暖地水田における地力窒素発現パターンと施肥の診断

第2報 水田土壌の窒素無機化特性と水稻生育期間中の窒素吸収パターン

山本 富三・田中 浩平・角 重和 浩

(福岡県農業総合試験場)

1992年7月31日受理

要 旨 : 福岡県内の代表的な水田土壌を対象に、土壌窒素の無機化特性と水稻生育期間中の窒素吸収パターンについて検討した。代かき前の作土を採取し、室内定温培養実験を行った結果、窒素無機化量(N)と培養日数(t)との関係は、モデル式: $N = N_0(1 - e^{-kt}) + B$ によく適合し、土壌窒素の無機化を特徴づける3つの特性値: 可分解性窒素量 N_0 、25°Cにおける速度定数 k (25°C)、見かけの活性化エネルギー E_a が得られた。 k は土壌の種類で著しく異なり、地力窒素発現量は k の大きい土壌で多かった。同一種の土壌では、地力窒素発現量は N_0 の値に左右され、地力増強が進んだ圃場で N_0 の値が大きかった。温度変化によって受ける影響の大きさを表す E_a には差がないと考えられた。さらに、各試験地内の圃場で地力窒素発現量の推定を行うとともに、水稻窒素吸収量の時期別推移を調べた。窒素無施用区的水稻窒素吸収量を地力窒素吸収量の指標とすると、地力窒素吸収量は圃場間で著しい差があり、肥沃度が低い圃場は高い圃場に比べ、地力窒素の総吸収量に占める生育前半の吸収割合が少なかった。地力窒素発現量に対する地力窒素吸収量の割合は、移植後25日(7月半ば)頃までは35%前後であったが、移植後35日以降は70~80%で推移し、地力窒素が効率的に水稻に吸収されていることが窺われた。肥料窒素の吸収量は土壌間で異なるものの、地力窒素吸収量の土壌間差に比べ小さかった。また、肥沃度が異なる各水田圃場の調査結果を基に、収量レベルに対応した生育期間中の窒素吸収量の指標値を求めた。

キーワード : 水田土壌, 施肥窒素, 窒素吸収量, 窒素無機化, 地力窒素。

Patterns of Soil Nitrogen Release in Paddy Fields of Warm Regions in Japan and Diagnosis of Fertilizer Application II. Characteristics of soil nitrogen mineralization and nitrogen uptake patterns of rice plants in Fukuoka Prefecture: Tomizou YAMAMOTO, Kouhei TANAKA and Kazuhiro KADOSIGE (*Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818, Japan*)

Abstract : Topsoils collected from various regions in Fukuoka Prefecture were incubated and the amount of mineralized nitrogen was measured. The relationship between the mineralized nitrogen amount (N) and the incubation time (t) fitted to the formula: $N = N_0(1 - e^{-kt}) + B$, and the nitrogen mineralization was characterized by the characteristic parameters: N_0 , N-mineralization potential; k , mineralization rate constant at 25°C; and E_a , apparent activation energy. The value of k differed remarkably among soils, and the amount of soil nitrogen released (SNR) increased in the case of paddy soils with high k values. In the same type of soils, or similar k values, the amount of SNR was influenced by the value of N_0 . The amounts of soil nitrogen absorbed by rice plants (SNA) differed considerably among fields. In the field with low fertility, rice plants uptook soil nitrogen less especially in the early stages in comparison to the field with high fertility. The average value of SNA/SNR was about 35% from transplanting to 25 days after transplanting. The value was 70-80% from 35 days after transplanting to harvesting, indicating that the soil nitrogen released was efficiently absorbed by rice plants at the later stages. Though the amounts of fertilizer nitrogen uptake differed among fields, the difference was considerably less than that of soil nitrogen uptake. From results of the above field experiment, we proposed the recommended amounts of nitrogen uptake through growth stages for each level of rice yield.

Key words : Amount of nitrogen uptake, Fertilizer nitrogen, Nitrogen mineralization, Paddy soils, Soil nitrogen.

水稻は地力依存度の高い作物であり、中でも地力窒素の多少は土壌生産力を決定づける要因となっている。水稻の安定生産や品質の向上を図るためには、過不足のない窒素の供給が必要であり、水田土壌の地力窒素診断とそれに基づいた適正な施肥技術の確立が緊急な課題となっている。

そのため、筆者等は速度論的方法^{8,11)}による水稻生育期間中の地力窒素発現量の推定法^{17,18)}につい

て検討し、また前報¹⁹⁾では、暖地水田土壌の地力窒素発現パターンについて調べるとともに、地力窒素量の相違が水稻の生育や収量に及ぼす影響を明らかにした。

しかし、地力窒素発現量を予測し、それに基づいた適正な施肥診断技術を確立するためには、さらに次の点を明らかにしておく必要がある。一つは、推定の基となる各水田土壌の窒素無機化特性につい

て、土壌間での相違や地力窒素発現量との関係を詳細に解析しておくことである。今一つは、推定された地力窒素発現量と実際の圃場における水稻による地力窒素吸収量との関係を明らかにするとともに、地力窒素及び施肥窒素それぞれの吸収量の推移を時期別に明らかにしておくことである。

速度論的方法による水田土壌の窒素無機化特性の解析は、東北地域では安藤^{1,2,3)}、上野^{13,14)}、藤井⁴⁾らにより、北陸地域では北田⁵⁾らにより行われ、東北地域では主に圃場埋設法により無機化特性値を求めている。しかし、圃場埋設法では自然条件下での温度変化に対する対応が可能である反面、測定のパラッキが大きいこと、加えて正確な無機化特性値を得るには温度別の室内定温培養実験による詳細な解析が必要であることから、土壌の種類や土壌肥沃度の相違によって無機化特性値がどのくらい変わるのかという点についての検討が、まだ不十分である。また、地力窒素発現量の推定値と実際の圃場における水稻による吸収量との関係については、上野¹³⁾、藤井⁴⁾、北田⁵⁾らの報告があるが、両者の間に必ずしも一様の傾向が認められておらず、暖地水稻において、地域や肥沃度が異なる水田での検討が必要である。

そのため、本報では、県内の代表的な水田土壌を対象に、室内培養実験により土壌窒素無機化特性について解析を行うとともに、圃場試験によって水稻生育期間中の窒素吸収パターンについて検討したので、その結果を報告する

材料と方法

1. 室内培養実験

各種水田における地力窒素発現の実態を明らかにするため、福岡県内各地の水田から代かき前の作土を採取し、室内培養実験により窒素無機化特性を調べた。培養法については、吉野らの湿潤土湛水静置の方法²¹⁾によった。まず、採取した土壌を未風乾のままインキュベート管(内径 25 mm, 高さ 120 mm)に充填し、湛水状態として定温室(温度 20, 25, 30°C)に静置した。それらを経時的に取り出して、土壌窒素の無機化によって生成するアンモニア態窒素量を測定した。得られた結果を速度論的¹¹⁾に解析し、各水田土壌の地力窒素発現を特徴づける窒素無機化特性値を求めた。また、窒素無機化式と無機化特性値及び地温データ(地表面下 5 cm)から、水稻生育期間中の地力窒素発現量を推定した。

2. 圃場試験

調査圃場は、福岡県農業総合試験場本場(N 土壌: 筑紫野市, 中粗粒灰色低地土, 土性 SL) 及び筑後分場(C 土壌: 大木町, 細粒灰色低地土, LiC), 豊前分場(B 土壌: 行橋市, 細粒灰色台地土, CL) 内において、有機物の施用来歴や耕起深度など地力増強の程度が異なる水田圃場(第1表)並びに福岡県内の各地域の土壌を 30 cm の深さに充填して造成した本場内のコンクリート枠水田圃場(第2表)である。各圃場に、施肥区及び窒素無施用区(1 区面積 10~20 m², 2 反復)を設け、水稻の生育、収量及び窒素吸収量の推移を調査した。1986~1988 年に、中生短稈品種ニシホマレまたはツクシホマレを供試し、施肥区の窒素施用量は県の施肥基準に準じ、本場及び筑後分場では 10 a 当たり基肥 7 kg, 穂肥 3+2 kg, 筑後分場では基肥 7 kg, 穂肥 3.5+2.5 kg とした。また、造成圃場については、地力の極端に劣る吉木土壌では基肥 11 kg, 穂肥 4+3 kg とし、他土壌では基肥を甘木土壌 7~9 kg, 二日市土壌 4~7 kg, 三潅土壌 7 kg とし、穂肥はいずれの土壌も 3+2 kg とした。穂肥の施用時期は、第1回目が出穂前の 20~25 日、第2回目はその 7~10 日後である。栽植密度は 22.2 株/m² で、稚苗を 6 月 17~23 日に移植した。収穫期は 10 月下旬である。

なお、土壌中のアンモニア態窒素は、10% 塩化カリウム溶液振とう後水蒸気蒸留法により、作物体の窒素は風乾、粉碎後の試料をケルダール法により分析した。

培養実験及び圃場試験の結果から、次に示す値を

第1表 供試水田圃場の概況。

地 域	圃場No.	作土深 cm	pH	全炭素 %	全窒素 %
本 場	N-1	11.0	5.9	1.28	0.110
	N-2	11.5	6.5	1.95	0.168
	N-3	12.0	6.9	2.11	0.166
	N-4	14.5	7.0	1.94	0.169
	N-5	15.6	6.9	1.88	0.173
	N-6 ¹⁾	15.5	6.8	2.26	0.194
筑 後	C-1	11.0	5.6	3.03	0.267
	C-2 ²⁾	11.1	5.9	4.34	0.331
	C-3	11.5	6.0	3.26	0.272
	C-4 ¹⁾	11.3	6.4	3.85	0.309
	C-5 ²⁾	11.3	5.8	3.41	0.287
豊 前	B	10.5	6.3	2.16	0.204

1) 本場 N-6, 筑後 C-4 は、牛ふん堆肥連用圃場。

2) 筑後 C-2, C-5 は、稲わら連用圃場。

第2表 造成水田圃場の作土の種類と化学性.

土壌名	圃場No.	土壌の種類と土性	pH	全炭素 %	全窒素 %
吉 木	Y	中粗粒黄色土表土, SL	5.6	0.24	0.025
甘 木	A	黒ボク土表土, CL	6.4	4.93	0.303
二日市	F-1	中粗粒灰色低地土表土, SL	6.2	0.94	0.082
〃	F-2 ¹⁾	〃	6.4	1.01	0.100
三 瀧	M	細粒灰色低地土表土, LiC	6.3	1.77	0.155

1) 二日市 F-2 は、牛ふん堆肥 (2t/10a) 連用圃場.

水稻の各生育時期ごとに求めた.

地力窒素発現量の推定値: 速度論的方法により推定した各生育時期までの地力窒素発現量の積算値.

地力窒素吸収量: 各生育時期における無窒素区の水稲窒素吸収量. したがって, これは移植期から各生育時期までに発現した地力窒素のうち, 水稻により吸収された量を示す. なお, この中には雨水やかんがい水から供給される窒素も含まれるが, 通常その大部分は土壌由来の窒素とみられる²⁰⁾ ため, 水稻による地力窒素吸収量の指標とした.

地力窒素供給量: 各生育時期における無窒素区の水稲窒素吸収量と同時に残存する土壌中アンモニア態窒素量の合計量. したがって, これは地力窒素の発現に伴って, 水田中 (水稻と土壌) に供給された地力窒素の総量を示す指標となる. ただし, 流亡, 脱窒等で損失した窒素は含まれない.

肥料窒素吸収量: 各生育時期における施肥区の水稲窒素吸収量を調査し, この値から無窒素区の水稲窒素吸収量を控除したものを施肥に由来する窒素の吸収量とした.

地力窒素依存度: 施肥条件下で水稻を栽培した場合, 水稻が吸収した窒素のうち, 地力窒素の占める割合. 地力窒素依存度 (%) = (無窒素区の水稲窒素吸収量 ÷ 施肥区の水稲窒素吸収量) × 100

施肥窒素の利用率 (%) : (施肥区の水稲窒素吸収量 - 無窒素区の水稲窒素吸収量) ÷ 施肥窒素量 × 100

結果と考察

1. 室内培養実験による水田土壌の窒素無機化特性の解析

県内各地域の水田作土を採取し, 温度別の室内培養実験により窒素無機化特性について調べた. その結果, 窒素無機化量 N (mg/100 g) と培養日数 t (日) との関係はいずれの土壌も単純型モデル式: $N = N_0 (1 - e^{-kt}) + B$ によく適合し (第1図), それ

第1図 土壌窒素無機化曲線の例 (農総試本場 N-4).

無機化モデル式 $N = N_0 (1 - e^{-kt}) + B$; N は土壌窒素無機化量 (mg/100 g), t は培養日数 (日).

ぞれの土壌について, 窒素の無機化を特徴づける3つの無機化特性値: 可分解性窒素量 N_0 (mg/100 g), 25°Cにおける速度定数 k (1/日), 見かけの活性化エネルギー E_a (cal/mol) が得られた.

東北地域では, 主に圃場埋設法により無機化特性値を求めており, 有機化を伴った負の項をもつモデル式: $N = A (1 - e^{-kat}) + B (1 - e^{-kbt}) + C$ (A は正の項, B は負の項の可分解性窒素量) へのあてはめを行っている. 室内培養実験においても, このモデル式へのあてはめが可能であるが, 実用的には単純型モデル式で解析を行うことがよいと判断されるため^{6,17)}, 本研究では単純型モデル式を用いた.

N_0 は潜在的に無機化し得る有機態窒素の量を表わす. k は無機化速度の大きさを表わし, k の値が大きいほど無機化が早く進行する. E_a は温度別の培養実験により求められ, 温度変化によって受ける窒素無機化への影響の違いを表わすパラメータであり, E_a が求められると, 25°C 変換日数 (窒素無機化量の計算において, ある日に測定した1日の平均地温が, 25°C では何日に相当するか) が計算できる. 室内培養実験で得られた N_0 (mg/100 g) を作土重量

で換算し、作土 10 a 当たりの N_0 (kg/10 a) を求め、また Ea と毎日の地温データとから 25°C 変換日数 (t) を算出し、前述の 25°C における無機化式により、水稻生育期間中の地力窒素発現量を推定した (第 3 表, 第 2 図)。

各土壌の無機化特性値と地力窒素発現量の推定値との関係について調べてみると、 Ea については、大部分の土壌が 16,000~20,000 cal/mol の範囲にあり、この範囲における生育期間中の地力窒素発現量の相違は 1~2% 程度しかなく、土壌間の差はほとんど問題にならないと考えられた。

なお、この値は水田土壌について室内培養実験^{6,14)}により求められた Ea の値 13,000~22,000 cal/mol 及び杉原らが畑土壌で得た値 15,000~23,300 cal/mol¹¹⁾ とほぼ同様の範囲にある。また、圃場埋設法^{2,3,4,13)}により求められた Ea の値は 1,000~42,000 cal/mol (負の項の Ea は除く) と広い範囲にあり、一部の土壌では含有する可分解性有機物に質的な相違があると考えられる²⁾ が、多くの土壌は 20,000 cal/mol 前後の値であった。

第 3 表 各水田土壌の窒素無機化特性値。

土 壌	$N_0^{1)}$ kg/10a	k 1/日	Ea cal/mol
甘 木(A)	18.9	0.0011	19,600
二日市(F)	13.3	0.0022	18,300
八木山	28.0	0.0027	19,400
北 野	30.7	0.0045	18,700
豊 前(B)	30.0	0.0024	18,100
本 場(平均)	26.2	0.0038	17,700
〃 (N-1)	18.6	0.0038	16,400
〃 (N-2)	21.7	0.0036	17,900
〃 (N-3)	25.4	0.0040	16,600
〃 (N-4)	27.8	0.0037	19,300
〃 (N-5)	28.5	0.0042	17,500
〃 (N-6)	34.9	0.0033	18,500
筑 後(平均)	24.0	0.0063	18,000
〃 (C-1)	22.3	0.0061	17,500
〃 (C-2)	22.0	0.0058	18,200
〃 (C-3)	26.0	0.0053	16,100
〃 (C-4)	23.7	0.0082	20,000
〃 (C-5)	25.9	0.0060	18,000

- 1) 作土深 10 cm, 容積重 100 g/100 cc の場合, 10a 当たりの作土中乾土重量は 100 t と計算されることから、室内培養実験で求められた N_0 (mg/100 g) を次式により作土重量で換算し、作土 10a 当たりの N_0 (kg/10a) を求めた。

$$N_0(\text{kg}/10\text{a}) = N_0(\text{mg}/100\text{g}) \times \text{作土深}(\text{cm})/10(\text{cm}) \\ \times \text{容積重}(\text{g}/100\text{cc})/100(\text{g}/100\text{cc})$$

Ea の値には土壌間差がないと考えられたことから、無機化特性値 N_0 (kg/10 a) 及び k (1/日) と地力窒素発現量 (kg/10 a) との関係について明らかにするため、 N_0 を縦軸に、 k を横軸に取り、各試験地間の平均地温データと各土壌の Ea の平均値から 25°C 変換日数を計算し、両特性値に対応する水稻生育期間中の地力窒素発現量の推定値を求め、その値を等値線で示した。そして、この図に培養実験から求められた無機化特性値に基づいて、各土壌をプロットした (第 3 図)。

水稻生育期間中の地力窒素発現量は、 N_0 と k の値によって決定され、 N_0 が大きいほど、また k が大きい土壌ほど多いことが認められる。

k の値は土壌の種類によって著しく異なり、甘木

第 2 図 水稻生育期間中の地力窒素発現量推定曲線 (1988 年)。

供試した水田土壌のうちの一部について示した。

第 3 図 無機化特性値 N_0 , k と地力窒素発現量との関係。

- 1) 縦軸は作土 10 a 当たり N_0 (kg/10 a)。
2) 横軸は速度定数 k (25°C)。
3) グラフ内の等値線は、水稻生育期間中の地力窒素発現量を示す。1988 年の各試験地の平均地温データを基に作成した。

土壌(A土壌:黒ボク土)で最も小さく、筑後川下流域の肥沃な筑後分場内の水田土壌(C土壌)で最も大きく、 $0.0011 \sim 0.0082$ (1/日)の範囲にあった。なお、圃場埋設法により求められた k の値^{2,3,4,13)}は $0.002 \sim 0.02$ (1/日)の範囲に、また室内培養実験^{6,14)}により求められた k の値は $0.002 \sim 0.012$ (1/日)の範囲にあり、本実験で得た値はこれらと比べてやや小さい方であった。

地力窒素発現量は k の値に大きく影響され、 k が大きい筑後土壌(C土壌)で発現量は非常に多く、また k の値が小さい土壌では、豊前土壌(B土壌)のように N_0 が大きくても、他土壌に比べ発現量は少なかった。農総試本場内の土壌(N土壌-1~6)においては、 k の値はほぼ同様の値を示し、また筑後分場内の土壌はいずれも他土壌より高い k の値を示した。このことから、さらに他土壌での検討が必要であるが、同一タイプの土壌では k の値はそれほど変わらないことが予想された。山形県庄内地域のグライ土壌においても、火山灰の混入がない土壌では、大部分が 0.01 (1/日)前後の値であったと報告されている⁹⁾。したがって、農総試本場内の水田圃場の例でみられるように、同地域内の水田土壌においては、地力窒素の発現は N_0 の値に大きく左右され、地力増強程度の高い圃場ほど N_0 の値が大きく、生育期間中の発現量が多かった。 N_0 は平均すると、土壌中の全窒素含量の約1割前後の値であるが、 N_0 と全窒素含量の割合は土壌の種類により異なった。

また、移植期から各生育時期までの地力窒素発現量の割合と特性値 k との関係について、生育期間中の総地力窒素発現量を100として、生育時期別の推移を第4図に示した。水稻各生育時期ごとの地力窒素発現割合は k の値で異なり、 k が小さい土壌は k が大きい土壌に比べて生育前半の分けつ期間中における地力窒素発現割合が少なく、生育後半の幼穂形成期以降の発現割合が多いことが推定された。

2. 水稻生育期間中の窒素吸収パターンの解析

調査圃場の地力窒素吸収量に基づいて、その少ないものから順に並べ、施肥条件下での水稻窒素吸収量を地力窒素および肥料窒素に分けて、両者の時期別推移について比較した(第4表)。品種として、中生品種ニシホマレを供試したが、一部の圃場では、1987年以降ツクシホマレを用いた。両品種の時期別の窒素吸収量や施肥窒素の利用率には差がなかったため、3年間を平均して取りまとめた。

地力窒素の吸収量は土壌間で著しい差がみられ、

生育が進むにつれてその差が拡大した。成熟期の窒素吸収量でみると、10a当たり3kg未満の吉木土壌(Y土壌)から、肥沃な筑後分場内の水田土壌(C土壌)では10kg以上と極めて多い圃場まで大きく変動した。一方、肥料窒素の吸収量は土壌間で異なるものの、大半の土壌が移植35日後で2~2.5kg、移植45日後~幼穂形成期で3~4kg弱、穂揃期~成熟期で5~8kgであり、地力窒素に比べると土壌間の差は小さかった。したがって、施肥条件下でも地力窒素の違いが水稻窒素吸収量に大きく反映していることが明らかである。

なお、地力窒素吸収量については年次変動が認められ、夏期の地温が高く推移した1986年に多く、7月中旬以降日照不足に見舞われた1987年に最も少なかった。しかし、圃場間差の傾向はほとんど変わらず、前述の室内培養実験から推定される地力窒素発現量とほとんど平行した関係にあった。

次に、成熟期における地力窒素吸収量を100とした場合の移植時から各生育時期までの地力窒素吸収割合を第5表に示した。時期別の吸収割合は土壌により傾向が異なったが、調査圃場を平均すると、生育期間中の総地力窒素吸収量の約50%が移植期から幼穂形成期までに、約80%が穂揃期までに吸収されていることが認められた。地力窒素吸収量の少ない土壌では、生育前半の吸収割合が少なく、生育後半とくに穂揃期以降の吸収割合が多いことが認められた。この原因として、これら肥沃度の低い土壌では水稻の根系の発達が遅れるため、生育前半においては作土からの窒素吸収能力が他土壌より劣ることによると考えられる。また、A土壌やF土壌では、前述の室内培養実験により求められた無機化特性値

第4図 速度定数 k (25°C) と地力窒素発現割合。
1) 生育期間中の総地力窒素発現量に対する移植期から各生育時期までの発現量の割合。

第4表 土壌別の地力窒素及び肥料窒素吸収量と収量.

(kg/10a)

土壌	+35日			+45日			幼穂形成期			穂 揃 期			成 熟 期			収量
	地力 N	肥料 N	合計	地力 N	肥料 N	合計	地力 N	肥料 N	合計	地力 N	肥料 N	合計	地力 N	肥料 N	合計	
Y	0.5	2.3	2.8	0.8	2.8	3.6	0.9	3.7	4.6	1.7	8.0	9.7	2.6	7.4	10.0	482
A	0.9	2.7	3.6	1.3	3.0	4.3	1.7	3.6	5.3	2.9	6.5	9.4	4.3	6.1	10.5	506
F-1	1.1	2.3	3.4	1.4	3.0	4.4	1.9	2.7	4.6	3.6	5.9	9.5	5.0	5.0	10.0	490
B	2.2	2.7	4.9	3.1	2.9	6.0	—	—	—	4.6	6.8	11.4	5.9	6.7	12.6	580
F-2	1.6	2.1	3.7	2.3	2.3	4.6	2.4	2.6	5.0	4.8	5.7	10.5	6.1	5.3	11.4	539
N-1	1.5	2.1	3.6	2.5	2.8	5.3	2.8	3.7	6.5	5.4	6.8	12.2	6.2	6.7	12.9	553
N-2	2.3	2.5	4.8	3.5	3.8	7.3	3.7	3.5	7.2	5.2	6.9	12.1	6.2	6.2	12.4	584
M	2.7	2.5	5.2	3.1	3.6	6.7	4.0	3.6	7.6	6.0	6.7	12.7	7.2	6.2	13.4	599
N-3	3.1	2.6	5.7	4.3	3.2	7.5	4.9	3.1	8.0	6.3	6.4	12.7	7.4	6.2	13.6	613
N-4	2.7	2.3	5.0	3.9	3.8	7.7	4.8	3.5	8.3	6.9	6.5	13.4	7.7	7.0	14.4	611
C-1	3.3	2.5	5.8	4.2	4.5	8.7	—	—	—	7.0	7.9	14.9	8.6	7.7	16.3	669
N-5	2.7	2.4	5.1	4.1	4.1	8.2	5.0	3.7	8.7	7.3	7.3	14.6	8.6	5.8	14.4	634
C-2	3.1	1.9	5.0	5.5	2.3	7.8	—	—	—	8.2	6.4	14.6	8.9	6.3	15.2	664
N-6	2.9	2.5	5.4	4.9	3.7	8.6	5.2	4.0	9.2	8.1	6.1	14.2	9.3	5.7	15.0	635
C-3	—	—	—	5.3	3.7	9.0	—	—	—	8.7	4.9	13.6	9.9	4.8	14.7	613
C-4	—	—	—	6.7	1.9	8.6	—	—	—	8.3	5.8	14.1	10.4	5.0	15.4	637
C-5	—	—	—	5.0	4.2	9.2	—	—	—	8.3	7.8	16.1	10.7	4.5	15.2	665
平均	2.2	2.4	4.6	3.6	3.2	6.8	3.5	3.4	6.9	6.1	6.6	12.7	7.4	6.0	13.4	—

1) 3年間(1986~1988年)の平均値.

2) 土壌の略号: Yは吉木, Aは甘木, Fは二日市, Bは豊前分場, Nは農総試本場, Mは三潞, Cは筑後分場.

3) 各土壌に付した-1, 2, 3……は, 同試験地内の圃場番号(地力窒素吸収量の少ない圃場から順に並べた).

kの値が小さく, 第4図に示したように生育前半の地力窒素発現割合が少ないことも起因していると考えられる.

地力窒素の依存度については, 地力窒素吸収量の極めて少ない吉木土壌で26%と低かったが, 他の土壌は40%以上で50~60%の圃場が大部分を占め, 平均でも54%と, 施肥窒素量が12~13kgと多いニシホマレにおいても肥料窒素より多く吸収されていた(第5表). なお, 各生育時期における地力窒素依存度にはそれほど大きな変動はなかった.

3. 水稻生育期間中の地力窒素発現量の推定値と水稻による地力窒素吸収量との関係

農総試本場内(N-1~6), 筑後分場(C-1~5)及び豊前分場(B)の水田圃場において, 水稻生育期間中の地力窒素発現量の推定値と圃場における実測の水稻による地力窒素吸収量との比較を行った.

地力窒素発現量の推定値に対する水稻の地力窒素吸収量の割合(地力窒素吸収量/推定値×100)について調べた結果(第6表), 移植後25日(7月半ば)頃では35%前後と低かったが, 移植後35日(7月5~6半旬)頃には55~75%となり, 移植後35日以降については70~80%の値で推移した. したがっ

て, それ以降は, 発現した地力窒素が水稻により効率的に吸収されていることが窺える. なお, 移植後35日の吸収割合が年次で異なり1987年に低かったが, この年は夏期間が日照不足に見舞われ, 根系の発達が遅れたため, その影響によるものと考えられた. また, 地力窒素の吸収割合を地域別にみると, 肥沃地土壌である筑後圃場では全般的に少なく推移した.

地力窒素発現量の推定値と実測の地力窒素供給量との比較を行った結果, 移植後25日(7月半ば)頃は年次による変動がみられ, また成熟期に近づくにつれて, 推定値に比べ実測の供給量が低くなった. これは, 土壌中残存アンモニア態窒素量の採取地点でのバラツキによる影響のほか, 脱窒及び流亡等による水田土壌からの窒素の損失に伴い, 実測の供給量が低く現れたものと考えられた. しかし, 全般的にみて, 実測の供給量は推定値のほぼ80~100%で推移し, かなりよく一致していた.

以上のことから, 地力窒素発現量の推定値を積算した値に移植後25日頃までは0.35, 移植後35日以降穂揃期にかけては0.7~0.8を乗ずることで, 水稻の地力窒素吸収量を推定することが可能であり, 施

第5表 生育時期別の地力窒素吸収割合。

土 壤	時期別の地力 N 吸収割合 (%)					生育期間中における地力 N 吸収量 (kg/10a)	施肥区総窒素吸収量 (kg/10a)	地力窒素依存度 (%)
	移 +25日	植 +35日	後 +45日	幼 穂 形成期	穂揃期			
Y	9±1	21±3	29±4	36±1	67±15	2.6±0.5	10.0±0.8	26
A	9±1	22±5	30±0	39±6	67±11	4.3±0.4	10.5±1.3	41
F-1	11±2	21±3	28±6	39±6	72±14	5.0±0.4	10.0±1.1	50
B	15±3	38±5	53±4	—	77±5	5.9±0.5	12.6±0.6	47
F-2	11±2	26±1	35±2	40±6	79±17	6.1±1.0	11.4±1.0	54
N-1	9±0	24±6	41±9	45±3	87±10	6.2±0.2	12.5±0.7	50
N-2	15±3	37±10	58±6	60±7	84±6	6.2±0.4	12.4±0.3	50
M	17±1	37±6	45±6	56±1	84±14	7.2±0.6	13.4±0.5	54
N-3	14±2	42±3	57±0	68±0	85±3	7.4±0.2	13.6±0.4	54
N-4	12±5	39±5	50±0	58±0	86±0	7.7±0.2	14.4±0.4	53
C-1	17±4	38±6	49±10	—	81±4	8.6±0.1	16.3±0.8	53
N-5	10±1	32±9	47±11	57±4	85±8	8.6±0.8	14.4±0.1	60
C-2	12±2	36±14	61±1	—	92±5	8.9±0.5	15.2±1.0	59
N-6	12±2	32±8	51±3	59±9	87±6	9.3±0.9	15.0±1.2	62
C-3	—	—	54±9	—	88±0	9.9±1.0	14.7±0.2	67
C-4	—	—	65±9	—	79±7	10.4±0.2	15.4±0.9	68
C-5	—	—	47±10	—	78±15	10.7±0.7	15.2±0.6	70
平 均	12	31	47	51	81	—	—	54

1) 3年間（1986～1988年）の平均値±標準偏差。

2) 土壌の略号：Yは吉木，Aは甘木，Fは二日市，Bは豊前分場，Nは農総試本場，Mは三潴，Cは筑後分場。

第6表 地力窒素発現量の推定値¹⁾に対する地力窒素吸収量及び地力窒素供給量の割合。

年 次	試験地	移植後 25日		移植後 35日		移植後 45日		穂 揃 期		成 熟 期	
		吸／推 ²⁾	供／推 ³⁾	吸／推	供／推	吸／推	供／推	吸／推	供／推	吸／推	供／推
1986	本場	32±5	125±21	71±7	105±11	73±5	88±3	75±3	84±3	73±7	75±7
	筑後	27±3	117±12	77±15	108±15	69±11	78±11	68±11	81±14	70±5	72±6
	豊前	39	77	86	133	84	98	76	87	75	80
	全体	30±5	117±21	75±12	109±14	72±9	84±10	72±9	83±9	72±6	74±7
1987	本場	38±7	87±22	54±8	87±15	86±7	104±10	90±9	101±10	87±8	91±6
	筑後	30±5	99±4	46±14	79±10	63±13	83±13	68±11	71±11	68±5	71±5
	豊前	45	118	75	116	86	106	80	87	77	81
	全体	37±8	94±20	55±12	89±17	76±15	95±15	79±14	86±18	76±11	80±11
1988	本場	32±7	86±13	73±13	98±9	76±9	105±11	82±9	91±11	78±6	82±6
	筑後	35±12	83±24	61±9	86±3	72±4	86±3	69±3	79±4	67±1	69±2
	豊前	43	104	79	119	86	106	78	90	82	87
	全体	34±8	88±14	71±12	98±12	76±8	100±13	78±9	88±10	76±7	79±8

農総試本場及び筑後は各々5圃場の平均値±標準偏差，全体は本場，筑後，豊前を合わせた11圃場の平均値±標準偏差。

1) 推定値は，速度論的方法により求めた地力窒素発現量の推定値。

2) 吸/推(%)：地力窒素吸収量（無窒素区の水稲窒素吸収量）/推定値 ×100。

3) 供/推(%)：地力窒素供給量（無窒素区の水稲窒素吸収量+土壌中アンモニア態窒素量）/推定値 ×100。

肥技術へ活用できることが明らかになった。

上野ら¹³⁾は、地力窒素発現量と無窒素区の水稲窒素吸収量との関係について、生育初期には発現量が多いものの、成熟期の段階では両者はほぼ一致すること、また7月以降の地力窒素発現量は水稲窒素吸収量に直接反映すると報告している。藤井ら⁴⁾は7月中旬以降の地力窒素発現量と水稲による地力窒素吸収量との関係を検討した結果、発現量に対する吸収量の割合は平均で86%であり、圃場によって52～117%の変異がみられたが、全体的にみて両者の間には正の相関が認められたとしている。また、北田⁶⁾は地力窒素発現量と吸収量とは、細粒灰色低地土では生育初期と後期を除いて、細粒グライ土では生育期間を通して近似したとしている。

このように、地力窒素の発現量と水稲による吸収量との関係については、必ずしも一様の傾向が認められておらず、今後は脱窒や流亡等による損出量、下層土の影響、根の吸収能力の相違等について検討していく必要があるが、当面は前述の吸収割合（地力窒素の利用率和みなされる）を乗ずることで地力窒素の吸収量を把握することができる。

また、上野ら¹⁴⁾は春先の圃場の乾燥程度が水稲の初期生育に大きな影響を及ぼすことから、乾土効果を考慮した地力窒素発現量の推定法を提唱している。福岡県では、麦収穫後の6月中下旬移植の水田土壌を対象に調査しており、現時点では乾土効果についての考慮はしていないが、今後検討していく必要がある。

4. 施肥窒素の利用効率

施肥窒素の利用率は土壌の種類で異なり、同一試験地内でも筑後圃場では有機物施用や水管理の違いによる圃場間のバラツキがみられたが、各土壌ごとに基肥及び穂肥の利用効率を平均して第7表に示した。

基肥窒素は幼穂形成期までには利用されるとみられる^{10,12,15)}こと、また調査圃場においても、基肥施用区の土壌中アンモニア態窒素量は移植後45日頃には無施用区と変わらないことから（データ省略）、施肥窒素の効果はそれ以降はほとんどないものと考えられた。このことから、幼穂形成期または移植45日後の施肥区と無窒素区の窒素吸収量の差し引き計算によって基肥の利用効率を求めることとした。同様に、穂肥窒素の水稲による吸収は7～10日以内でほとんど終了する¹⁶⁾とみられ、調査圃場においても穂肥施用区の土壌中アンモニア態窒素量は穂摘期にはほと

第7表 施肥窒素の利用効率。

土 壤	圃場数	窒素利用率(%)	
		基 肥	穂 肥
吉 木(Y)	1	34	58
甘 木(A)	1	44	60
二日市(F)	2	41	64
三 瀬(M)	1	51	61
豊 前(B)	1	42	78
本 場(N)	6	50±3	61±6
筑 後(C)	5	47±16	64±21
平 均		44	64

んど残存しないことから、幼穂形成期以降穂摘期までの施肥区と無窒素区の窒素吸収量の差し引き計算から穂肥の利用効率を求めることとした。

このようにして求めた基肥窒素の利用率は34～51%、平均で44%、穂肥窒素の利用率は58～78%、平均で64%であった。施肥区と無窒素区との差し引き法により求めた利用率については、基肥が30～50%、穂肥が40～80%の範囲にあり^{9,15,16,22)}、これらと比べると、一部の土壌で基肥がやや高かった他は、類似する値であった。

5. 各生育時期における水稲窒素吸収量の指標値

深山⁹⁾が水稲の最適窒素保有量に基づく施肥基準の策定法について明らかにしているように、水稲窒素吸収量は地力窒素吸収量と肥料窒素吸収量とに分けられるため、生育時期別の最適水稲窒素吸収量の指標値が得られれば、同時期までの地力窒素吸収量を控除することで、必要な肥料窒素吸収量が求められる。基肥窒素の適量は、幼穂形成期において必要な肥料窒素吸収量を基肥の利用効率で除すことにより、穂肥窒素の適量は、幼穂形成期以降穂摘期までに必要な肥料窒素吸収量を穂肥利用効率で除すことにより求められる。また、上野ら¹³⁾や北田ら^{5,7)}は一定の収量水準を得るための窒素吸収パターンを地域や土壌の種類別に明らかにし、これら理想的な窒素吸収パターンと地力窒素発現量との差に基づいて施肥窒素量の判定を行う施肥診断システムについて提案している。

本試験においても、調査圃場の3年間にわたる各生育時期ごとの水稲窒素吸収量と収量調査結果から回帰式を作成し、各収量レベルに応じた水稲生育期間中の窒素吸収量の指標値を求めた（第5図）。

各収量レベルにおける生育時期別の水稲窒素吸収量は、10 a 当たり収量500 kg レベルで、幼穂形成期

第5図 水稻生育期間中の窒素吸収量の指標値。

が4.8 kg, 穂揃期が9.7 kg, 収量550 kg レベルで、それぞれ6.3 kgと11.4 kg, 収量600 kg レベルで7.8 kgと13.0 kg, 収量650 kg レベルでは9.2 kgと14.6 kgであった。

このように、福岡県内各地の水田で中生短稈品種を栽培した結果から、帰納的に指標値を得ることができた。しかし、各生育時期における最適な水稻窒素吸収量については、水稻の生育量（草丈、茎数、穂数、葉面積）や収量構成要素との関係から、さらには品質や食味への影響も考慮して設定することが望ましい。今後、特性の異なる品種別に、これらの観点から生育時期別の窒素吸収量の指標値を明らかにすることが必要である。

引用文献

1. 安藤 豊・庄子貞雄 1986. 水田土壌中の地力窒素の発現と施用窒素の土壌中での固定について. 土肥誌 57:1-7.
2. ———・藤井弘志・佐藤俊夫・荒垣憲一・中西政則・佐藤之信 1989. 沖積水田土壌の地力窒素の無機化モデルについて. 土肥誌 60:1-7.
3. ———・———・中西政則 1990. 山形県庄内地域のグライ水田下層土における地力窒素の無機化特性について. 土肥誌 61:466-471.
4. 藤井弘志・安藤 豊・佐藤俊夫・荒垣憲一・中西政則・佐藤之信 1989. 山形県庄内地域（グライ土壌）の地力窒素の無機化について. 土肥誌 60:8-14.
5. 北田敬宇 1990. コシヒカリの多収水準における窒素吸収パターン. 土肥誌 61:187-189.
6. ——— 1990. 灰色低地土とグライ土水田についての速度論的解析法による土壌窒素の無機化予測. 土肥誌 61:241-247.
7. ———・宮川 修・塩口直樹 1991. 水稻の理想的

な窒素吸収パターンと土壌窒素無機化予測によるシステム施肥法. 土肥誌 62:585-592.

8. 金野隆光・杉原 進 1986. 土壌生物活性への温度影響の指標化と土壌有機物分解への応用. 農環研報 1:51-68.
9. 深山政治 1988. 水稻の最適窒素保有量に基づく新しい施肥基準策定法に関する研究. 千葉農試特別報 15:1-92.
10. 庄子貞雄・野木照修・高橋重郎・和田源七 1974. 水田における窒素の動態と水稻による吸収について（第8報）. 圃場条件の異なる場合の基肥窒素の行動と窒素吸収の比較. 日作紀 42:226-230.
11. 杉原 進・金野隆光・石井和夫 1986. 土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法. 農環研報 1:127-166.
12. 高橋重郎・庄子貞雄・野木照修・和田源七 1973. 水田における窒素の動態と水稻による吸収について（第5報）. 栽培条件の異なる場合の基肥窒素の土壌中の行動ならびに水稻による窒素吸収. 日作紀 42:91-96.
13. 上野正夫・安藤 豊・藤井弘志・佐藤俊夫 1988. 水稻の理想的な窒素吸収パターンと土壌窒素無機化量の関係. 土肥誌 59:316-319.
14. ———・佐藤之信・熊谷勝巳・大竹俊博 1990. 速度論的解析法による土壌窒素発現予測システム. 土肥誌 61:273-281.
15. 和田源七・庄子貞雄・高橋重郎 1971. 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について（第1報）. 基肥窒素の水稻による吸収について. 日作紀 40:275-280.
16. ———・———・———・斉藤公夫・新保 到 1971. 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について（第3報）. 追肥窒素の土壌中における行動ならびに水稻による吸収. 日作紀 40:287-292.
17. 山本富三・久保田忠一 1986. 速度論的解析による水田土壌の窒素無機化特性. 土肥誌 57:481-486.
18. ———・———・真鍋尚義 1986. 速度論的方法による水稻生育期間中の土壌窒素無機化量の推定. 土肥誌 57:487-492.
19. ———・田中浩平・角重和浩 1992. 暖地水田における地力窒素発現パターンと施肥の診断（第1報）. 地力窒素の発現が暖地水稻ニシホマレ、ヒノヒカリの生育、収量に及ぼす影響. 日作紀 61:369-374.
20. 柳沢宗男・高橋治助 1964. 水田の生産力要因の解析に関する栄養生理学的研究. 農技研報 B14:41-171.
21. 吉野 喬・出井嘉光 1977. 土壌窒素供給力の有効積算温度による推定法について. 農事試報 25:1-62.
22. ———・——— 1978. 水田土壌における施肥窒素の行方および窒素肥料の土壌窒素無機化に及ぼす影響. 農事試報 28:91-113.