

# 水稻に対する窒素の深層追肥効果に関する研究（第3報）

固形肥料と硫酸との深層追肥効果の差異\*

奥村 俊勝・竹内 史郎・長谷川 浩\*\*

## Studies on the Deeper Layer Application of Additional Nitrogen Fertilizer for Rice Plant (III)

Differences in effects of deep placement of topdressing  
between ball and ammonium sulfate fertilizer.

Toshikatsu OKUMURA, Shiro TAKEUCHI and Hiroshi HASEGAWA

### Synopsis

This report consists of two experiments.

Experiment 1 was carried out by 1/2000 a Wagner pots to compare the N uptake of ball fertilizer nitrogen with the N uptake of ammonium sulfate nitrogen. Both fertilizers was applied as top dressing into the deeper layer of soil.

Experiment 2 was carried out in paddy field to compare the effects of ball fertilizer on growth and yield of rice plant with the effects of ammonium sulfate. Both fertilizers was also applied as topdressing.

The results obtained from two experiments are summarized as follows.

1. Where small amount of basal dressing was followed by large amount of top dressing, the N constant of plant was more large over the ripening period (Exp. 1).
2. The ball fertilizer N was slow in the uptake than ammonium sulfate N, but the uptake of ball fertilizer was maintained up to ripening period (Exp. 1).
3. The growth, yield and yield components did not differ in their response to both fertilizers in spite of placement of topdressing (Exp. 2).
4. It shows that growth of plant applied by deep placement of topdressing has promoted after heading time in spite of various kinds of fertilizer (Exp. 2).

---

\* 本研究の一部は、近畿大学研究助成金を受けておこない、日本作物学会第168回講演会(昭和54年)において大要を報告した。

\*\* 農学科、作物学研究室 (Lab. of Crop Science, Dept. of Agriculture, Kinki Univ. Higashiosaka Osaka 577, Japan)

## I 緒 言

水稻に対する深層追肥は、昭和 36 年から青森県で実際栽培に採用され<sup>1)</sup>、今日では、暖地稲作における追肥重点施肥型稲作のうちの一つの施肥法として試用される地域が増えつつある。しかし、深層追肥の実用化とその技術の発展程度に比べて、その効果の発現機構を生理生態的に明らかにした報告は少ない。

著者らは、これまでに、ポット栽培では、<sup>15</sup>N 標識硫酸を用い、また、圃場栽培では硫酸を安水または紙片に包んだ形で深層追肥を行なって、その肥効の発現機構を明らかにする実験を行ない、その結果の一部は既に報告している<sup>2, 3, 4)</sup>。

一方、実際栽培においては、深層追肥に用いられる肥料として最も一般的なのは固形肥料である<sup>1)</sup>。著者らも暖地の稲作において、深層追肥に固形肥料を用いて著しく増収した例を報告した<sup>5)</sup>。また、深層追肥における肥料の種類と施肥量との関係については、外国稲を用いた IRRI での報告<sup>6)</sup>や青森県での実際栽培例<sup>1)</sup>の報告がある。

本報告は、深層追肥の効果発現機構を明らかにする研究の一環として、一般に用いられる固形肥料と単肥との深層追肥の圃場栽培における効果発現の差異を比較し、かつ、<sup>15</sup>N 標識硫酸をその成分として特製された固形肥料をポット実験に使用して、深層追肥の肥効発現の様相と窒素の吸収パターンを明らかにしたものである。

## II 実験材料と方法

実験 1、深層追肥された固形肥料と硫酸の <sup>15</sup>N 標識窒素成分の吸収

本実験は 1979 年に近畿大学農学部で行なった。供試品種は水稻日本晴で、5 月 9 日播種の成苗を 6 月 10 日に 2000 分の 1 アールポットに、1 株 1 本植で 2 株移植した。試験区は、Table 1 に示すように全区とも施用窒素総量を一定にした上で基肥量と追肥量の配分について、多量基肥-少量追肥区 (A 区) と少量基肥-多量追肥区 (B 区) の 2 区を設け、これに深層追肥する肥料の種類に関して硫酸 (a 区) と固形肥料 (b 区) の 2 区を組合せた 4 区を設定した。

基肥として全区とも、窒素 (N) は硫酸、りん酸 (P) は過りん酸石灰、カリ (K) は塩化カリを用いた。ポット当たり施用量は成分量として N は Table 1 に示した各区所定量、P と K は 1.0 g で、これを土壌全層へ施肥した。

追肥には、a 区で 10.7 atom% <sup>15</sup>N 硫酸を用い、b 区では 10.4 atom% <sup>15</sup>N 硫酸を原料として特製された固形肥料<sup>注)</sup>を用いた。そのために、成分量で N 施用総量は全区とも 0.9 g/ポットであるが、P と K は、固形肥料区が硫酸区よりも 0.3 g または 0.6 g/ポットそれぞれ多く施用された。なお、少量追肥区用の固形肥料は、追肥 N 量を所定量とするために、原形の肥料をナイフで小型化したものが用いられた。追肥日は 7 月 16 日で、地表下 12 cm に

Table 1 Experimental plots (Exp. 1)

Experimental plot *	Nitrogen applied by basal dressing g/pot	Nitrogen applied by topdressing g/pot
A - a	0.6	0.3
A - b	0.6	0.3
B - a	0.3	0.6
B - b	0.3	0.6

\* a ; ammonium sulfate, b ; ball fertilizer.  
Both fertilizers was applied in deeper layer by topdressing (July, 16)

注) くみあい 1 号固形肥料 (5-5-5) と同形で、N 成分のみを重窒素硫酸に置きかえて特製されたもので、その他の成分は市販品と全く同じである。この肥料は、日本肥糧(株)から提供された。

施用した。

調査は、移植から出穂15日後までに5回、毎回各区より2ポット、4株を採取し、地上部と根部の乾物重とN含有率を測定し、また、追肥後の試料については、 $^{15}\text{N}$ 量を測定した。全Nはケルダール法で、 $^{15}\text{N}$ はリッテンベルグ法による発光分光分析法で測定した。

## 実験2、追肥位置を異にする固形肥料と硫酸との肥効の比較

本実験は、1978年に和歌山県湯浅町に所在する近畿大学附属農場の水田で、水稻日本晴を供試して行なった。

試験区は追肥位置に関して、深層追肥区(D区)と表層追肥区(S区)の2区を設け、これに単肥追肥区(s区)と固形肥料追肥区(b区)の2区を組合せた4区とした。これらの試験区および施肥量などはTable 2に示すとおりである。1試験区面積は35m<sup>2</sup>の一連制で、施肥総量は三要素とも9g/m<sup>2</sup>

(成分)に統一した。追肥として三要素を施用したのは、使用した固形肥料が三要素を含有しているためであり、固形肥料の表層追肥には、機械的に固形肥料を粉碎した粉状物を使用した。なお、基肥には全区とも単肥を用い、Nは硫酸、Pは過石、Kは塩加である。

栽培は、5月上旬播種の成苗を、1株当たり3本、6月16日に移植し、栽植密度はm<sup>2</sup>当り19.6株とした。深層追肥は7月14日、表層追肥は7月25日に行なった。その他の管理は当農場の慣行に従った。

調査は、深層追肥期(7月15日)から登熟中期(9月5日)までの間に6回、毎回各区より3株掘り上げて行なった。採取した個体は葉身、地上部の枯死部および根、さらに、出穂後には穂の各部に分別し、それぞれの乾物重とN含有率を測定した。なお、収穫時には、玄米収量と収量構成要素を常法に従って調査した。N%はケルダール法にて測った。

Table 2 Experimental plots (Exp. 2)

Experimental plot*	Three elements applied by basal dressing** g/m <sup>2</sup>			Three elements applied by topdressing g/m <sup>2</sup>		
	N	P	K	N	P	K
S - s	6	6	6	3	3	3
S - b	6	6	6	3	3	3
D - s	3	3	3	6	6	6
D - b	3	3	3	6	6	6

\* S; Shallow placement (in surface soil layer) of top dressing (July, 25)

D; Deep placement (in deep soil layer) of top dressing (July, 14)

s; straight fertilizer

b; ball fertilizer (made into large pellets by Nihon-Hiryō CO., Ltd.)

\*\* Three kinds of straight fertilizers were applied for basal dressing

## Ⅲ 実験結果と考察

### 実験1；

#### 1) 稲体の全N含有量の推移

地上部における全N含有量の推移はFig. 1-Aに、根部のそれはFig. 1-Bに示した。

追肥時の全N量には地上部、根部とも、基肥量の多少による影響が明らかに認められた。すなわち、深層追肥日の7月16日には、地上部ではA区が350mg/株、B区は173mg/株となり基肥N量の差を忠

実に示し、根部ではA区で50mg/株、B区で30mg/株であった。したがって、個体全体で見ても、基肥N量の差がそのまま表われた。この区間差は、基肥施用時から多くの日数を経た後であるので、株当たり乾物量の差異によるところが大きく、N%の差によるところは比較的小さかった。

追肥量の影響は、早くも追肥2週間後の7月30日に明らかであった。すなわち、多量追肥のB区が、肥料の種類にかかわらず、地上部、根部ともにA区を凌駕する含有量を示し、その後もその傾向は維持

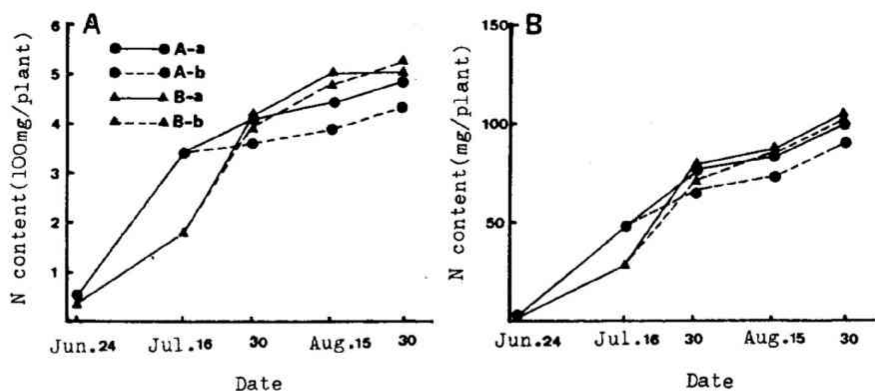


Fig. 1 Changes of N content of the tops (A) and the roots (B).

された。このことは、N施用総量が等しい場合は、基肥量が少ないほど、深層追肥の効果が発現され易いとする知見<sup>1,2,5)</sup>をN吸収量の面から裏付けるものと考えられる。

つぎに、追肥の種類による追肥後のN含有量の差をみると、地上部、根部ともに、A区では、追肥後の全調査期間中は、硫安区が固形肥料区よりも著しく高く推移した。他方、B区では、追肥から出穂までの間は、硫安区が固形肥料区よりも僅かに高く推移したが、出穂後には逆転して、固形肥料区で高くなった。すなわち、この稲体内N含有量の変化を、N吸収の様相を直接的に反映したものと考え、深層追肥において基肥量が多い場合は、追肥の種類によってその吸収パターンを異にするが、基肥量が少ない場合には、固形肥料の吸収が硫安よりも僅かに遅れる以外は、N吸収パターンへの影響はほとんどなく、これは島田ら<sup>7)</sup>の結果とよく一致した。

## 2) 追肥由来Nの利用率の推移

追肥後に水稻体へ吸収されるNは、追肥時まで吸収されずに土壌中に残存した基肥由来のもの、追肥そのものに由来するもの、および土壌有機物などの無機化による土壌由来のものの三種に大別できる。一般的に、それらの定量は差引法<sup>8)</sup>でなされて来たので、その結果は間接的定量にならざるを得なかった。しかし、本実験で追肥された肥料には、<sup>15</sup>N標識硫安が含まれているので、この<sup>15</sup>Nをトレースすることで、直接的に追肥由来Nのみの吸収量を明らかにすることができる。そこでこの方法によって、追肥した固形肥料ないしは硫安の全N量のうち、稲

体に吸収されて生体内に保持された追肥由来のN量の割合を追肥Nの利用率としてあらわし、その消費をFig.2に示した。

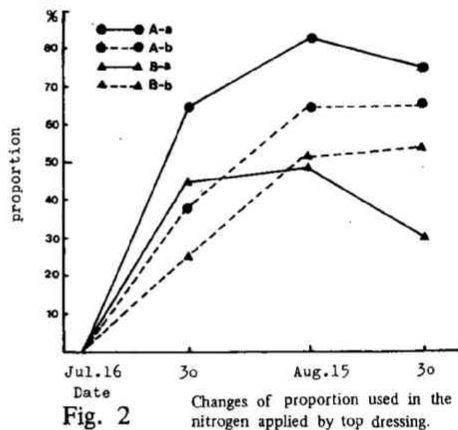


Fig. 2 Changes of proportion used in the nitrogen applied by top dressing.

追肥の種類にかかわらず、最高の利用率は、追肥量の多いB区がA区に比較して低くなった。すなわち、その値は、A-a区で83%、A-b区で65%、B-a区で48%、B-b区で58%を示し、これら両区の平均は、A区で74%、B区で53%となった。しかし、この利用率を個体当たり追肥由来Nの吸収量に換算すると、A区は111 ㎏、B区は159 ㎏となり、追肥N吸収量ではB区が高くなった。

次に、追肥Nの吸収速度をみると、追肥量の多少にかかわらず、硫安は固形肥料よりも早く吸収される傾向を示した。すなわち、追肥後2週間目の7月30日の利用率は、A-a区で65%、A-b区で38%、B-a区で44%、B-b区で24%を示した。これらの平均は、硫安区で54.5%、固形肥

料区で 31.0 % となり、追肥後暫くの間は、硫安が固形肥料よりも約 2 倍のスピードで吸収されたことを示すものと考えられる。しかし、硫安区は、その吸収速度の鈍化が固形肥料より著しく早く表われ、かつ、最高含有量を示した後は、下葉の枯上りや根の腐敗などのために、その利用率は急速に減少していった。一方、固形肥料は、追肥直後の吸収速度は緩やかであるが、出穂期後もその吸収が僅かであるが続けられることがうかがえた。この固形肥料の N 吸収の緩慢性は、この肥料特有のピートの性質に基づくものと考えられるが、その詳細な機構説明は次の課題となるであろう。

## 実験 2；

1) 葉身、地上部枯死部および根の乾物重の推移  
深層追肥日（7月14日）から登熟中期（9月5日）までの 1 株当り生葉身および地上部枯死部の乾物重の推移を Fig. 3-A に、また、根の乾物重については Fig. 3-B に示した。

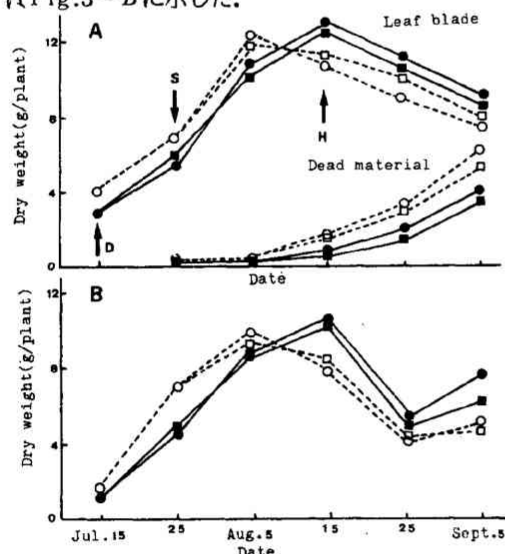


Fig. 3 Changes of dry weight of the tops (A) and the dead materials (A) and the roots (B).

(—●—) D-b, (—■—) D-s, (---○---) S-b, (---□---) S-s.  
Arrow D ; time of topdressing in deeper layer  
Arrow S ; time of topdressing in surface layer  
Arrow H ; first heading time

両図によって示されるように、これらの 3 項目の値の推移は、追肥位置による差が大きく、追肥肥料の種類の影響は、比較的少なかった。すなわち、葉身乾物重の消長を比較すると、S 区では穂孕期（8月5日）に、D 区では出穂期（8月15日）にそれぞ

れ最高値に達し、その値は D 区でやや重かった。また、出穂期をはさんで、それ以前では S 区が、以後は D 区がそれぞれ重くなり、追肥位置の違いによる区間差は顕著であった。肥料の種類の影響は D 区、S 区とも比較的少なかったが、D 区の固形肥料区の肥効は単肥区のそれに比べて、発現はやや遅れたが、以後の効果は大きく、下葉の枯上りが始まる出穂期以後では、固形肥料区がやや重く推移した。

地上部枯死部の推移においても、肥料の種類による差異は比較的少なく、追肥の位置による差が大きかった。すなわち、枯死部は両区とも穂孕期頃より目立ち始め、無効茎の枯死が始まる出穂期が過ぎて急増したが、その程度は、生葉身の減少程度とよく対応していて、S 区が D 区よりも常に多かった。

このことから、深層追肥は、肥料の種類にかかわらず、下葉の枯上りや無効茎の発生を抑制する点で効果的であって、これが耐倒伏性の強化と玄米収量の増大につながったものと考えられる。

根の乾物重の推移は、葉身の乾物重のそれと著しく類似していて、肥料の種類による影響は少なかった。しかし、D 区と S 区の最高値の差は、葉身の場合よりも大きく、また、登熟期の根量の再生産も D 区のほうが大きかった。これは、深層追肥が表層追肥にくらべて、出穂期以後の根系分布や機能に好ましい影響を及ぼすとした前々報<sup>2)</sup>の結果とよく一致していた。

深層追肥区では、固形肥料の N 吸収速度が硫安のそれに比べて遅いことを実験 1 で指摘したが、この点は実験 2 の乾物重の推移の様相からもうかがえた。すなわち、固形肥料を深層追肥した場合は、地上部および根部ともに、追肥後の増加が硫安区に比べてやや緩慢であるが、登熟期遅くまで乾物増加に対する効果が持続された。これに対し、S 区では、固形肥料の粉砕物が表層に施用されたため、肥効の遅れは観察されなかった。また、これまでの報告<sup>2,4,5)</sup>で述べたように、追肥位置の違いが地上部や根部の生育パターンに表われる特徴は、肥料 N の吸収が固形肥料でやや遅れることに関係なく、その追肥位置特有の様相を呈した。したがって、硫安と固形肥料の栄養体の量的形質に与える肥効の差は主として、それらの形状の違いによって生じるもので、本質的な相違はほとんどないと考えてよいであろう。

## 2) 葉身, 根および穂のN%の推移

追肥後における葉身, 根, および出穂後の穂のN%は, それぞれFig.4-A, B, およびCに示した。

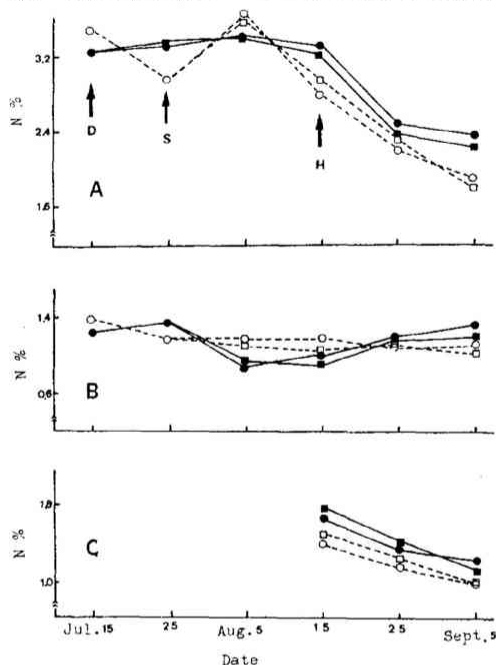


Fig. 4 Changes of N % of lead blade (A), root (B) and head (C). Symbols and arrows are the same as those in Fig. 3.

これらの図に見られるように, 何れの部分においてもN%の差も追肥位置によるところが大きく, 肥料の種類によるところは比較的小さかった。すなわち, 葉身のN%の変化をみると, 肥料の種類にかかわらず, 追肥位置の影響が顕著で, D区では, 追肥後の増加程度は緩やかであって, 出穂期までは3.2%から3.3%の範囲で変化が小さく, かつ, その後の低下もS区に比べて小さかった。他方, S区は, 追肥時の2.8%から, 追肥後10日目には, 3.5%へと急速な増加が見られ, その後は急速に低下し, 変化の激しいパターンを示し, 登熟中期の9月5日には, D区とS区の区間差は0.4%の開きを示した。

肥料の種類による差は少なかったが, D区では固形肥料で, S区では硫酸でそれぞれ, 追肥後の吸収が僅かに遅れる傾向を示し, その後には, その傾向は逆転し, 登熟期間中は, 深層追肥の固形肥料区が高く維持された。

これらの結果は, 前報<sup>4)</sup>のそれとよく一致するものであり, 本報で試みられた肥料の種類の影響は,

比較的小さいことが結論付けられた。

つぎに, 根のN%の変化は, 全般的に葉身部よりも小さかった。すなわち, D区は追肥直後には1.4%まで高まり, その後約0.8%まで低下し, 出穂後には再び漸増した。一方, S区では, 追肥後の増加が認められず, 追肥から登熟中期まで漸減し, その中は0.2%程度であった。なお, 葉身と根のN%の推移を対比すると, 葉身ではS区が, 根ではD区がそれぞれ変化の巾が大きく, また, 追肥位置にかかわらず, 葉身部で高N%を示した肥料が, 根部ではその逆の傾向となったことが注目された。

深層追肥区で, 登熟期に再びN%が増加したことは, 第1報<sup>2)</sup>で, 深層追肥は登熟期の根の健全化に効果的であるとしたことの一つの証拠となるものと思われる。

つぎに, 穂のN%は, 全般的に出穂以後は減少して行くが, 肥料の種類にかかわらず, D区のほうがS区よりも常に高く維持された。また, D区の固形肥料区は, 登熟中期の低下が少なく, 遅くまで高N%を示した。このことは, 同時期の根のN%の増大と対応するものと考えられ, 登熟盛期に根系が健全で, Nの吸収力が高く維持されたことによる結果であると考えられる。

## 3) 玄米収量および収量構成要素に及ぼす影響

Table 3に玄米収量および収量構成4要素を示した。

Table 3 Yield and its components

Items	Plot			
	S-b	S-s	D-b	D-s
Number of head (/plant)	17.1	15.5	17.6	19.0
Number of grain (/head)	82.5	88.9	94.0	96.6
% of ripend grains (%)	87.3	88.0	80.5	81.5
1000-kernel weight (g)	22.8	22.8	22.7	22.7
Yield (g/m <sup>2</sup> )	566	561	587	591

玄米収量は, 肥料の種類による変化はほとんどなく, 両区を平均すると, D区でm<sup>2</sup>当り590g, S区

で563 gとなり、D区がS区よりも6%多収となった。

収量構成要素においても、肥料の種類による変化はほとんどなかった。両区の平均でみると、1株当り穂数では2本、1穂粒数では10粒、それぞれD区がS区よりも多くなった。登熟歩合ではS区が7%高くなり、玄米千粒重ではほとんど区間差はなかった。

以上のことから、収量および収量に直接的にかかわる要素に対する効果は、固形肥料と単肥3要素による差はないものといえるであろう。

#### IV 要 約

深層追肥における固形肥料の肥効発現の様相を硫酸のそれと対比して明らかにするために、次の二つの実験を行なった。

実験1；ポット栽培によって、 $^{15}\text{N}$ を含んだ固形および硫酸を深層追肥に用い、基肥と追肥の配分量を変えた場合のそれら2種の追肥の利用率和個体内全N量の変化を調査した。

実験2；圃場実験によって、深層追肥と表層追肥における固形と硫酸の肥料種の違いが、稲体の生育と収量に及ぼす影響を比較した。

結果の概要は次のとおりである。

1. 個体当りN含有量の推移パターンにおいて、追肥の種類にかかわらず、基肥量が少ない場合は、追肥後の増大が顕著となり、出穂後には基肥量の多い場合を凌駕する様相を呈した（実験1）。
2. N成分の吸収および肥料成分の利用率において、固形肥料Nは硫酸Nよりも、その吸収開始が少し遅れるが、登熟期遅くまで吸収が維持される傾向を示し、また、その利用率は追肥量の少ないほど高くなる傾向があった（実験1，2）。
3. 個体の乾物重消長において、追肥の種類にかかわらず、深層追肥は表層追肥に比べて、出穂後の生育が旺盛となり、枯死部の発生量も少なく、秋優りの生育を示した（実験2）。
4. 玄米収量および収量構成要素において、追肥の種類にかかわらず、深層追肥は表層追肥よりも玄米収量は6%増収し、収量構成要素では、追肥位置の効果が顕著に表われた（実験2）。
5. 以上の2実験より、追肥位置や追肥量の多少に

かかわらず、固形肥料と硫酸との肥効差はほとんどないものと結論付けられ、暖地稲作において、固形肥料の深層追肥が、水稻収量や労働生産性を向上させる可能性は高いものと云える。

最後に、本研究の一部は、財団法人肥料科学研究所の研究費の補助も受けて行なわれたことを明記して、感謝の意を表します。

#### 引 用 文 献

- 1) 田中 稔：青森県農業試験場総合業績，3，403-404（1971）
- 2) 竹内史郎・奥村俊勝・谷口良三・長谷川浩：近畿作物・育種談話会報，23，50-56（1978）
- 3) 竹内史郎・奥村俊勝・長谷川 浩・大江文和：日作紀，48（別2）25-26（1979）
- 4) 奥村俊勝・竹内史郎・長谷川 浩：日作紀，48（別2）23-24（1979）
- 5) 奥村俊勝・竹内史郎・岡本一浩：近畿作物・育種談話会報，24，21-24（1979）
- 6) H・SHIGA, W.B. VENTURA, and T. YOSHIDA：Plant and Soil 47 351-361（1977）
- 7) 島田晃雄・蜂ヶ崎君男：日本土肥学会東北支部講演会要旨，14，（1968）
- 8) 高井康雄・早瀬達郎・熊沢喜久雄：植物栄養土壤肥料大事典 533-534（1976）