

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

山本 富三・田中 浩平・角重 和浩

(福岡県農業総合試験場)

1991年11月11日受理

要 旨 : 地域や肥沃度が異なる水田で、地力窒素の発現が暖地水稻の生育や収量に及ぼす影響と水田土壌の地力窒素レベルに応じた適正な施肥量について検討した。まず、速度論的方法を適用し、水稻生育期間中の地力窒素発現量の推定を行った結果、地域間で著しく異なり、また同じ地域内でも地力増強程度の違いにより10 a 当たり5 kg 前後も異なった。窒素無施用区的水稻窒素吸収量を水稻による地力窒素吸収量の指標として、地力窒素発現量の推定値と比較すると、発現量に対する吸収量の割合はほぼ7~8割であった。基準量を施肥した条件下で、地力窒素吸収量と水稻ニシホマレの収量との関係についてみると、ニシホマレの収量は地力窒素の吸収量が10 a 当たり8 kg までは、地力窒素量に応じて高くなる傾向にある。しかし、さらに多くなり9 kg 近くになると収量は頭打ちとなり、稲体中の窒素量は増えるが、玄米生産に結びつかず、過剰分に相当する窒素の吸収はむだであることから、施肥量を減肥してよいと判断された。良食味品種ヒノヒカリは地力窒素の影響を受けやすく、施肥区の収量は地力窒素吸収量が10 a 当たり8 kg 近くで頭打ちとなるのがみられた。また、地力窒素吸収量と基肥量との関係についてみると、地力窒素吸収量が少ない水田では基肥量として10 a 当たり6 kg 程度が必要であるが、地力窒素量が7~8 kg の圃場では4.5 kg 程度が適量であり、8 kg 以上ではさらに減肥が必要であった。

キーワード : 水稻, 窒素吸収, 地力窒素, 基肥窒素, 肥沃度。

Patterns of Soil Nitrogen Release in Paddy Fields of Warm Regions in Japan and Diagnosis of Fertilizer Application

I. Influence of soil nitrogen release from paddy soils on growth and yield of rice plants of warm regions : Tomizou YAMAMOTO, Kohei TANAKA and Kazuhiro KADOSIGE (*Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818, Japan*).

Abstract : The Influence of nitrogen release from paddy soils on the grain yield of rice plants was investigated, and the optimum amount of nitrogen fertilizer application was estimated for each of the soil nitrogen level. The amount of soil nitrogen released (SNR) from paddy soil was estimated theoretically by the kinetic method. The result showed that the amounts differed remarkably among soils. The amount of soil nitrogen absorbed (SNA) by rice plants was estimated from the nitrogen accumulated in the rice plants grown in the field with no nitrogen fertilizer. The average value of SNA/SNR was 70-80%. The yields of Nishihomare increased in proportion to the amount of SNA when the amount of SNA was less than 8 kg/10 a. The yield reached the plateau when it was about 9 kg/10 a and the yield did not increase in the field having above 9 kg/10 a of SNA. Consequently, it was recognized that the decrease of the amount of nitrogen fertilizer application was needed in that field. In the case of Hinohikari, a high quality rice variety, the optimum amount of basal nitrogen was 6 kg/10 a in the field where soil nitrogen level was low, 4.5 kg/10 a in the field where SNA was 7-8 kg/10 a, and less than 4.5 kg/10 a where SNA was more than 8 kg/10 a.

Key words : Basal application of nitrogen, Nitrogen uptake, Rice plants, Soil fertility, Soil nitrogen.

水稻が吸収する窒素は、施肥窒素と土壌中の有機物から供給される地力窒素とに大別される。このうち、地力窒素の占める割合は6~7割に達し、施肥に由来する窒素よりも多く⁵⁾、地力窒素の多少は土壌生産力を決定づける重要な要因となっている。

水田の窒素に関する研究についてみると、水田土壌の窒素の動態について、重窒素を用いた追跡法⁷⁾により、基肥及び追肥の水稻による吸収率、土壌中の行動、吸収窒素の体内配分等が明らかにされている^{8,9,14,15,17,18,19)}。また、地力窒素に関しても、過去

に多くの研究が積み重ねられ、地力窒素の給源に関する研究、乾土効果や温度上昇効果など地力窒素の発現促進効果、地力窒素の診断・測定法等について、多くの知見が得られている^{1,2,10,11,12)}。しかし、これらの基礎的研究が著しく進んでいるのに対し、実用的な場面で水稻生育期間中の地力窒素発現量を推定したり、それに基づいて生育診断や施肥技術に適用した事例は少ない^{3,16)}。

地力窒素は、土壌有機物中の窒素が微生物の作用により分解無機化され、アンモニアの形で生成する

ものであるが、吉野ら^{22,23)}は室内ビン培養による土壌窒素無機化試験を基に、有効積算温度による土壌窒素発現量の推定法を提唱した。また、杉原・金野らは畑状態でピーカー培養して得られた土壌窒素の無機化を速度論的方法により解析し、圃場における土壌窒素発現量の推定を行っている^{4,13)}。

著者らは、杉原らの方法を適用して、水田土壌の地力窒素発現量の推定を行い得ることを明らかにした^{20,21)}。そして、この方法を水稻の生育診断や施肥技術に役立てるため、さらに地域や肥沃度等条件が異なる圃場において、水稻の生育や収量及び窒素吸収量との関連性について詳細に解析し、また品種間での地力窒素の影響の相違について検討している。

ところで、施肥は品種ごとの基準に基づいてなされるが、土壌間における地力窒素量の相違が水稻の収量に大きく影響しており、また同地域内でも圃場によっては、窒素過多による悪影響がみられている。しかし、従来施肥基準や生育診断等において地力窒素に対する評価は不十分であり、地力窒素の水準が明確に設定されておらず、地力窒素レベルの相違に基づいた対応が適正になされていない。

そのため、本報では、福岡県下各試験地内の地力増強程度が異なる圃場で、地力窒素発現量の推定を行うとともに、窒素無施用区の水稲窒素吸収量を地力窒素量の指標として、その違いが従来の中生品種ニシホマレの生育や収量へ及ぼす影響を検討し、地力窒素レベルに応じた施肥の適量について考察した。また、新たに導入された中生品種ヒノヒカリについて、同圃場で施肥量を変えて栽培し、適正な施肥の基準量について検討したので、報告する。

材料と方法

福岡県農業総合試験場本場（筑紫野市、中粗粒灰色低地土、SL）及び筑後分場（大木町、細粒灰色低地土、LiC）、豊前分場（行橋市、細粒灰色台地土、CL）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り、肥沃度に違いがみられる水田圃場（第1表）を用いた。各圃場に、施肥区及び窒素無施用区を設け、1986～1988年の3年間水稻ニシホマレを栽培し、生育、収量及び水稻窒素吸収量を調査した。施肥区の窒素施用量は、福岡県の施肥基準に準じ、本場及び豊前では10a当たり基肥7kg、穂肥3+2kg、筑後では基肥7kg、穂肥3.5+2.5kgとした。栽植密度は22.2株/m²とし、稚苗を6月15～20日に移植した。収穫期は10月下旬である。

1988年～1990年の3年間は、良食味品種ヒノヒカリについて、同様の調査を実施した。ただし、施肥区の基肥量は圃場により6, 4.5, 3kgを設定し、穂肥は2+1.5kgとした。栽植密度は22.2株/m²で、稚苗を6月15～20日に移植した。収穫期は10月中旬である。試験区の面積は1区15～30m²で、2反復とした。

そして、各圃場において調査した窒素無施用区の水稲窒素吸収量を、地力窒素発現量のうち水稻により吸収された量とみなし、地力窒素吸収量として示した。また、同圃場の施肥区の水稲窒素吸収量とから、次式により施肥窒素の利用率を求めた。

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

圃場試験と並行して、各水田圃場における地力窒素発現量の推定を速度論的方法^{4,13)}により行った。代かき前の作土を採取し、末風乾のままインキュベート管に入れ、湛水状態で定温室（温度20, 25, 30℃）に静置し、経時的に取り出して、土壌中有機態窒素の無機化により生じた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に解析し、求められた窒素無機化式と各試験地において測定した地温データから、地力窒素発現量の推定を行った。

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。

第1表 供試水田圃場の概況。

地域	圃場	有機物の施用来歴 ¹⁾²⁾	作土深 (cm)	全窒素 (%)
本場	A	◎(堆肥)	15.5±0.5	0.194±0.000
	B	○	15.6±0.4	0.173±0.007
	C	○	14.5±0.8	0.169±0.007
	D	○	12.0±0.6	0.166±0.009
	E	△	11.5±0.5	0.168±0.003
	F	△	11.0±0.0	0.110±0.008
筑後	A	◎(堆肥)	11.3±0.3	0.309±0.025
	B	◎(稲わら)	11.3±0.2	0.287±0.009
	C	○	11.5±0.2	0.272±0.014
	D	◎(稲わら)	11.1±0.1	0.331±0.028
	E	△	11.0±1.7	0.267±0.026
豊前	A	△	10.5±0.5	0.204±0.008

1) ◎: 施用 多～△: 施用少ない。

2) () は、その資材を毎年連用している。堆肥は、牛ふん堆肥。

結果と考察

1. 水稻生育期間中の地力窒素発現量の推定

福岡県下各試験地内の水田圃場における地力窒素発現量の推定曲線を第1図に示した。

地力窒素発現量は、筑後川下流域の肥沃な細粒質土壌である筑後分場内水田で最も多く、次いで農総試本場、豊前の順であった。同じ場所内でも、有機物の施用来歴や耕起深度等に基づく地力増強程度の違いによって、地力窒素発現量に著しい差が認められ、本場内の水田の例では10a当たり5kg前後も異なった。また、地力窒素発現量の年次変動もみられ（第2図）、夏期が著しく高温に経過した1990年に地力窒素発現量は最も多く、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。

各圃場の地力窒素発現量の推定値と同圃場で調査した成熟期における水稻ニシホマレの地力窒素吸収量との関係を第2表に示した。地力窒素の吸収量は筑後土壌で多く、また同場所内では地力増強の進んだ圃場で多く、地力窒素発現量とよく対応しており、平均的にみてその7～8割に相当した。したがって、水稻による地力窒素吸収量を、室内培養実験に基づく地力窒素発現量の推定値から求めることが可能と考えられる。

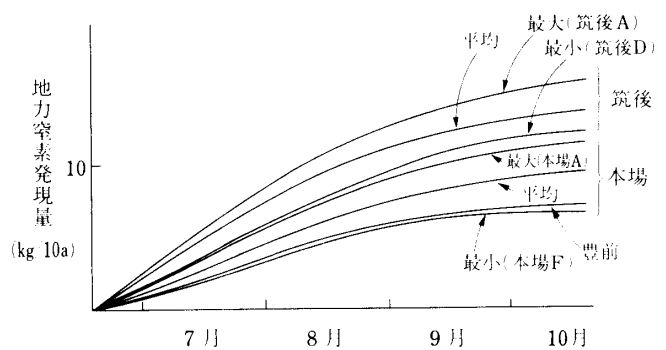
2. 耐倒伏性の強い中生品種ニシホマレにおける地力窒素吸収量と生育収量との関係

農総試本場及び筑後分場内の地力増強の程度が異なる圃場を込みにして、地力窒素吸収量と基準量を施肥した条件下での水稻ニシホマレの生育や収量との関係についてみると（第3、4図）、無窒素区はもとより施肥区においても、地力窒素吸収量が多い圃場ほど、とくに生育後半（8月以降）の水稻生育量（草丈・茎数・乾物重）が大きな値で推移し（データ略）、 m^2 当たり穎花数も多くなる傾向が認められた（第3図）。

水稻収量についてみると、無窒素区では地力窒素吸収量の増加に比例して、収量は高くなった。一方、施肥条件下での水稻の収量は、同圃場の地力窒素吸収量が10a当たり8kgまでは、地力窒素量の増加に応じて高くなる傾向にあるが、さらに量が多くなり10a当たり9kg近くになると、頭打ちになることが認められた（第4図）。このことから、吸収する地力窒素量が少ない場合は、玄米生産に対する窒素施肥の効果は著しく高いが、地力窒素量が9kg近くまで増えると吸収した窒素の玄米生産に対する効率

が著しく悪くなり、これ以上の地力窒素レベルでは、施肥量を減肥しないと、水稻の総窒素吸収量のうち、この過剰分に相当するだけの窒素量はむだであることがわかる。また、窒素の過剰な吸収による玄米中の窒素濃度の増加も懸念される。

また、第4図の調査結果から、基準量を施肥した場合の各地力窒素レベルにおけるニシホマレの平均



第1図 各試験地の水田圃場における地力窒素発現量の推定曲線（1988年）。

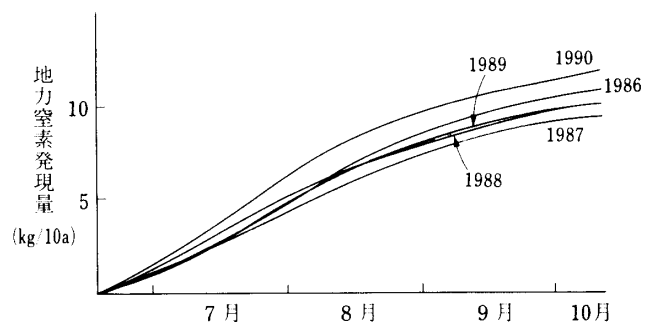
推定のもとになった窒素無機化モデル式と無機化特性値 $N = N_0 (1 - e^{-kt})$ ； N は地力窒素発現量 (kg/10 a)， t は日数 (day)。

試験地	圃場数	N_0	k (平均)	Ea (平均)
本 場	6	18.6～34.9	0.0038	17,700
筑 後	5	22.0～26.0	0.0063	18,000
豊 前	1	30.0	0.0024	18,100

N_0 は可分解性窒素量 (kg/10 a)。

k は25℃における速度定数 (day^{-1})。

Ea は見かけの活性化エネルギー (cal/mol)。



第2図 農総試本場C圃場における年次別の地力窒素発現量の推定曲線。

推定のものになった窒素無機化モデル式と無機化特性値 $N = N_0 (1 - e^{-kt})$ ； N は地力窒素発現量 (kg/10 a)， t は日数 (day)。

圃 場	N_0	k (平均)	Ea (平均)
	kg/10 a	day^{-1}	cal/mol
本場 C	27.8	0.0037	19,300

の収量性については、10 a 当たり地力窒素吸収量 6.0 kg レベルで 570 kg, 6.5 kg で 590 kg, 7.0 kg で 610 kg, 7.5 kg で 620 kg 前後, 8.0~8.5 kg で 630~640 kg と推定できた。したがって、安定的に 600 kg 以上の多収を得るためには 7.0 kg 以上の地力窒素の吸収が必要であった。

施肥窒素の利用率は、農総試本場が 48~56% で平均 51%, 豊前が 56%, 筑後は 35~59% で平均 44% であった (第 3 表)。筑後で圃場間差が大きいのは、

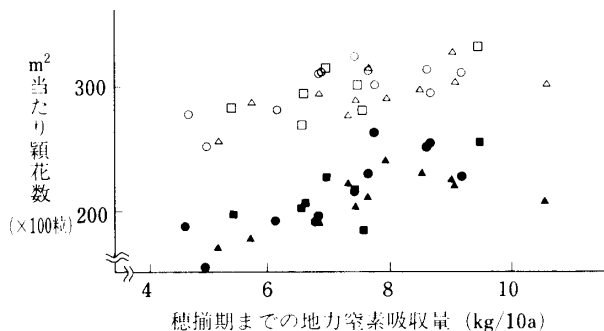
地力窒素吸収量の著しく多い圃場の利用率が低かったことによる。全圃場の平均の利用率は 49% であり、利用率から計算すると、地力窒素吸収量の 1.0 kg は施肥窒素量で 2.0 kg 前後に相当する。

以上の結果から、一定の目標収量を得るための地力窒素吸収量が不足した圃場では、追肥や増肥による対応が必要である。また、地力窒素吸収量が 9 kg 以上と著しく多い圃場では、窒素の過剰分に相当する量 (9 kg を越える部分につき、前述の結果から地

第 2 表 各圃場の地力窒素吸収量と地力窒素発現量及び両者の割合。

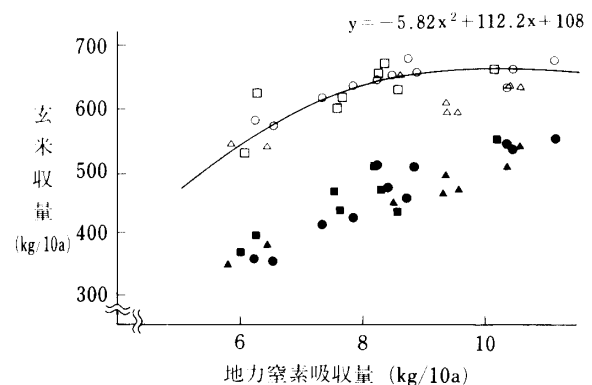
地 域	圃 場	1986 年			1987 年			1988 年		
		吸 収 量	発 現 量	吸収/ 発現 ×100	吸 収 量	発 現 量	吸収/ 発現 ×100	吸 収 量	発 現 量	吸収/ 発現 ×100
本場		kg	kg	%	kg	kg	%	kg	kg	%
	A	8.4	12.4	68	9.3	11.1	84	10.1	11.7	86
	B	8.2	12.2	67	9.5	11.0	86	8.2	11.6	71
	C	7.8	10.9	72	—	9.7	—	7.6	10.3	74
	D	7.3	10.4	70	—	9.4	—	7.5	9.9	76
	E	6.5	8.2	79	5.8	7.4	78	6.2	7.8	79
	F	6.2	7.3	85	6.4	6.6	97	6.0	7.0	86
筑後	A	10.3	16.7	62	10.5	16.6	63	—	—	—
	B	11.1	15.1	74	10.3	15.0	69	—	—	—
	C	10.4	13.7	76	9.3	13.7	68	—	—	—
	D	8.8	12.6	70	9.5	12.5	76	8.5	12.7	67
	E	8.7	13.1	66	8.5	13.0	65	8.7	13.2	66
豊前		5.5	7.3	75	6.4	7.4	86	5.9	7.1	83
平均				72			77			76

- 1) 吸収量は、無窒素区における成熟期の水稻窒素吸収量 (kg/10a)。
- 2) 発現量は、速度論的方法により推定した生育期間中の総地力窒素発現量 (kg/10a)。
- 3) 吸収/発現×100は、地力窒素発現量に対する地力窒素吸収量の割合 (%)。



第 3 図 地力窒素吸収量とニシホマレの m^2 当たり穎花数との関係。

○1986年施肥区, △1987年施肥区, □1988年施肥区
●〃 無窒素区, ▲〃 無窒素区, ■〃 無窒素区
本場, 筑後を込みにした。



第 4 図 地力窒素吸収量とニシホマレの玄米収量との関係。

○1986年施肥区, △1987年施肥区, □1988年施肥区
●〃 無窒素区, ▲〃 無窒素区, ■〃 無窒素区
本場, 筑後を込みにした。

第3表 施肥区の水稲窒素吸収量と施肥窒素の利用率（ニシホマレ）。

地域	圃場	施肥区の水稲窒素吸収量(kg/10a)	施肥窒素利用率(%)
本場	A	15.0±1.2	48±7
	B	14.4±0.1	48±7
	C	14.4±0.4	56±2
	D	13.6±0.4	51±3
	E	12.4±0.3	52±5
	F	12.5±0.7	53±4
	平均	13.7±1.1	51±3
筑後	A	15.4±0.9	39±8
	B	15.2±0.6	35±1
	C	14.7±0.2	37±6
	D	15.2±1.0	48±9
	E	16.3±0.8	59±6
	平均	15.4±0.6	44±10
豊前	A	12.6±0.6	56±4

第4表 地力窒素吸収量が異なる圃場別のヒノヒカリの基肥窒素量と穎花数、倒伏程度、玄米収量。

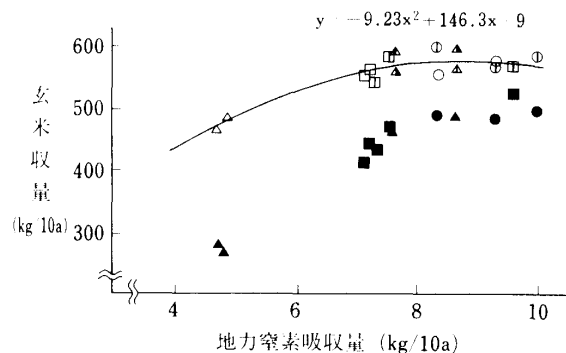
圃場	地力窒素吸収量	年次	基肥窒素量(kg/10a)	m ² 当たり穎花数(×100)	倒伏 ¹⁾ 程度	玄米収量(kg/10a)
A	8.6	1988	6.0	381±18	4.0	571±26
			4.5	347±18	3.0	606±58
		1989	4.5	338±13	0	585±6
			3.0	314±14	0.1	583±6
B	7.6	1988	6.0	336±8	2.0	613±3
			4.5	323±4	0.4	601±0
		1989	4.5	308±31	0	570±15
			3.0	296±23	0	558±28
E	4.8	1988	6.0	300±29	0.2	602±2
			4.5	307±37	0.1	575±42
		1989	6.0	243±7	0	487±22
			4.5	253±5	0	485±13

農総試本場で行った。

1) 倒伏程度は、0(無)～5(甚)で表わす。

第5表 施肥区の水稲窒素吸収量と施肥窒素の利用率（ヒノヒカリ）。

地域	圃場	施肥区の水稲窒素吸収量(kg/10a)	施肥窒素利用率(%)
本場	A	11.8±1.4	36±5
	B	10.7±0.2	42±1
	C	11.8±0.3	47±5
	E	9.8±1.3	41±8
	平均	11.0±1.0	42±5



第5図 地力窒素吸収量とヒノヒカリの玄米収量との関係。

1988年○基肥6 kg, ⊙基肥4.5 kg, ●無窒素

1989年△基肥6 kg, ⊠基肥4.5 kg, ▲基肥3 kg, ▲無窒素

1990年□基肥6 kg, ⊞基肥4.5 kg, ■無窒素

本場、筑後を込みにした。

力窒素吸収量 1 kg 当たり 2 kg 前後の施肥窒素量)を減肥してよいと判断された。

3. 中生の良食味品種ヒノヒカリにおける地力窒素吸収量と適正な基肥量

最近、九州では、中生の良食味品種としてヒノヒカリの作付が拡大している。ヒノヒカリは穎花数確保が容易であるが、反面窒素過多となった場合、穎花数の過剰や登熟低下を招きやすく倒伏の懸念もあることから、地力窒素の吸収量を考慮した施肥基準の作成が重要と考えられる。

農総試本場及び筑後分場内の地力増強程度の異なる圃場で施肥量を変え、ニシホマレの場合と同様に地力窒素吸収量と水稲収量との関係を見ると、地力窒素吸収量が多いほど無窒素区の水稲収量は高くなる傾向にあるが、施肥区の収量は 10 a 当たり 8 kg 近くで頭打ちとなった(第5図)。また、収量性からみて、地力窒素吸収量が 7～8 kg の圃場では基肥量は 4.5 kg で十分なこと、さらに地力窒素量が多くなると、もっと減肥してよいことが認められた。

真鍋は、良質安定作柄を得るための穎花数の目標値を m² 当たり 30,000～32,000 粒としている⁶⁾。農総試内の圃場で実施された基肥の施用量試験の結果(第4表)によると、穎花数や倒伏程度、収量性からみて、地力窒素吸収量が 10 a 当たり 5 kg 前後と少ない E 圃場の基肥量は 6 kg が必要であるが、地力窒素量が 7.5 kg 前後の B 圃場では 4.5 kg 程度が適量であり、さらに地力窒素量が多い A 圃場(8.5 kg 前後)では、3 kg 程度にまで基肥の減量が必要と考えられた。

試験圃場における施肥区の水稲窒素吸収量は、ニ

シホマレが12~16 kgであるのに対し、ヒノヒカリは9~12 kgと少なく(第5表), 玄米収量100 kg当たりの水稻窒素吸収量を計算しても, ニシホマレが平均2.3 kgであるのに対し, ヒノヒカリは平均で2.0 kgと小さく, ヒノヒカリは多くの窒素吸収を必要としないことを示している。また, 施肥窒素の利用率は36~47%と圃場間差がみられたが, 平均42%でニシホマレに比べ低かった。したがって, 利用率から計算すると, 地力窒素吸収量1 kgは施肥窒素量で2.5 kg前後に相当する。

以上のように, 地力窒素吸収量(成熟期における総量)と水稻の生育収量との関係について調べ, 地力窒素吸収量のレベルに応じた施肥の適量を求めた。しかし, 診断の精度をさらに高め, 生育量に応じた正確な穂肥診断を行うためには, 各生育時期における最適な窒素吸収量の指標を明らかにするとともに, 地力窒素吸収量の時期別の推移を明らかにして, その両者に基づいた診断法を確立することが必要である。

謝辞: 本研究の取りまとめにあたり, 九州大学農学部農学科吉田智彦助教授に, 有益な御助言および原稿の御校閲を戴いた。ここに, 深謝いたします。

引用文献

1. 原田登五郎 1959. 水田土壌の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究. 農技研報 B 9: 123-199.
2. 林 龍三 1965. 土壌の易分解性有機態窒素に関する研究. 九大農学部肥科学研究室報告 3: 1-96.
3. 北村秀教・今泉 俊 1991. 土壌窒素発現量簡易予測法を用いた水稻施肥窒素の診断. 土肥誌 62: 439-444.
4. 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.
5. 小山雄生 1975. ^{15}N 利用による水田土壌窒素肥沃度測定の実際と生産力. 土肥誌 46: 260-269.
6. 真鍋尚義 1990. 北部九州における水稻良食味品種ヒノヒカリの栽培法. 農業技術 45: 193-198.
7. 渋谷政生・小山雄生 1966. 安定同位元素 ^{15}N の追跡実験法. 土肥誌 37: 153-159.
8. 庄子貞雄・和田源七・斉藤公夫・新保 到・高橋重郎 1971. 水田における窒素の動態と水稻による吸収について. 第2報 基肥窒素の土壌中における行動. 日作紀 40: 281-286.
9. ———・野木照修・高橋重郎・和田源七 1976. 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.
10. 塩入松三郎・青峰重範 1938. 湛水状態の土壌中における窒素の形態変化. 土肥誌 13: 284-287.
11. ———・——— 1940. 休閑期に於ける水田土壌乾燥の効果に就いて. 農事試験臨時報告 1-64.
12. ——— 1943. 水田の土壌化学. 大日本農会, 東京. 1-64.
13. 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.
14. 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.
15. ———・和田源七・庄子貞雄 1976. 水田における窒素の動態と水稻による吸収について. 第6報 温度が水稻の窒素吸収および土壌中のアンモニア態窒素の消長におよぼす影響. 日作紀 45: 213-219.
16. 上野正夫・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.
17. 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.
18. ———・———・———・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.
19. ———・———・——— 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4報 吸収窒素の水稻体内への配分について. 日作紀 42: 84-90.
20. 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.
21. ———・———・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.
22. 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. 農事試験 25: 1-62.
23. ———・——— 1980. 稲作期間中における土壌窒素供給の地域的特徴及びその推定法. 農事試験 31: 73-86.