらに基肥、追肥に区分することができる。

収穫期までに水稻に吸収された窒素のうち基肥窒素に由来する部分は、収量が600kg/10aで総窒素吸収量を12-15kg/10aとすれば12-15%となる(基肥窒素施用量を6kg/10a, 利用率を30%として¹⁾)。同様に追肥窒素に由来する部分は13-17%となる(追肥窒素施用量を2kg/10a

1) 現在: NTT仙台 (NTT, Sendai 980, Japan)

2) 現在: 太子食品工業株式会社 (Taisshi-shokuhinn Co.Ltd, 25-1, Simomaekawara, Aisaka, Towada-City 034, Japan)

キーワード: 重窒素, 硝化, 水田, 土壌水分, 利用率

2回、利用率を50%として¹⁾。従って稲作にとって土壌窒素の果たす役割が大きいといえる。しかし、水稻の生育初期に注目すると、水稻の窒素吸収量に占める基肥窒素由来の割合は6葉期で35-55%、10葉期で22-39%である²⁾。この事は、生育初期段階の水稻生育にとって基肥窒素の果たす役割は大きいことを示す。生育初期で窒素吸収量に占める基肥窒素由来の割合の違いは土壌条件、基肥量の違いによる²⁾が、いずれの場合でも生育初期ほど基肥窒素の水稻の総窒素吸収量に占める割合は高い。

還元が進行した湛水田で安定に存在する無機態窒素の形態は、アンモニア態である。一方、畑条件下すなわち酸化条件で安定に存在する無機態窒素は硝酸態である。畑条件で施用されたアンモニア態窒素は酸化され硝酸態窒素に変化する。湛水田に硝酸が施用されると、脱窒菌の作用で硝酸の酸素が消費され窒素ガスに変化し空中に拡散する³⁾。また、硝酸態窒素は負の荷電を持つので土壌に電氣的に結合せずに降雨などにより地下浸透する。これらのことを水稻栽培に当てはめると、入水前に窒素を施用し入水までの期間が長期間におよべば、すなわち畑条件が長期間続けばその後の入水により施用窒素は水田系外へ流出する可能性があることを示す。このことは、施用窒素の水稻による利用効率が低下すること、また、硝酸態窒素の地下水汚染の可能性を示唆するものである。

ところで、第2種兼業比率をみると平成2年度には全国では80%、山形県では90%に達している⁴⁾。第2種兼業農家では休日を中心とした農業を行うために適期に農作業を行うのが困難である。たとえば、肥料の施用時期についてみると、基肥窒素は入水前の休日に行うことが多いようである。一方、本田への入水時期は水利組合によって決定されているため、個人の意向が反映されることは少ない。従って、施肥から入水まで1週間程度水田が畑条件におかれることもまれではない。このような条件下では、上述のごとく施肥窒素の形態変化に伴い水稻への利用効率が低下することが考えられる。しかしながら、施肥から入水までの期間が水稻の生育に与える影響については検討した例はみられない。

本研究では、施肥後入水までの期間が、水稻の施肥窒素吸収、収量に与える影響を検討した。また、施肥後入水までの期間の土壌水分条件の違いが窒素の形態変化に与える影響についても併せて検討した。

2. 材料と方法

1) 供試圃場

栽培試験は山形大学付属農場でおこなった。また室内培養実験に供試した土壌は栽培試験に供試した圃場から採取した。栽培試験は1987年と1990年の2カ年行った。

供試土壌の理化学性は土性がLiC、pH(H₂O)は5.5、T-Cは12.0g・kg⁻¹、T-Nは1.0g・kg⁻¹、そしてCECは12.8 cmol・kg⁻¹であった。

2) 栽培試験

栽培試験は基肥窒素の挙動を追跡するための重窒素ラベル試験と通常の栽培試験の2つである。基肥窒素の施用時期以外の栽培法は農場慣行に従った。なお、水稻品種はササニシキを用い、5月19日に移植した。また、栽培試験のすべては3反復で行った。

イ. 基肥施用時期：基肥窒素の施用時期は1987年度は4月20日、4月25日そして4月30日である。圃場への入水を4月30日に行ったので、基肥窒素の施用から入水までの期間は、10日、5日、そして0日となり、それぞれを10日区、5日区、0日区とした。一方、1990年度は入水を5月1日に行ったのでそれぞれの試験区の基肥窒素施用時期は4月21日、4月26日、5月1日であった。なお、0日区では、基肥窒素施用後直ちに入水を行った。

基肥窒素は硫安とし、各区ともに施用後直ちに作土層に混和した。燐酸、カリ肥料は入水前に表層施用した。また、各肥料の施用量は窒素は成分として、その他は酸化化合物としてヘクターあたり60kgとした。

ロ. 重窒素試験：基肥窒素の土壌中での無機態窒素としての挙動、水稻による吸収を定量するために、重窒素ラベル硫安(5.03atom%)をあらかじめ圃場に設置した0.6×0.3m²の木枠に所定の日に、すなわち入水10日、5日、0日前に、所定量(60kg・ha⁻¹)施用した。木枠内には、水稻4株を5月19日に移植し、通常試験区と同様の栽培を行った。

基肥窒素の土壌有機化量・無機態窒素としての残存量を測定するために以下の圃場培養を行った。底面積20cm²、高10cmの無底の塩ビ管に供試圃場から採取した土壌と重窒素ラベル硫安(5.03atom%)を60mgN・kg⁻¹の比率で混和し充填した。この塩ビ管を上述の基肥窒素施用時期と同日、すなわち入水の10日、5日、0日前に圃場に埋設した。塩ビ管内の土壌の水分含量は実験期間中圃場の水分含量と同一であった。

重窒素試験はすべて3反復で行った。

ハ、試料採取：試料の採取は兩年度ともに同様に行った。土壌中の基肥由来のアンモニア態窒素の定量のために、入水後から10日ないし、20日の間隔で重窒素試験の枠から土壌の採取を行った。アンモニア態窒素は6月下旬に消失したので、7月中旬に水稻の試料採取を行った。

収量調査は通常栽培区の水稲60株を採取し行った。

ニ、分析方法：土壌中の無機態窒素の定量は1M KCl 抽出後（土壌：溶液=1：10）、水蒸気蒸留法で行った。なお、硝酸態窒素はデバルタ還元法で全無機態窒素量を求め、アンモニア態窒素量の差を持って示した⁵⁾

水稻の窒素吸収量は、採取試料を2日間60℃通風乾燥後秤量し、粉碎後ケルダール分解、水蒸気蒸留法で行った。

重窒素分析は、重窒素を濃縮後、Dumas 法でガス化し、発光分光分析法⁶⁾により行った。

3) 室内培養実験

供試土壌は栽培実験を行った山形大学付属農場の水田圃場から採取した。採取後風乾し、2mmで篩別後実験に供した。

土壌の水分含量を圃場含水量の80%と60%とし、重窒素硫安(50.3atom%)と土壌を60mgN・kg⁻¹の比率で混和した。20℃で静置培養し、5日ごとに試料採取を行った。実験期間中の水分の減少は重量測定で求め、水分を補給した。採取した試料から、アンモニア態窒素量、硝

酸態窒素量および施用窒素の有機化量を求めた。

無機態窒素、重窒素分析方法は栽培試験と同様であり、実験は3反復で行った。施用窒素の有機化量は、無機態窒素抽出後の土壌をKClで3回、脱塩水で3回洗浄後乾燥し、植物体の窒素分析と同様の方法で定量した。

3. 結 果

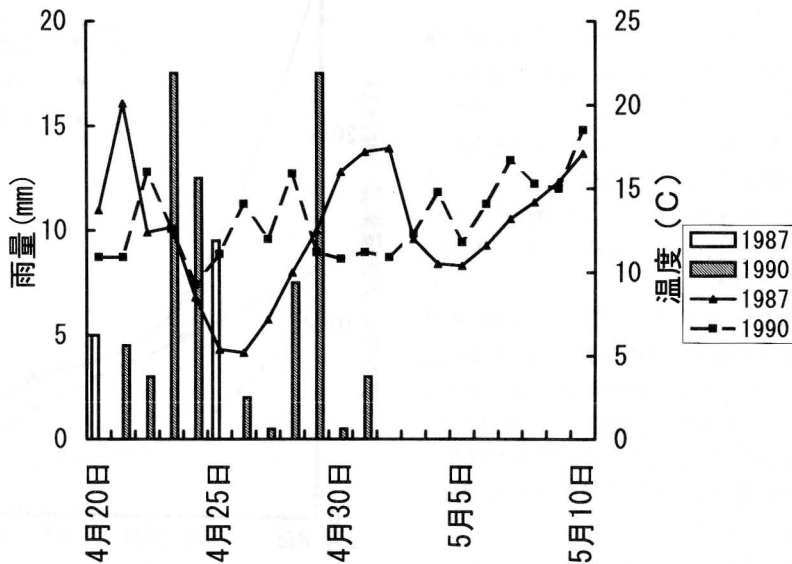
1) 気象条件

10日区の施肥窒素施用日の4月20日から入水10日後の5月10日までの1987年、1990年の降雨量と日平均気温の推移⁷⁾を第1図に示した。なお、降雨量は入水時点まで示した。

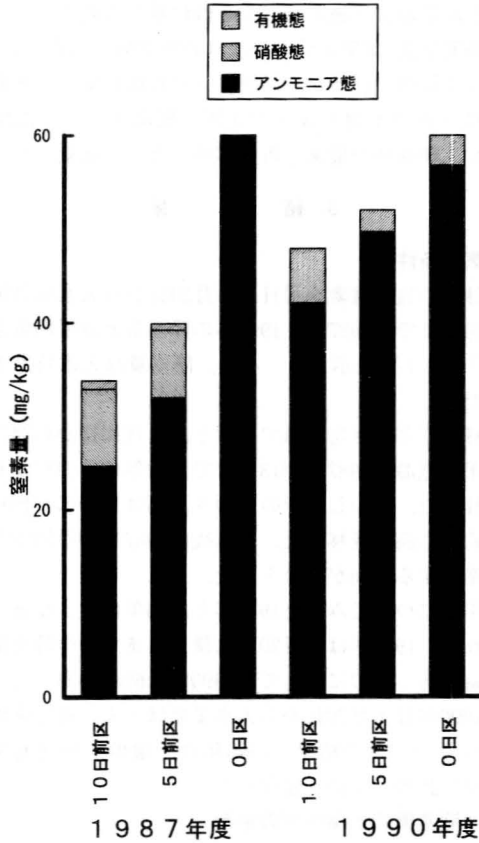
5日間ごとの平均気温でみると、4月20日から24日までの平均気温は1987年が13.5℃で1990年の11.9℃より高く推移した。しかし、その後の5日間は1990年が1987年より約5℃高く推移した。入水後は1987年の平均気温が高く推移する傾向が認められた。

降雨量についてみると1987年と1990年に大きな違いがみられた。1987年は4月20日以降入水までの全降雨量は14.5mmであったのに対して、1990年は65mmであった。また、1990年は4月20日から入水までほとんど連日降雨が認められた。この結果、1990年は土壌の水分含有率は1987年に比較して高く推移した。

2) 基肥窒素の土壌中での挙動



第1図 雨量および温度の推移 (棒グラフ：雨量, 折れ線グラフ：温度)



第2図 入水日の施用窒素の残存量

入水日の基肥窒素の無機態としての残存量および土壌への有機化量を第2図に示した。なお、1987年度の0日区の値は施用量を示した。両年度とも、いずれの区でも施肥後入水までの日数が長くなるにつれて施肥窒素の土壌中での有機態、無機態の残存量は減少した。また、残存した窒素の大部分は無機態であった。有機態窒素として残存した窒素の全残存量に対する割合は1990年度の10日区をのぞいて5%以下であった。

両年度の違いをみると、10日区、5日区では1987年度の入水日の施肥窒素の土壌中での残存量が1990年度に比較して少なくなった。すなわち、1987年度には10日区で施肥量の56%が土壌中に無機態、有機態として残存した。一方、1990年度には10日区では80%の施肥窒素が残存した。同様に5日区では残存率は1987年度には67%であるのに対し、1990年度は87%が残存した。

残存した窒素の内訳をみると、1987年度はアンモニア態、硝酸態及び有機態であるが、1990年度はアンモニア

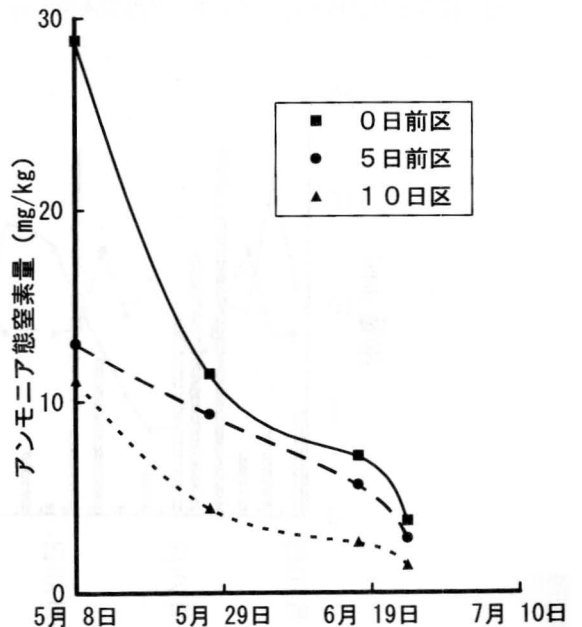
態、有機態であった。1987年度には硝酸態窒素の全残存量に占める割合は10日区で24%、5日区で18%であった。

3) 土壌中での施肥窒素のアンモニア態窒素としての挙動

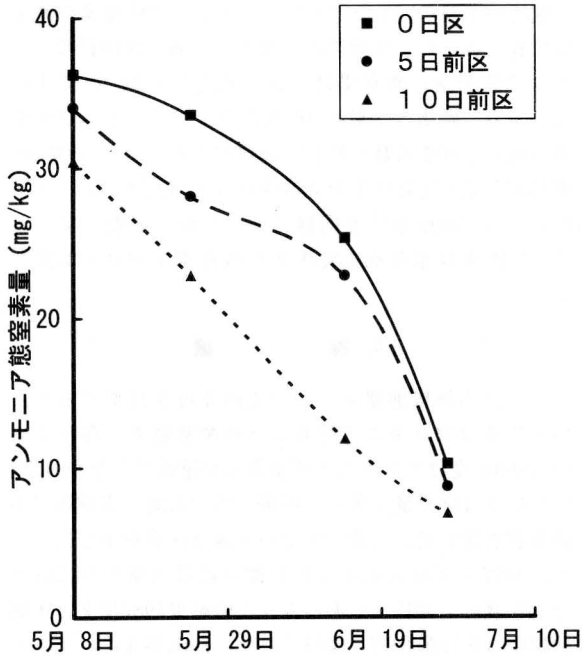
入水日に施肥窒素が硝酸態として残存していた1987年度の入水後1週間目には硝酸態窒素としての残存は認められなかった。そこで、入水後1週間から6月下旬までの施肥窒素のアンモニア態窒素としての消長を第3、4図に示した。

土壌中の施肥由来のアンモニア態窒素は1987年度、1990年度ともにいずれの区でも5月8日（入水約1週間後）から減少し始め、6月下旬にはほぼ消失した。また両年度ともに0日区のアンモニア態窒素量をもっとも多く推移し、ついで5日区、10日区の順であった。

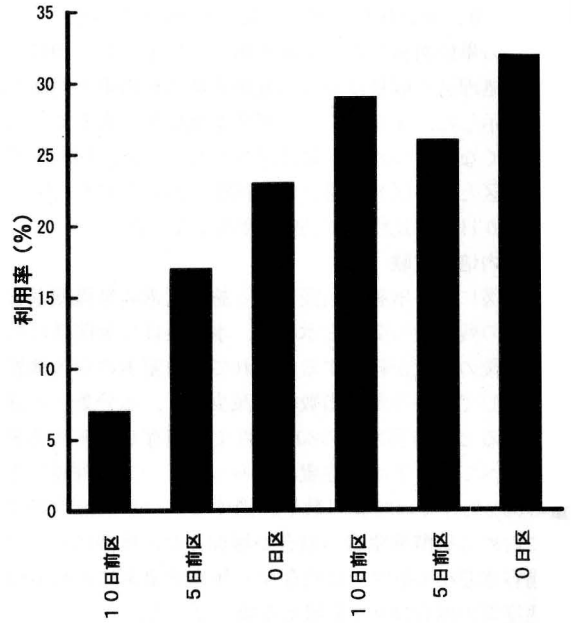
入水直後と入水1週間後の施肥由来のアンモニア態窒素についてみると、1987年度は入水1週間に入水時に存在したアンモニア態窒素量の41-48%がアンモニア態窒素として残存した。一方、1990年度のそれは58-71%であった。しかし、1990年度の各区の残存率は窒素施用後入水までの日数の長いほど高くなった。1987年度の各区の残存率と入水までの期間とに一定の関係が認められなかった。



第3図 施用窒素のアンモニア態窒素としての挙動 (1987年度)



第4図 施用窒素のアンモニア態窒素としての挙動 (1990年度)



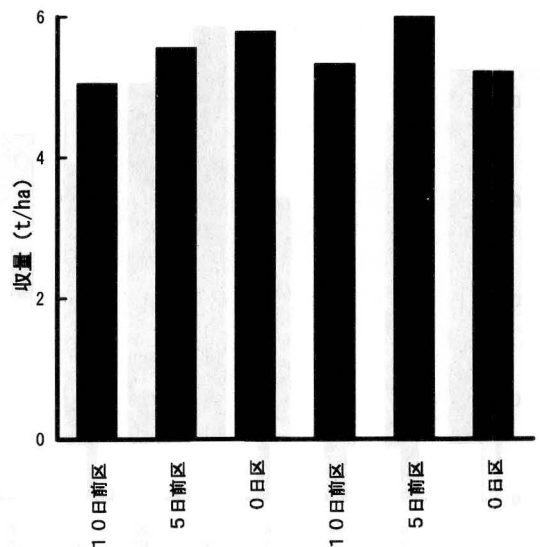
1987年度 1990年度
第5図 施用窒素の水稻による利用率

1987年度についてみると0日区では5月8日から5月27日にかけて施肥由来のアンモニア態窒素は急激に減少した。その後減少は緩慢であった。5日区, 10日区では0日区の減少に比較して減少は緩慢であった。5月下旬の施肥窒素のアンモニア態窒素としての残存量は施肥量の10-20%であった。

施肥由来のアンモニア態窒素の減少を1990年度についてみると10日区では5月8日からほぼ直線的に減少した。一方, 0日区, 5日区では施肥由来のアンモニア態窒素は5月上旬から6月上旬までの減少は少なく, 6月中旬から下旬にかけて急速に消失した。5月下旬のアンモニアとしての施肥窒素の残存量は施肥量の40-60%程度と, 1987年度に比較して残存率が高くなった。

4) 施肥窒素の利用率, 水稻の収量

土壤中に施肥由来のアンモニア態窒素が消失した後の7月中旬の施肥窒素の利用率を第5図に示した。1987年度と1990年度では処理区に対する利用率の傾向が異なった。1987年度は, 入水までの期間が長いほど, すなわち10日区でもとっとも施肥窒素の水稻による利用率が低下した。一方, 1990年度は入水までの期間と無関係で, 5日区の利用率がもっとも低かった。



1987年度 1990年度
第6図 水稻収量

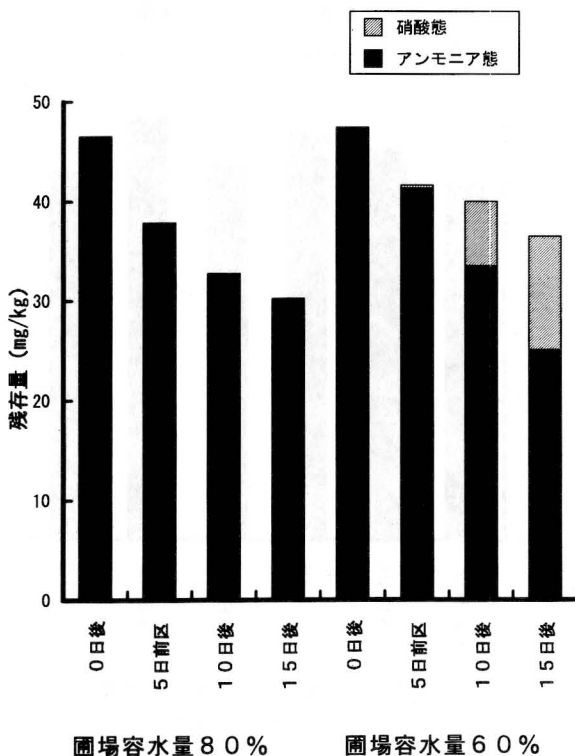
1987年度の0日区の利用率は23%であった。一方, 1987年度の10日区では水稻による施肥窒素の利用率が約

7%であり、0日区に比較して約1/3の値となった。

水稻の単位面積当たり収量を第6図に示した。1987年度の各処理区の収量は各区の施肥窒素の利用率と同様の傾向を示した。すなわち、施肥窒素施用後入水までの期間が長くなるにつれて収量は減少した。一方、1990年度は10日区と0日区の収量はほぼ同様であったが5日区の収量が0日区に比較して15%程度高くなった。

5) 室内培養実験

第7図には、培養開始後日数と施用窒素の無機態窒素としての残存量の関係を示した。水分条件に無関係に培養開始後の日数が経過するにつれて施用窒素の全無機態窒素としての残存量は指数的に減少した。水分条件の違いをみると圃場容水量の80%条件では残存した無機態窒素はすべてアンモニア態窒素であった。一方、圃場容水量の60%条件では培養日数が経過するにつれて無機態窒素に占める硝酸態窒素の割合が増加した。培養15日目の圃場容水量60%条件では残存する無機態窒素に占める硝酸態窒素の割合は30%を超える値となった。



第7図 土壌水分と培養日数が施用窒素の残存量に及ぼす影響

圃場容水量の80%条件下ではアンモニア態窒素の減少は培養日数に対して指数的に減少し、施用後10日のアンモニア態窒素の残存率は0日の残存量の約70%であった。一方、圃場容水量の60%条件下ではアンモニア態窒素の減少は培養日数に対して直線的であった。この結果、圃場容水量60%条件下の施用後10日の残存率は70%と圃場容水量の80%条件と同様であったが、培養15日では53%と圃場容水量80%条件下の残存率より約12%低くなった。

4. 論 議

入水日の無機態窒素について兩年度を比較すると、1987年度はアンモニア態窒素と硝酸態窒素が存在するが、1990年度はアンモニア態窒素しか確認できなかった。1990年度は降雨量が多く、圃場の水分含量は実験期間中圃場容水量を超える値、すなわち湛水状態を示した。一方、1987年度は入水前の10日間の総降雨量が14.5mmで1990年度の2割程度であった。この結果1987年度は実験期間中水田は酸化的に維持された。1990年度は、アンモニア態窒素が仮に硝化されたとしても、硝酸態窒素の酸素は微生物に利用されやすく³⁾硝酸態窒素として安定に存在しなかったものとみられる。また、圃場容水量80%条件下での培養実験でも硝酸態窒素は存在しなかった。これらのことより、兩年度の降雨量の違いが土壌の水分条件を変え、硝酸態窒素の存在の有無を生じたものと考えられる。

入水時のアンモニア態窒素量を処理区による差すなわち5日区、10日区で比較すると、両区に大きな違いは認められなかった。年次間の差をみると、5日区、10日区ともに同様の傾向が認められ、1987年度のアンモニア態窒素量は1990年度の約60%程度であった。すなわち、土壌水分含量の多い1990年度の方がアンモニア態窒素としての残存量が多い結果となった。一方、室内培養試験で、圃場容水量がアンモニア態窒素の残存に与える影響をみると、施肥後10日までは水分含量の多い80%区のアンモニア態窒素量が60%区のアンモニア態窒素量より少なくなった。

圃場容水量水分状態では0.05mmよりも大きい直径を持つ孔隙中の水は排除される⁶⁾。このことは、圃場容水量の80%条件では土壌内にまだ孔隙が存在し、その孔隙には酸素が存在することを示す。一方、1990年度の圃場条件下では、土壌水分量は圃場容水量を超える値であり、酸素の存在する孔隙は存在しなかったとみられる。これ

らのことが、水分含量がアンモニア態窒素の残存に与える影響で圃場実験と室内培養実験で異なった原因とみられる。

入水1週間後の土壌中のアンモニア態窒素量は1990年度では試験区に大きな違いが認められなかった。しかし、1987年度の入水1週間後のアンモニア態窒素量をみると0日区と他の区では大きな違いが認められた。しかし、入水直前と入水1週間後のアンモニア態窒素量を比較すると、いずれの区でも入水直前のアンモニア態窒素量の40-50%が土壌中にアンモニア態窒素として残存した。したがって、1987年度の入水1週間後の土壌中のアンモニア態窒素量の差は入水直前のアンモニア態窒素量の差を反映したものと考えられる。

入水直前と1週間後の土壌中のアンモニア態窒素量の減少を両年度で比較すると、1987年度は前述のごとく40-50%であった。一方、1990年度はいずれの区でも60-70%のアンモニア態窒素が入水1週間後に残存した。5日区の施肥後5日間のアンモニア態窒素の減少率と、0日区の施肥後7日間の減少率を1日あたりで見るとほぼ同じ値となった。1990年度は、前述のごとく降雨量が多く入水前から土壌水分は飽和に達していた。したがって、通常の年に起きる入水に伴う土壌の還元の進行は、1990年度には入水前から起きていたことになる。これに対して1987年度は、入水に伴って土壌が酸化的条件から還元的条件に変化したものと考えられる。これらのことが両年度の入水に伴うアンモニア態窒素の減少の違いをもたらしたものと考えられる。

水稻により吸収された施肥窒素量を、入水直前に存在したアンモニア態窒素量で除した値をみると、1990年度は0日区では0.41、5日区で0.30そして10日区で0.34であった。一方、1987年度について同様にみると、0日区では0.17、5日区で0.32そして10日区で0.23であった。1987年度の5日区を除くと、入水直前から入水後1週間のアンモニア態窒素の残存率の高い1990年度の方が高い結果となった。また、施肥窒素の利用率(吸収量/施用量)でも1990年度の方が1987年度より高い値となった。これらのことは、施肥窒素の利用率からみると酸化的条件に施肥するより、還元的条件で窒素を施用した方がより有利であることを示している。なお、1987年度の5日区が高い値となった理由は不明である。

水稻の収量は1987年度は施肥窒素の利用率に対応した結果となった。一方、1990年度は施肥窒素の利用率からみると試験区間に差がみられないが、収量は5日区がも

っとも高い傾向がみられた。しかし、統計的な有意差は認められなかった。施肥窒素の吸収は最高分け時期までに終了するので、生育初期の生育量の違いが収量に反映したものと考えられる。

5. 要 約

水田での基肥窒素施用後の入水までの期間が水稻の施肥窒素吸収、水稻の収量に与える影響について圃場条件下で検討した。また、その期間中の土壌水分条件が施肥窒素の形態変化に与える影響について、室内培養法で検討した。得られた結果は以下の通りである。

- ①室内培養実験の結果、土壌水分条件に無関係に施用窒素の無機態窒素としての残存量は時間の経過とともに指数的に減少した。無機態窒素としての残存量は圃場容水量60%水分条件下で80%水分条件下より少なかった。圃場容水量の60%水分条件下では硝酸態窒素としての残存がみられたが、圃場容水量の80%水分条件下では残存無機態窒素はすべてアンモニア態であった。
- ②圃場実験の結果、施肥後入水までの期間が増加するにつれて入水時点での施用窒素の無機態、有機態窒素としての残存量は減少した。施肥後入水までの期間中に降雨量が多く、圃場容水量を越える水分含量であった年次は、水分含量の少ない年次に比較して施肥窒素の無機態窒素としての残存量は多くなった。入水後の施肥窒素のアンモニア態窒素量は施肥後入水までの期間と関係し、入水までの期間が長くなるにつれて少ない量で推移した。しかし、施用窒素の消失時期は施肥後入水までの期間と無関係に6月下旬であった。
- ③施肥後入水までの期間中降雨量の少なかった年次の施肥窒素の水稻による利用率は、施肥後入水までの期間が10日間で0日間に比較して約1/3となった。一方、降雨が多く、土壌水分が圃場容水量を越えた年次は施肥窒素の水稻による利用率と施肥後入水までの期間の間には一定の関係が認められなかった。水稻の収量と施肥窒素の利用率が低い条件で高くなった。

文 献

- 1) 庄子貞雄・前忠彦：無機養分と水の動態，作物の生理生態，p.97～220，文永堂，東京（1984）
- 2) 武田敏昭・佐藤紀男・丹治芳広・小沢一夫・安藤豊：水稻生育の地域性と対応技術組立に関する研究，福島県農業試験場研究報告，**23**，19～41（1984）
- 3) 高井康雄：湛水下の土壤中の酸化還元過程，川口桂三郎編，水田土壌学，p.23～54，講談社，東京（1978）
- 4) 山形農林水産統計年報，平成元～平成2年，山形農林統計協会（1989）
- 5) Keeney, D. R. and Nelson, D. V. : Nitrogen-Inorganic Forms, Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd Ed. p.643-698
- 6) 狩野広美・米山忠克・熊沢喜久雄：発光分光分析法による重窒素の定量について，土肥誌，**45**，549～559（1974）
- 7) 久馬一剛：土壌の物理性，新土壌学，p.97～130，朝倉書店，東京（1984）