水稻の窒素施肥に対する生育反応の品種間差異，とくに 生育にともなう根の窒素含量の変化について*

鯨 幸 夫

(金沢大学教育学部)

昭和 62 年 6 月 9 日受理

要 旨：耐肥性の異なる水稻品種の施肥反応性を，根の全窒素含有量の変化の面から検討した。少肥区 (2.5 kg-N/10 a)，多肥区 (7.5 kg-N/10 a) に基肥のみを施用して栽培した水稻品種の根系を，改良モノリス法を用いて採取した。各生育時期 (7 月，8 月，9 月) における根および葉身の全窒素含有量を定量し，個体あたりの根 (モノリス枠；縦 30 cm・横 50 cm・幅 5 cm 内の量) に含まれている全窒素含有量の生育時期による変化を考察した。根の全窒素含有率(%)は，生育につれて 1%から 0.5%の値で減少の傾向を示したが，品種による差は認められなかった。個体あたりの根に含まれている全窒素含有量は，生育に伴い変化した。本実験に用いた品種は，その変化の型により 4 通りに類型化できる可能性が示唆された。少肥区と多肥区で，根の全窒素含有量に大きな差はなく，生育期間を通して全窒素含有量の変化も小さい傾向を示す品種群 (撰一，農林 3 号：A 型)。生育期間を通して，多肥区より少肥区において根の全窒素含有量が大きい傾向を示す品種群 (十石，朝日，双葉：B 型)。生育期間を通して，少肥区よりも多肥区で根の全窒素含有量が大きい傾向を示す品種群 (竹成：C 型)。生育前半は少肥区で根の全窒素含有量が大きい，後半多肥区で高くなる傾向を示す品種群 (その他の品種：D 型)。根の全窒素含有量と根乾物重との間には，有意な正の相関関係が認められ，上記 A，B，C 型の品種群は回帰直線上で別のグループとして区別できる可能性が示唆された。

キーワード：水稻，全窒素含有量，耐肥性，根，品種間差異。

Varietal Differences in the Response of Rice Plants to Nitrogen-dressing with Special Reference to Patterns of Change in Nitrogen Content of Roots at Successive Growth Stage : Yukio KUJIRA (*Faculty of Education, Kanazawa University, Kanazawa 920, Japan*)

Abstract : Varietal differences in the total nitrogen content of the roots of rice plants grown under 2 nitrogen dressing regimes (low fertilizer : 2.5 kg-N/10 a, high fertilizer : 7.5 kg/10 a) were investigated in 1984 by using the monolith method. Varietal differences in the decrease of the total nitrogen content of the roots and leaf blades as growth advanced were not recognized. The change in the amount of total nitrogen in the roots varied with cultivars. The cultivars used in this experiment can be divided into four types according to their patterns of change in the amount of total nitrogen in the roots, namely ; a) those which showed no marked change in the amount of total nitrogen regardless of fertilizer levels and of growth stage, like “Sen-ichi” and “Norin 3” (A type), b) those which showed a significant decrease in the amount of total nitrogen with the increase in the amount of fertilizer dressed, like “Jyukkoku”, “Asahi” and “Futaba” (B type), c) those which showed a proportionate increase with the amount of fertilizer dressed, like “Takenari” (C type), and d) those which showed variable response, where in the amount of total nitrogen was higher in the low fertilizer plot than in the high fertilizer plot in the early growth stage (July to August) and *vice versa* in the later stages (August to September) (D type). The general result of this study tends to suggest that there is a close significant correlation between the amount of total nitrogen in the roots and root dry weight throughout the growth period of rice. Cultivars of A, B, and C types are distinct from each other on the regression line.

Key words : Nitrogen content, Nitrogen fertilizer responsiveness, *Oryza sativa* L., Rice roots, Varietal differences.

明治の初めから今日に至るまで，水稻の単位面積あたりの収量が著しく増大してきたのは，窒素施肥量の増加と，この栽培条件に適した品種，すなわち耐肥性の品種が育成・栽培されるようになったことが大きな原因の一つと考えられる¹⁾。これまでの水

稻の育種は，光合成能力，草型^{11,12)}といった地上部要因の改善（もちろん，耐病性等も含めて）に，かなりの力が注がれてきたように思われる。養水分の吸収の面からみた耐肥性は，生理的耐肥性と呼ばれ，窒素同化の大小で，その強弱が論じられてはいる⁶⁾が，水稻の育種を，水稻の養水分の吸収能や根の形態と機能に結びつけて研究したものは少ない。

本研究は，これまでの耐肥性に関する考え方にこだわらず，地下部の形態や機能の面から水稻品種の

* 大要は，日本作物学会第 180 回講演会（昭和 60 年 9 月）において発表した。本研究の一部は，昭和 59 年度文部省科学研究費補助金によって行われたものである。

施肥反応性を再検討し、できれば、その遺伝性についても検討を加えるための第一段階として行ったものである。根の機能を表わす一つの指標としては、根の全窒素含有量を用いた。水稻各品種を、施肥水準を異にした圃場で生育させ、根の全窒素含有量の生育時期による変化を、品種間差の面から検討した。

材料と方法

従来の耐肥性の意味にとらわれずに、水稻品種を、明治の品種、昭和初期のもの、昭和30年代のもの、現在の品種という分け方をした場合の、品種としての傾向を調べてみることにした。まず、日本の水稻品種育成上の基本と考えられるような品種を選び、日本の稲の最少限の変異の幅について調べるために、以下の品種を材料として用いた。供試品種は、陸羽132号、撰一、森田早生、善石早生、亀の尾、神力、農林25号、農林3号、竹成、銀坊主、十石、朝日、雄町、農林18号、双葉、亀治、短銀坊主、外国稻として、T136, Leuang Taung, Boro 8である。実験に先立ち、1983年、実験用種子の採種を行った。古い在来種の場合、品種としての固定度が問題となる場合があるので、注意深く形質を確認しながら慣行法により各品種を栽培し、採種を行った。以後の実験は、1983年の種子を用いて行うこととした。

1984年4月11日、塩水選後ベンレートT水和剤で消毒した20品種の種子(第1表)を浸漬し、32°Cで催芽させた後、4月13日、市販床土“いなほ”を入れた育苗箱に播種した。4月16日、発芽育苗箱を屋外のビニールトンネルに出し、苗の緑化と硬化を行い、5月21日、本田に移植した。栽植密度は、1株1本植とし、株間30cm、条間50cmの疎植とし、1処理1品種の栽培面積は20m²とした。本田施肥は基肥のみとし、B・B化成056号(N; 10%, P₂O₅; 25%, K₂O; 16%)を用い、少肥区は2.5kg-N/10a、多肥区は7.5kg-N/10aとし、追肥は全く行わなかった。珪カルは、150kg/10a施用した。各処理区とも、少肥区については7月17日、31日、8月7日、9月11日、多肥区については、7月19日、8月1日、9日、9月11日の各々、4回調査を行った。根系採取は、改良モノリス法により行った。各処理区、各品種について1個体を採取(7月31日、8月1日は2個体採取)した。モノリス板(縦30cm・横50cm・幅5cm)を、

株を中心に条に直角に打ち込み、チェーンブロックで抜き取り、根系を採取したのち完全に土を落とし、90°Cで2時間、70°Cで48時間乾燥させたのち根乾物重を測定した。地上部も同様に乾燥させ、乾物重を測定した。これらの材料を用いて、葉身と根の全窒素含有量をセミマイクロケルダール法によって定量した。

結 果

実験に用いた各品種の出穂日(50%出穂日)、根および葉身部の全窒素含有率(%)の生育時期別変化を第1表、第2表に示した。7月から9月にかけて、根の全窒素含有率は1%から0.5%程度の値で減少の傾向を示したが(少肥区では5%レベル、多肥区では0.1%レベルで有意)、品種間での有意な差は認められなかった。葉身部については、品種間および施肥条件による有意な差異は認められなかったが、生育時期による有意差は、少肥区、多肥区において認められた(0.1%レベル)。

個体あたりの根に含まれている全窒素含有量(ここでは、モノリス枠:縦30cm・横50cm・幅5cm内に含まれている1個体の根量あたりのg数で表示した。以下同様)を、第3表に示した。生育時期の違いにより、各品種は異った全窒素含有量の変化を示しており、少肥区では品種間差(1%レベル)および生育時期(0.1%レベル)の双方において有意差が認められた。多肥区では、品種間に有意差は認められなかったが、生育時期によって差(0.1%レベルで有意)が認められた。

根の個体あたり全窒素含有量と根乾物重との関係を第1図に示した。両者の間には、少肥区、多肥区ともに品種による根の全窒素含有率に有意な差が認められないことから、根の全窒素含有量は、根乾物重に依存して決まってくるものと考えられる。

根の全窒素含有量と根乾物重、葉身部全窒素含有率、葉身乾物重、地上部(葉身部+葉鞘部+稈)全乾物重とのそれぞれの関係を第4表に示した。根の全窒素含有量と地上部乾物重の間には、生育期間を通して特定の関係は認められなかった。根の全窒素含有量と葉身部全窒素含有量との関係は、少肥区では、8月7日には有意な正の相関関係が、多肥区においても、7月19日、8月9日に有意な正の相関関係が認められた。

Table 1. Total nitrogen content in percentage of roots (%).

Symbol No.	Cultivar	Heading date (50% heading)	Growth stage (I *, II ***)					
			low fertilizer			high fertilizer		
			July17	Aug.7	Sept.11	July19	Aug.9	Sept.11
1	Rikuu 132	July 25	0.9	0.6	0.7	0.9	0.9	0.7
2	Sen-ichi	July 25	0.8	0.7	0.7	0.9	0.7	0.7
3	Moritawase	July 25	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8
4	Zensekiwase	July 25	0.8	0.7	0.6	1.0	0.5	0.8
5	Kamenoo	July 31	0.8	0.7	0.6	0.9	0.7	0.8
6	Shinriki	Aug. 27	0.8	0.8	0.5	0.9	0.8	0.6
7	Norin 25	Aug. 18	0.9	0.7	0.6	0.9	0.8	0.6
8	Norin 3	Aug. 18	0.8	0.7	0.6	0.9	0.7	0.6
9	Takenari	Aug. 19	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	0.6
10	Ginbozu	Aug. 18	0.9	0.7	0.5	0.8	0.8	0.7
11	Jyukkoku	Aug. 20	0.9	0.7	0.6	1.0	0.7	0.6
12	Asahi	Aug. 23	0.9	0.9	0.6	0.9	0.8	0.6
13	Omachi	Aug. 8	0.9	0.9	0.5	1.0	0.9	0.6
14	Norin 18	Aug. 27	1.0	0.8	0.6	1.0	0.6	0.8
15	Futaba	Aug. 18	0.9	0.8	0.7	1.0	0.7	0.6
16	Kameji	Aug. 21	0.9	0.6	0.5	0.9	1.0	0.6
17	T 136	July 29	0.9	0.5	0.6	0.8	0.7	0.7
18	Leuang taung	Aug. 15	0.8	0.6	0.6	0.8	0.9	0.6
19	Boro 8	July 25	0.8	0.7	0.5	0.8	0.7	0.8
20	Tanginbozu	Aug. 21	0.9	0.8	0.6	0.9	0.8	0.7

Note ; I : low fertilizer (2.5 kg-N/10a).

II : high fertilizer (7.5 kg-N/10a).

* and *** shows singificant difference at 5% and 0.1% level, respectively.

Table 2. Total nitrogen content in percentage of leaf blade (%).

Symbol No.	Cultivar	Heading date (50% heading)	Growth stage (I ***, II ***)					
			low fertilizer			high fertilizer		
			July17	Aug.7	Sept.11	July19	Aug.9	Sept.11
1	Rikuu 132	July 25	3.0	2.0	n.d.	3.1	2.5	n.d.
2	Sen-ichi	July 25	3.0	2.2	n.d.	2.9	2.0	n.d.
3	Moritawase	July 25	3.4	3.4	n.d.	3.5	1.9	n.d.
4	Zensekiwase	July 25	2.9	1.7	n.d.	3.6	2.0	n.d.
5	Kamenoo	July 31	2.4	1.8	n.d.	2.5	1.8	n.d.
6	Shinriki	Aug. 27	3.0	2.1	1.4	3.3	1.9	1.3
7	Norin 25	Aug. 18	3.0	1.7	0.7	3.1	1.8	1.4
8	Norin 3	Aug. 18	2.4	1.9	0.6	3.1	2.0	1.4
9	Takenari	Aug. 19	2.8	2.2	0.5	3.2	1.9	1.2
10	Ginbozu	Aug. 18	2.9	1.9	0.5	3.1	2.1	1.3
11	Jyukkoku	Aug. 20	3.0	1.7	0.6	3.3	2.2	1.3
12	Asahi	Aug. 23	3.1	1.8	0.6	2.8	1.7	1.3
13	Omachi	Aug. 8	2.8	2.0	0.6	3.3	2.1	1.1
14	Norin 18	Aug. 27	3.1	1.9	1.0	3.2	1.8	1.2
15	Futaba	Aug. 18	2.9	2.0	1.1	2.9	1.9	1.1
16	Kameji	Aug. 21	2.9	1.8	1.4	2.8	2.2	1.5
17	T 136	July 29	2.9	1.9	n.d.	3.0	2.5	n.d.
18	Leuang taung	Aug. 15	2.5	1.7	n.d.	2.5	1.8	n.d.
19	Boro 8	July 25	2.8	1.4	n.d.	2.6	1.4	n.d.
20	Tanginbozu	Aug. 21	3.4	0.7	0.6	3.5	2.6	1.4

Note ; Symbols are the same as in those of Table 1.

n.d. : not determined.

Table 3. Total nitrogen content of roots ($\times 10^{-2}$ g/plant).

Symbol No.	Cultivar	Heading date (50% heading)	Growth stage (I ***, II ***)					
			low fertilizer			high fertilizer		
			July17	Aug.7	Sept.11	July19	Aug.9	Sept.11
1	Rikuu 132	July 25	5.0	1.8	2.7	2.3	4.2	3.8
2	Sen-ichi	July 25	3.8	2.5	2.8	2.4	3.5	3.4
3	Moritawase	July 25	5.8	2.2	3.4	1.3	3.2	4.6
4	Zensekiwase	July 25	5.4	1.4	2.6	2.2	1.4	3.7
5	Kamenoo	July 31	6.2	2.0	3.2	2.9	4.1	3.4
6	Shinriki	Aug. 27	5.8	5.3	3.6	2.3	5.2	5.3
7	Norin 25	Aug. 18	4.3	3.8	4.0	3.4	4.3	5.5
8	Norin 3	Aug. 18	3.8	2.7	2.2	2.8	3.3	2.9
9	Takenari	Aug. 19	1.9	3.5	3.8	4.1	5.8	4.3
10	Ginbozu	Aug. 18	4.9	3.7	4.0	3.5	4.8	7.2
11	Jyukkoku	Aug. 20	4.1	6.5	4.1	2.8	3.4	5.3
12	Asahi	Aug. 23	4.3	4.8	5.3	3.4	4.2	4.6
13	Omachi	Aug. 8	6.5	3.9	3.4	3.9	5.0	4.2
14	Norin 18	Aug. 27	7.2	3.8	4.1	4.4	4.1	6.5
15	Futaba	Aug. 18	5.9	5.2	6.2	3.0	3.7	5.0
16	Kameji	Aug. 21	6.8	3.1	4.6	3.1	6.1	4.0
17	T 136	July 29	4.5	2.1	3.9	2.2	3.9	3.7
18	Leuang taung	Aug. 15	6.4	2.9	5.2	2.8	6.2	4.0
19	Boro 8	July 25	6.1	2.0	3.7	1.6	3.1	3.4
20	Tanginbozu	Aug. 21	6.0	4.1	3.8	2.3	5.2	3.9

Note : Each value shows nitrogen content of roots per plant in the monolith (30 cm depth, 50 cm width, 5 cm thickness).

Symbols are the same as in those of Table 1.

Table 4. The relationship between root nitrogen content and root dry weight, nitrogen content of leaf blade, leaf blade dry weight and top dry weight (correlation coefficient).

	Root nitrogen content					
	Low fertilizer			High fertilizer		
	July17	Aug.7	Sept.11	July19	Aug.9	Sept.11
Root dry weight	0.95***	0.94***	0.90***	0.96***	0.86***	0.89***
Nitrogen content of leaf blade	-0.04	0.60**	0.30	0.75***	0.73***	0.23
Leaf blade dry weight	0.11	0.74***	0.26	0.63**	0.72**	0.37
Top dry weight	0.16	-0.31	0.24	0.49	0.07	-0.18

Note : ** and *** shows significant difference at 1% and 0.1% level, respectively.

考 察

水稻の耐肥性に関する問題は、農業上の重要な課題の一つとして古くから研究が行われてきており^{1,4,6,13)}、長田・村田^{8,9,10)}は、耐肥性の異なる品種を用いて物質生産の様相を、光合成特性、呼吸、登熟等の観点から検討している。本研究は、水稻地下部の形態や機能の面から水稻品種の施肥反応性を再

検討し、それらの遺伝性についても検討を加える目的の第一段階として、特に、水稻根の全窒素含有量の生育時期別変化の型を、品種間差の面から検討したものである。単位根乾物重あたりの全窒素含有率(%)は、少肥区、多肥区ともに品種間差は認められなかったが、生育時期による差は、少肥区では5%レベル、多肥区においては0.1%レベルで有意な差が認められた。単位葉身乾物重あたりの全窒素

Fig. 1. Relationship between total nitrogen content of roots and root dry weight per plant.

Symbol numbers in figure are the same as shown in Table 1.

*** shows significant difference at 0.1% level.

I, II : Low fertilizer (2.5 kg-N/10 a) and high fertilizer (7.5 kg-N/10 a), respectively.

含有率は、生育につれて減少の傾向を示した。7月から8月までの生育期においては、少肥区、多肥区ともに品種間による有意差は認められなかったが、生育時期による変化は、少肥区、多肥区ともに0.1%レベルで有意に認められた(第1表, 第2表)。

個体あたりの根に含まれている全窒素含有量の変化は、第3表に示したが、生育時期によって品種による違いが認められ、供試品種は、4つの型に分けることができる。少肥区と多肥区で根の全窒素含有量に大きな差がみられず、また、生育期間を通して全窒素含有量の変化も小さく、0.04 g/個体以下と比較的小さい傾向を示す。撰一、農林3号のような品種。これらをA型と称する。十石、朝日、双葉のように、生育期間を通して多肥区より少肥区での根の全窒素含有量が大きい傾向を示す品種群。これらをB型と称する。竹成のように、生育期間を通して、少肥区よりも多肥区において根の全窒素含有量が大きい傾向を示す品種。これをC型と呼ぶ。本実験に用いた品種のうち、上記以外の品種は、生育初期では少肥区で、根の全窒素含有量が大きい、後半逆転して多肥区において、全窒素含有量が大きくなる傾向を示している。これらをD型と称する。

水稻体の全窒素含有量の変化は、品種の早晚性、または、地力窒素、施肥窒素量の大小からも論じられている。たとえば、高収性品種の窒素吸収特性は、地力窒素に対する強い吸収力と、施肥窒素に対する高い反応性にあると考えられている³⁾が、この大きな吸収力が品種の高い光合成に由来するのか、あるいは、水稻根の活発な機能によるのかは不明である³⁾。窒素の吸収については、品種の特性以外に、地力窒素の吸収が施用窒素の影響を受けると考えられ、窒素施用による地力窒素の吸収促進効果がこれまでに確かめられている。その効果は、一般的には、施用窒素による地力窒素の無機化促進と、窒素施用に伴う作物根の生長促進であると理解されている^{2,5,14,16)}。この地力窒素は、主に温度条件に支配されて¹⁵⁾、少量ずつ継続して有効化するので、移植直後を除けば、根圏で有効化された地力窒素は、ほぼ全量速やかに水稻に吸収されると考えられている。このため、地力窒素の吸収量は品種が違っても、主として移植後日数によって推定されるという¹⁵⁾。

本実験では、基肥のみを施用し、追肥は全く与えない条件で行ったものである。よって、少肥区、多

肥区、それぞれについて、生育時期による全窒素含有量の変化の型は、品種独自のものと考えることができよう。樋口・吉野³⁾は、基肥窒素の吸収が、その施用量の差異に関係なく、幼穂形成期ではほぼ終了するとし、基肥窒素の吸収速度は、高収性品種が早いとした。深山・岡部⁷⁾は、水稻品種の窒素吸収特性および地力窒素吸収量を調べ、地力窒素吸収量の品種間差は、生育時期の長短に主として支配されるとした。しかし、これらは、それぞれの生育時期での稲体の窒素吸収量から論じたものであり、生育期間を通した根系の窒素含有量の変化の型から品種間差を論じたものではない。

根の全窒素含有量の生育時期による変化から、水稻品種を、A, B, C, Dの4つの型に分けられる可能性を示唆したが、第1図から、7月中旬における根の全窒素含有量と根乾物重との関係を検討してみると、竹成(C型)は、少肥区では、回帰直線上で原点に近い場所に位置しているが、多肥区においては、原点から一番離れた場所に位置している。十石、朝日、双葉(B型)、撰一、農林3号(A型)では、グループの中で若干の変動はあるものの、大きな変化は認められない。根の全窒素含有量が、多肥区においてよりも少肥区において高い品種、少肥区でも多肥区でも大きな変化は示さない品種といったように、品種による施肥反応性には、明らかに違いがあることを示している。この現象は、8月、9月においても、7月と似たような傾向として認められた。この現象が、根の全窒素含有量の生育時期別変化の型と、具体的にどのような形で結びついてくるのかについては、今後検討を進めていく必要がある。

根の全窒素含有量と葉身部全窒素含有量、葉身部乾物重との関係は、第4表に示したが、少肥区では8月にのみ、多肥区では7月、8月に有意に正の相関関係を示した。乾物生産を考えた場合、葉身部の全窒素含有量を高めることは、当然必要ではあるが、根の全窒素含有量との関係においては、因果関係が複雑であり、まして収量性との関係から根の全窒素含有量のもつ意味を考えるには、まだデータが不足しており、今後の研究を待つ必要がある。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、有益な助言を頂き、また水稻種子を提供していただいた農水省生物資源研究所(前北陸農試)中川原捷洋博士、宇都宮大学農学部長田明夫教授、栃木県農試(前北陸農

試) 吉田 久博士に感謝いたします。

引用文献

1. 馬場 赳・岩田岩保 1962. 耐肥性の概念と品種の生態. 育種学最近の進歩 3: 66—76.
2. Broadbent, F.E. 1965. Effect of fertilizer nitrogen. Proc. Soil Sci. Am. 29: 692—696.
3. 樋口太重・吉野 喬 1986. 高収性水稻の窒素吸収特性について. 土肥誌 57: 134—141.
4. 岩田岩保・馬場 赳 1962. 水稻品種の耐肥性に関する研究. 第2報 光合成から見た水稻の耐肥性と珪酸との関係. 日作紀 30: 237—240.
5. Koyama, T., C. Chammek and N. Niamsrichand 1973. Nitrogen application technology for tropical rice as determined by field experiments using ^{15}N tracer technique. Tech. Bull. TARC. 3: 1—79.
6. 松尾孝嶺 1952. 栽培稲に関する種生態学的研究. 農技研報 D3: 1—112.
7. 深山政治・岡部達雄 1986. 水稻の窒素吸収特性の品種間差と施肥法. 土肥誌 57: 272—279.
8. 長田明夫・村田吉男 1962. 水稻品種の光合成と耐肥性に関する研究. 第1報 中生品種の光合成と耐肥性との関係. 日作紀 30: 220—223.
9. ———— 1962. ———— 第2報 早生品種の光合成と耐肥性との関係. 日作紀 30: 224—227.
10. ———— 1965. ———— 第3報 品種の光合成特性と乾物生産・登熟との関係. 日作紀 33: 460—466.
11. Tsunoda, S. 1959. A developmental analysis of yielding ability in varieties of field crops. II. The assimilation-system of plants as affected by the form, direction and arrangement of single leaves. Japan. J. Breed. 9: 237—244.
12. ———— 1960. ————. III. The depth of green colour and the nitrogen content of leaves. Japan. J. Breed. 10: 107—111.
13. 高橋保夫・岩田岩保・馬場 赳 1959. 水稻品種の耐肥性に関する研究. 第1報 品種の耐肥性と窒素及び炭水化物代謝との関係. 日作紀 28: 22—24.
14. Walker, T.W., A.R. Adams and H.D. Orchiston 1956. Fate of labeled nitrate and ammonium nitrogen when applied to grass and clover grown separately and together. Soil Sci. 81: 339—351.
15. 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.
16. ———— 1978. 水田土壌における施用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.