

# 窒素深層施肥と根粒菌接種が客土造成転換畑初作ダイズに及ぼす影響

Tewari Kaushal\*・皆川律子\*・菅沼丈人\*・藤掛浩行\*・大竹憲邦\*\*

末吉 邦\*\*・高橋能彦\*\*\*・土田 徹\*\*\*・大山卓爾\*\*

キーワード ダイズ, 石灰窒素, 被覆尿素, 根粒菌, ペーパーポット

## 1. はじめに

ダイズ (*Glycine max* (L.) Merr.) は, 子実タンパク質を約 40% と多量に含むため 1 t の子実を生産するのに 70~90 kg の窒素が必要であると見積もられている<sup>1)</sup>。したがって, 高い子実収量をあげるには大量の窒素を必要とし, しばしば窒素の総同化量がダイズの生育および子実収量の制限因子となる。また, 開花までに生育期間全体の窒素同化量の約 8 割を吸収するイネとは反対に, ダイズでは開花期以降に全窒素の約 8 割を同化するため生育後半の窒素供給の多少が子実収量に大きく影響する。

ダイズは土壤微生物である根粒菌との共生器官である根粒を根に形成して空中窒素を固定することができ, 同時に根から吸収する土壌および肥料に由来する化合態窒素も利用する。しかしながら, 窒素の多肥により高収量を得ようとする試みは, 根粒の着生や窒素固定活性を抑制するだけでなく, 徒長や過繁茂を引き起こし成功しないことが多かった。

高橋らは, 緩効性窒素肥料で施肥直後から窒素の溶出を開始するリニア型 100 日タイプの被覆尿素 100 kg N ha<sup>-1</sup> を, 播種直下深さ 20 cm の位置に基肥として深層条施肥する技術を開発し, 水田転換畑においてダイズの安定多収効果を確認した<sup>2,3)</sup>。収量構成要素から解析した本施肥法による増収効果は, 莢数とそれに伴う子実数の増加が主な要因であった<sup>4)</sup>。窒素栄養からみた増収の理由としては, 根の下部から吸収した窒素は根上部に着生する根粒の形成と窒素固定を妨げないこと, および, 深層施肥した被覆尿素は利用率が 60% 以上と高く, 子実肥大後期まで化合態窒素の供給が持続し, 葉の光合成活性と窒素固定活性を維持したことによる<sup>5,6)</sup>。被覆尿素は, 肥料の溶出をダイズの窒素要求パターンに合わせられるという利点があるものの高価格であるため, 本研究では, 緩効性窒素肥料であり硝酸化成抑制効果を合わせ持つ石灰窒素の深層施肥でも同様な効果が得られるか否かについて検討した。

本研究では, 特に根粒着生と深層施肥との関係について

調べるため, 土着根粒菌が作土に定着していないと予想される山土を上乗せ客土した転換畑の初年作において, 根粒菌の接種方法を変えてダイズの栽培試験を実施した。園芸用焼成バーミキュライト (以下バーミキュライトと記述, 焼成により滅菌され, かつ窒素を含まない) を充填したペーパーポットに播種と同時に根粒菌懸濁液を接種し初生葉展開時の苗をペーパーポットごと移植栽培する方法, 根粒菌懸濁液に種子を浸漬後バーミキュライト苗床で栽培した植物苗のみを移植栽培する方法と, 根粒菌懸濁液を接種しないで育成したペーパーポット苗を移植栽培する方法を用いて接種効果について比較した。

ペーパーポット根粒菌接種では, ダイズ育苗土中における接種根粒菌の菌密度の増加と定着を期待したが, このことを確認するため, 実験 1-1 として  $\beta$  グルクロニダーゼ (GUS) 標識根粒菌を用いて, バーミキュライトを含む 5 種類の育苗土中で, 接種した根粒菌がどの程度増殖するかを調べ, 実験 1-2 においてバーミキュライト栽培ダイズの根, 根圏, 非根圏における接種根粒菌数の変化を調べた。

## 2. 実験方法

### 1) 実験 1-1: GUS 標識根粒菌を用いた土壌中での根粒菌数変化

ペーパーポット内の育苗土に接種した根粒菌密度の経時的変化を測定するため, バーミキュライトを含む 5 種類の土壌に GUS 標識根粒菌を接種し, 暗所で保温 (25°C) 静置した。実験は各 3 連で行い, 接種後 1, 2, 4, 8 週間後の根粒菌数の変化を, GUS の作用により基質 5-bromo-4-chloro-3-indolyl- $\beta$ -glucuronide cyclohexylammonium salt (X-Gluc) から菌体内に蓄積する代謝産物の青色色素をフェノールで抽出する方法<sup>7)</sup>で測定した。

バーミキュライトまたは, 新潟県長岡市の長倉土壌 (沖積土), 中沢土壌 (火山灰土), 新潟市の曽野木土壌 (沖積土), 五十嵐土壌 (砂質土) の風乾細土各 40 g を 100 mL 容のガラス製トールビーカーに充填し, GUS 標識根粒菌 (*Bradyrhizobium japonicum* 61A124a 株) を乾土 1 g あたり  $9 \times 10^6$  細胞接種した。GUS 標識根粒菌 61A124a 株は, 実験 2 の圃場試験で用いた USDA110 株と同等の根粒形成能力を持つことが確認されている<sup>7)</sup>。根粒菌接種と同時に最大容水量の 50~60% 程度の滅菌水を加えた。なお, 長倉圃場では 1973 年から長期にわたり田畑輪換でダイズを隔年栽培しており, 中沢圃場ではほぼ同期間, 畑作で 3 年

\* 新潟大学大学院自然科学研究科 (950-2181 新潟市五十嵐 2-8050)

\*\* 新潟大学農学部 (950-2181 新潟市五十嵐 2-8050)

\*\*\* 新潟県農業総合研究所 (940-0826 長岡市長倉町 857)  
2002 年 7 月 24 日受付・2002 年 9 月 19 日受理

日本土壤肥料学雑誌 第 74 巻 第 2 号 p. 183~189 (2003)

に一度程度ダイズが作付けされている。長倉圃場と、中沢圃場における最確値法 (MPN 法) で測定した土着根粒菌密度 (細胞  $g^{-1}$ ) は、それぞれ  $6 \times 10^5$  および  $3 \times 10^5$  と近年ダイズを栽培履歴のない曾野木 ( $2 \times 10^4$ )、五十嵐 (8) よりも高いことが示されている<sup>7)</sup>。

## 2) 実験 1-2: パーミキュライト栽培ダイズの根、根圏、非根圏における GUS 標識根粒菌数の変化

実験 1-1 と同様のパーミキュライトを含むトルビーカーにダイズ芽生えの移植と同時に GUS 標識根粒菌を接種し、根粒菌接種 2, 3, 4, 7 週間後の、根、根圏、非根圏における GUS 標識根粒菌密度を測定した。

滅菌後シャーレで発芽させたダイズ芽生え 1 個体を上記ビーカーに移植したのち、GUS 標識根粒菌を乾土 1 g あたり  $9 \times 10^6$  細胞接種した。培養は、光照射恒温庫内 (明期 25°C, 16 時間, 暗期 20°C, 8 時間) で行った。ダイズの生育に応じて適宜、滅菌水を補給した。土壌中および根の GUS 標識根粒菌密度は、GUS 代謝産物のフェノール抽出法により測定した<sup>7)</sup>。サンプリングでは、ダイズを土壌ごと静かにビーカーから取り出して軽く振ることによって落ちた土壌を非根圏土壌とし、さらに激しく振ることによって落ちた土壌を根圏土壌とした。根粒を除去した後、根系を滅菌水で 2 回洗い、滅菌した 50 mM リン酸緩衝液 (pH 6.8) で磨砕抽出した。抽出液を少量のグラスウールでろ過し、ろ液に含まれる菌体を遠心法で集菌した。菌体を滅菌水で 2 度洗浄した後、土壌と同様に GUS 標識菌密度を測定した。実験は各 3 連で行った。

## 3) 実験 2: 圃場試験

### (1) 試験圃場

試験は新潟県営圃場整備事業で客土造成した長岡市桂町で実施した。圃場は、2001 年春に旧来水田として利用されていた低湿圃場の表面に道路工事に伴い排出された新世代第三紀の堆積物である山土を約 30 cm の厚さに上乗せ客土した。圃場は客土後でも下層約 40 cm から 80 cm まで分布する泥炭の影響があり、泥炭土壌強粘土型に分類された。作土の化学性は、それぞれ乾土 1 kg あたりで可給態窒素 (畑状態 30°C, 4 週間培養) 18 mg, トルオグリン酸 53 mg, 交換性カリ 400 mg であった。2001 年、根粒菌無接種でダイズ (品種エンレイ) を栽培している 1 区画 1 ha の大規模圃場の一部で窒素肥料の深層施肥試験を行った。栽植密度は  $9 \text{ 株 m}^{-2}$  (畝間 75 cm × 株間 15 cm) で 1 本植えとした。サンプリングは 3 連で行った。

### (2) 施肥

施肥は基肥として、あらかじめ圃場全体に速効性肥料 (N  $1.6 \text{ g m}^{-2}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$   $6 \text{ g m}^{-2}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$   $8 \text{ g m}^{-2}$ ,  $\text{MgO}$   $1.2 \text{ g m}^{-2}$ ) を表層約 10 cm に全層施用してある。圃場には根粒菌を接種しないでダイズ品種エンレイが作付けされており、あらかじめ作付けしていない圃場の一部で窒素深層施肥試験を行った。窒素深層施肥処理では、移植位置にスコップで深さ 20 cm の穴を掘り、石灰窒素 (石灰窒素区)、リニア型 100 日タイプの被覆尿素 (被覆尿素区) ま

たは尿素 (尿素区) 各  $1.11 \text{ g N 株}^{-1}$  ( $10 \text{ g N m}^{-2}$ ) を施用する区、および深層施肥を行わない深層施肥無施用区 (無施用区) を設けた。

### (3) 根粒菌接種および移植方法

本試験には、ダイズ品種エンレイを用いた。根粒菌の接種および移植方法としては、ペーパーポット無接種苗移植栽培 (PP 無接種)、根粒菌種子接種苗移植栽培 (種子接種)、ペーパーポット根粒菌接種苗移植栽培 (PP 接種) の 3 通りを用いた。

種子接種では、ダイズ種子を次亜塩素酸ナトリウム水溶液で滅菌後、根粒菌 (*Bradyrhizobium japonicum* USDA 110) 懸濁液 ( $10^8$  細胞  $\text{mL}^{-1}$ ) に種子を浸漬し、パーミキュライトパットで発芽させた。PP 無接種では、直径 3 cm, 高さ 13.5 cm の無底の市販ペーパーポットに水洗パーミキュライトを圧密充填し、滅菌した種子各 1 粒を播種した。PP 接種では、播種後、根粒菌懸濁液 ( $10^8$  細胞  $\text{mL}^{-1}$ ) を各 1 mL 添加した。PP 無接種では、根粒菌が感染しないように根粒菌を接種した植物とは別のガラス室で苗を育成した。2001 年 6 月 11 日に、播種 10 日目の、初生葉展開苗を試験圃場に移植した。

### (4) 試料の採取と分析

9 月 27 日に試料を採取したが、生育ステージは処理により黄葉期 (R7: Fehr ら<sup>8)</sup> の区分による) から成熟期 (R8) と幅があった。また、無接種直播栽培されていた同一区画内のエンレイ (無接種直播) を参考のために採取した。収穫した植物から屑粒を除く子実を採取し、通風乾燥後、子実数、子実乾物重および子実窒素濃度を測定した。

## 3. 結果および考察

### 1) 実験 1-1: 土壌中での根粒菌数の変化

図 1 に、パーミキュライトおよび新潟県内 4 地点の土壌に接種した GUS 標識根粒菌数の変化を示す。どの土壌でも接種後 1 週間で 10 倍以上に菌密度が増加した。特に、これまで頻りにダイズが栽培され土着根粒菌密度の高い長倉、中沢土壌において接種根粒菌密度がそれぞれ 50 倍と 70 倍に増加し、増殖率は他の 3 土壌より有意に ( $p <$

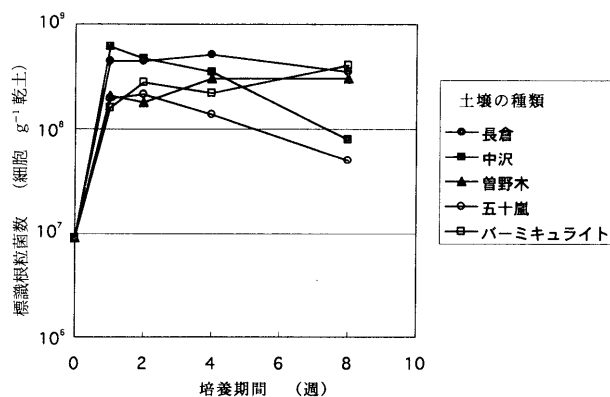


図 1 各種土壌に接種した GUS 標識根粒菌密度の変化

0.001) 高かった。中沢および五十嵐土壌では培養2週目から菌数の低下傾向を示したが、バーミキュライト、長倉土壌、曾野木土壌では、培養8週目まで菌数の減少は認められなかった。

本結果からは、どの土壌を育苗土に用いても育苗中および移植後にペーパーポット内で接種根粒菌の増殖が期待され、土壌による差は少ないと判断された。

## 2) 実験1-2：バーミキュライト栽培ダイズの根、根圏、非根圏における根粒菌数の変化

図2にバーミキュライト栽培ダイズの根、根圏土壌、非根圏土壌の根粒菌密度の経時変化を示す。根圏土壌と非根圏土壌の根粒菌密度の初期における増加は同様であったが、根圏土壌では4週目以降には減少する傾向が見られた。根の菌密度の増加は緩やかであった。

実験1の結果から、ダイズ育苗中にペーパーポット育苗土内で接種菌密度が増加し、接種効果を高めうることが確認された。また、バーミキュライトでは、根圏と非根圏における接種根粒菌の増殖に大きな違いは見られなかった。よって、圃場実験においては、育苗土に含まれる土着根粒菌や病原菌などの土壌微生物ならびに土壌からの窒素供給の影響を考慮する必要のないバーミキュライトをペーパーポット用育苗土として用いることとした。

## 3) 実験2：圃場試験

### (1) 収穫時におけるダイズの外観

写真1に、収穫したダイズの外観を示す。窒素深層施肥無施用区(写真1最下段)のPP無接種ダイズ(左)は、分枝がほとんどなく、主茎のみであった。また、葉が全て落ちて莢が茶色を呈し、成熟期(R8)に達していた。PP無接種ダイズでは、窒素不足のため成熟が早かったと考えられる。同じ1ha圃場内の試験区外で栽培されていた無接種直播ダイズ(写真1右)も分枝が少なく生育が貧弱であった。PP無接種および無接種直播ダイズの根に根粒は全く観察されなかった。

窒素深層施肥無施用区でも種子接種とPP接種では、根粒着生による明らかな生育促進効果が見られ、分枝への莢

の着生数が増加した。

尿素区(写真1下から2段目)は、無窒素区よりも生育が良好となった。被覆尿素区(写真1上から2段目)と石灰窒素区(写真1最上段)ではさらに旺盛な生育を示し、多数の分枝と莢の着生が認められた。石灰窒素区では、根粒菌接種方法によらず、緑色の葉がもっとも多く残っており、深層施用した石灰窒素からの窒素の持続的供給が葉の寿命と光合成活性の維持に貢献したと考えられる。これまで被覆尿素的深層施肥でも対照区に比べて葉の寿命と光合成活性が長期に維持され、生育最終段階における窒素と炭素の種子への集積が促進されることが示唆されている<sup>9)</sup>。本試験における観察結果から石灰窒素深層施肥による葉の寿命を延ばす効果は、被覆尿素深層施肥を上回る可能性が示唆された。

### (2) ダイズの子実収量と窒素含有率

表1に山北圃場の深層施肥栽培試験における株あたり子実重、子実数、100粒重、子実窒素含有率を示す。

株あたりの子実乾物重については、無施用区のPP無接種で、約9g株<sup>-1</sup>と最も低い値を示した。無施用区でも根粒菌を接種した種子接種とPP接種では、約22g株<sup>-1</sup>とポット無接種苗移植に比べ2倍以上( $p < 0.05$ )の子実収量が得られた。本圃場は山土を上乘客土した転換畑であり、根粒菌を接種しなかった株では根粒の形成が認められなかったことから、客土における土着ダイズ根粒菌密度は非常に低かったと考えられる。本圃場の3カ所の表土の根粒菌密度を最確値法(MPN法)で測定した場合にもダイズ根粒菌はどの希釈段階でも検出されなかった。したがって、根粒菌を接種した種子接種およびPP接種と無接種の子実収量の差は、根粒形成により窒素が供給された結果であると判断できる。

本圃場と同様に土着根粒菌が生息していない八郎潟干拓地におけるダイズ初作栽培では、市販の根粒菌粉衣剤の種子接種(ダイズ種子あたり接種菌数 $10^4$ 細胞)では根粒形成が認められず、ダイズ畑土壌の覆土(1株あたり10g)または高濃度の根粒菌懸濁液(ダイズ種子あたり接種菌数 $10^6$ 細胞)を接種することで根粒形成が認められている<sup>10)</sup>。八郎潟の報告とは異なり、本実験では種子接種でも良好な根粒形成が観察され、PP接種と同等の子実収量が得られた。このことは、種子接種した根粒菌密度が比較的高かったことと、種子接種後バーミキュライトで育苗した苗を移植したため、播種10日目の移植時にはすでに根粒が形成されていたことによると思われる。

子実収量は、尿素区で32~37g株<sup>-1</sup>、被覆尿素区で40~44g株<sup>-1</sup>、石灰窒素深層施肥区で38~47g株<sup>-1</sup>であった。このことから、石灰窒素の深層施肥により被覆尿素的の深層施用と同等のダイズの子実増収効果が得られることが示唆された。

どの窒素施肥区でも平均値で見るとPP無接種に比べてPP接種および種子接種が高い収量が得られたが、有意差( $p < 0.05$ )は、深層施肥無施用区でのみ認められた。

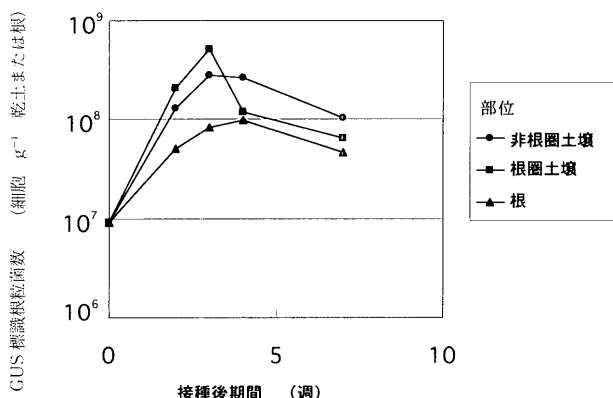
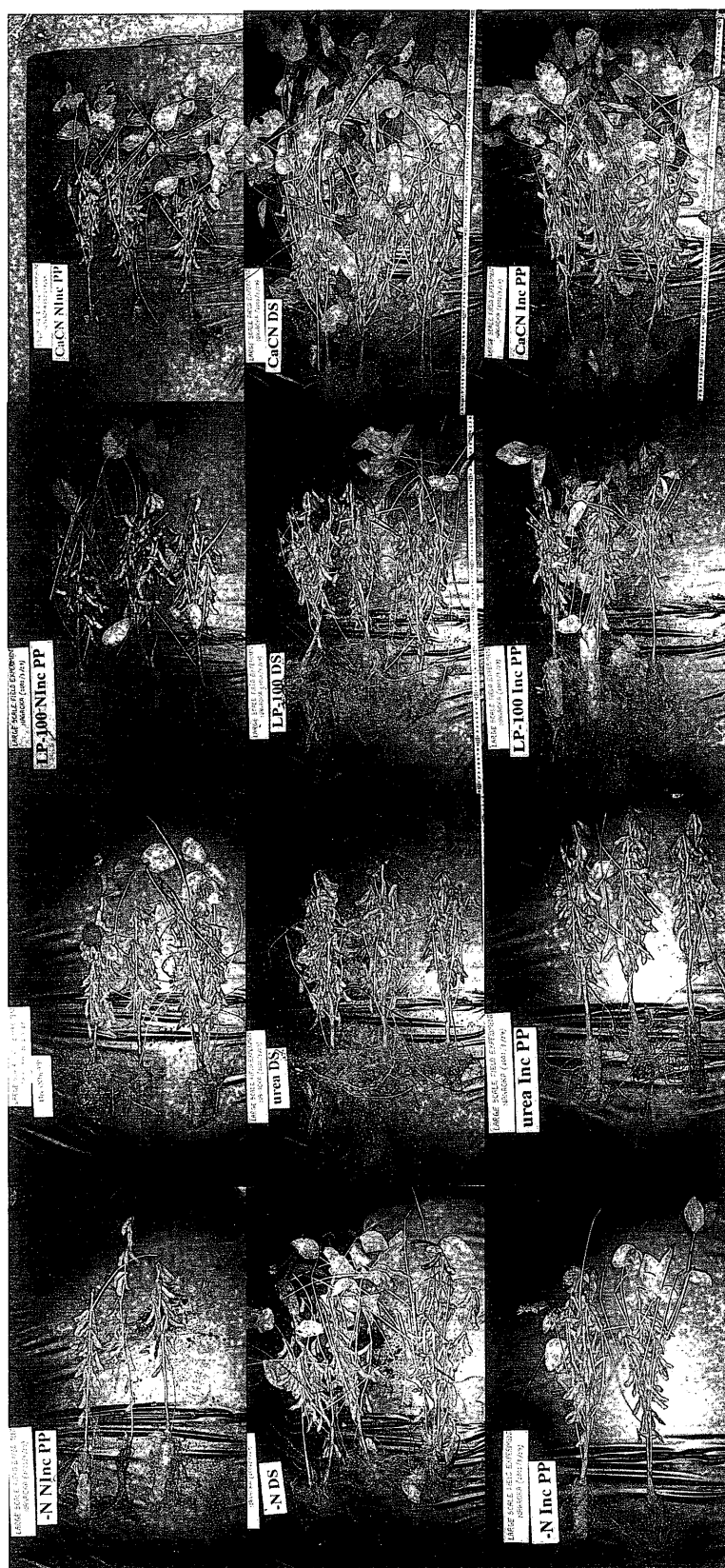


図2 ダイズ植物バーミキュライト栽培非根圏土壌、根圏土壌、および根における接種GUS標識菌密度の変化

窒素深層施肥  
被覆尿素  
石灰窒素

無施用

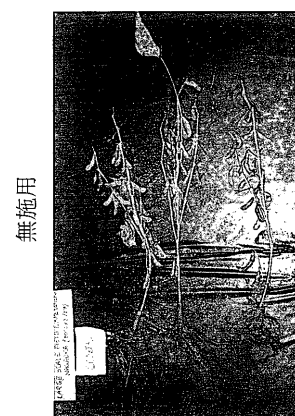


PP 無接種

種子接種

PP 接種

根粒菌接種栽培方法



無施用

無接種直播

写真 1 窒素肥料の深層施肥と根粒菌接種栽培方法が客土転換畑初作ダイズの生育に及ぼす影響

表1 ダイズ株あたり子実重, 子実数, 100粒重と窒素含有率に及ぼす窒素肥料深層施肥と根粒菌接種方法の影響

深層施肥窒素形態	根粒菌接種栽培方法*	子実重 (g 株 <sup>-1</sup> )	子実数 (個 株 <sup>-1</sup> )	100粒重 (g)	子実窒素含有率 (mg N g <sup>-1</sup> )
無施用	PP 無接種	8.7 (0.8)	43 (4)	20.1 (0.3)	44.5 (1.5)
	種子接種	21.6 (4.2)	101 (19)	21.3 (0.2)	43.3 (2.3)
	PP 接種	22.3 (4.1)	99 (26)	23.4 (1.9)	45.1 (2.1)
尿素	PP 無接種	31.8 (7.0)	145 (33)	22.1 (0.3)	45.3 (1.7)
	種子接種	37.3 (5.9)	177 (20)	20.8 (0.9)	43.6 (0.6)
	PP 接種	32.2 (5.1)	152 (20)	21.1 (0.9)	46.0 (1.0)
被覆尿素	PP 無接種	39.8 (8.9)	184 (35)	21.3 (0.8)	46.3 (2.0)
	種子接種	44.1 (4.2)	194 (12)	22.7 (0.9)	46.8 (1.2)
	PP 接種	44.4 (4.7)	189 (29)	24.1 (3.1)	48.1 (1.6)
石灰窒素	PP 無接種	37.8 (6.0)	160 (20)	23.4 (0.9)	46.5 (0.8)
	種子接種	39.5 (2.0)	179 (8)	22.1 (0.4)	47.5 (1.9)
	PP 接種	46.5 (2.4)	202 (12)	23.1 (0.2)	51.9 (1.2)
無施用	無接種直播	11.5 (1.4)	57 (6)	20.7 (3.9)	39.1 (0.5)

\* PP 無接種：ペーパーポット根粒菌無接種苗移植, 種子接種：種子接種苗移植, PP 接種：ペーパーポット根粒菌接種苗移植。

数値は平均値, ( ) は標準誤差  $n=3$  を示す。

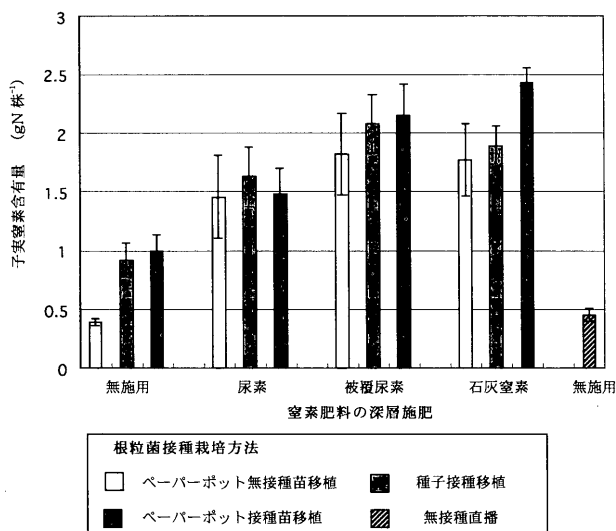


図3 窒素深層施肥, 根粒菌接種方法がダイズの株あたり子実窒素含有量に及ぼす影響  
平均値と標準誤差を示す ( $n=3$ )。

子実数と100粒重を比べると, 施肥処理および根粒菌接種方法による違いは子実数の方が大きく, 子実収量の差にも反映した。株あたり子実数は無施用区 PP 無接種で43個と最も少なく, 無施用区の種子接種とPP接種で99~101個, 尿素区で145~177個, 被覆尿素区で184~194個, 石灰窒素区で160~202個であった。窒素含有率は, 窒素深層施肥区, 接種方法にかかわらず, 処理間に有意差 ( $p<0.05$ ) は認められなかった。

同一圃場内で栽培されていた根粒菌無接種直播ダイズは, 子実収量, 子実数, 100粒重ともに, 深層施肥無施用 PP 無接種よりやや高いかほぼ同様な傾向を示したが窒素含有率は有意に低かった。

図3に窒素深層施肥と根粒菌接種方法の違いによる株あたり子実窒素含有量を示した。無施用区 PP 無接種では, 子実窒素含有量はもっとも低く  $0.39 \text{ g 株}^{-1}$  であった。同一圃場内の無接種直播ダイズも  $0.45 \text{ g 株}^{-1}$  とほぼ同様であった。窒素深層施肥無施用でも根粒菌を接種した区では子実窒素含有量は約  $1 \text{ g 株}^{-1}$  と倍以上に有意 ( $p<0.05$ ) に増加した。根粒菌接種による窒素の増加分は主に根粒の窒素固定に由来したと考えられる。尿素有深層施肥することにより株あたり子実窒素含有量は約  $1.5 \text{ g 株}^{-1}$  に増加し, さらに被覆尿素, 石灰窒素の深層施用で約  $2 \text{ g 株}^{-1}$  にまで増加した。また, 石灰窒素区では, PP 接種で PP 無接種よりも窒素含有量が高かった。

以上の結果は, 石灰窒素の深層施肥が被覆尿素的深層施肥と同等の窒素同化量の増加をもたらし, その結果深層施肥無施用の慣行栽培よりも子実の増収をもたらす可能性を示唆している。2001年, 本実験と同様の窒素深層施肥ならびに根粒菌接種方法で, 長岡市の新潟県農業総合研究所の長倉圃場における転換畑で行った実験でも同様の結果が示され, 石灰窒素と被覆尿素的深層施肥で慣行栽培に比べて49~85%の収量増が認められ, 両窒素処理区においてPP接種苗移植栽培でもっとも高い収量が得られた<sup>11)</sup>。

石灰窒素は, 土壌中で, シアミド, 尿素を経てアンモニアに変化するが, 分解過程で生成するジアンジアミドには硝酸化抑制作用がある。硝酸はアニオンとして土壌中を移動しやすく, かつ, ダイズにおける根粒形成と窒素固定はともに培地中の硝酸により可逆的にかつ強く抑制される<sup>12)</sup>。石灰窒素の深層施用により, 無施用の対照区や尿素区よりもダイズの株あたり子実窒素同化量を増加させたことは, 石灰窒素の硝化抑制作用により根粒肥大と窒素固定活性が抑制されなかったためと予想される。また, 石灰窒素には, 発芽, 発根の阻害作用があるが, 深層施肥によ

りこれらの害作用が回避されたと思われる。

これまで、石田らは不耕起栽培ダイズにおける石灰窒素の表面施用 ( $10 \text{ g N m}^{-2}$ ) により約 20% の子実増収効果を報告している<sup>13)</sup>。斎藤らは、連作ダイズ圃場において石灰窒素 ( $7.5 \text{ g N m}^{-2}$ ) の施用がネグサレセンチュウによる連作障害を回避し、子実重を増加させることを認めた<sup>14)</sup>。さらに河野らは、乾燥豚ふんと石灰窒素の併用が、ダイズ (品種、納豆小粒) の増収に効果的であることを報告している<sup>15)</sup>。これらの報告は、表層施肥または作土層への混和であり本試験の深層施肥とは、施肥窒素の挙動および根粒への影響などの点で異なる。本報告により、石灰窒素 ( $10 \text{ g N m}^{-2}$ ) の深層施肥によるダイズ増収の可能性が示されたが、今後、実用技術として確立するには、石灰窒素の施用位置や量の検討が必要である。さらに有機物や熔リン等、他の肥料や土壌改良資材との併用などについても検討を加える必要があろう。

ダイズは、播種時の天候や鳥害などにより、発芽や出芽が不揃いになりやすく、後の生育や子実収量にも大きな影響を与える。近年、野菜栽培等において、セル苗移植やペーパーポット苗移植が行われており、移植栽培により均一で安定した初期生育の確保ができる利点がある。ダイズにおいても黒大豆やエダマメで一部に移植栽培が行われている。松本・吉川はセル苗移植を基本とする黒大豆の大規模省力機械化体系のセル育苗土にアーバスキュラー菌根菌資材を混和し、菌根菌の安定的な感染に成功するとともに、収量を 10% 程度増加させることを報告している<sup>16)</sup>。本研究で用いたペーパーポット移植よりも機械化に対応しやすく、根の発育を制限しにくいセル苗移植を用い、播種時に根粒菌や菌根菌を接種することにより、接種根粒菌や菌根菌の定着を促進し、窒素やリン栄養の改善につながることを期待される。移植栽培では、準備する苗の必要数から、現行の栽培密度 ( $10 \sim 20 \text{ 株 m}^{-2}$  程度) より大幅な粗植栽培が望ましい。ダイズは環境適応能力が高く、 $2 \text{ 株 m}^{-2}$  程度の粗植栽培でも、条件が良ければ、分枝を著しく発達させ、現行栽培密度と同程度の莢数を確保できた<sup>17)</sup>。根粒菌 (菌根菌の同時接種も可能) 接種移植苗栽培と緩効性窒素肥料の深層施肥を組み合わせた機械化体系の確立により、これまで困難であったダイズの安定栽培と稲なみの収量の確保が可能になると期待される。

#### 4. 要 約

GUS 標識根粒菌を用い、パーミキュライトを含む 5 種類の土壌に接種した根粒菌の増殖を調べたところ、どの土壌でも接種 1 週間後に根粒菌密度は 10 倍以上に増加した。そこで、尿素、被覆尿素、石灰窒素の深層施肥区にパーミキュライトを充填したペーパーポットに播種と同時に根粒菌を接種し初生葉展開時に移植する方法、種子接種苗移植またはペーパーポット無接種苗を移植する方法で栽培を行った。

土着根粒菌が定着していない建設残土を上乗せ客土した

新潟県内の大規模水田転換畑初作圃場内で窒素肥料の深層施肥試験を行った。施肥は、標準施肥 ( $1.6 \text{ g N m}^{-2}$ ) に加え、尿素、100 日タイプの被覆尿素、または石灰窒素 ( $10 \text{ g N m}^{-2}$ ) を移植直下深さ 20 cm の位置に深層施肥し、ダイズの子実収量と窒素含有量に対する施肥と根粒菌接種の効果調べた。

根粒菌無接種ペーパーポット苗移植では根粒の着生が認められず、窒素深層施肥無施用区の子実収量は約  $9 \text{ g 株}^{-1}$  ともっとも低かった。無施用区のペーパーポット接種苗移植、種子接種苗移植ともに子実収量は約  $22 \text{ g 株}^{-1}$  となり、根粒菌接種で有意に高まった。

葉の寿命は石灰窒素区でもっとも長かった。また、株あたり子実収量は、尿素区  $32 \sim 37 \text{ g}$ 、被覆尿素区  $40 \sim 44 \text{ g}$ 、石灰窒素区  $38 \sim 48 \text{ g}$  と深層施肥により増加した。

以上の結果から、根粒菌を接種した苗を移植栽培することにより、根粒菌のいない転換畑の初年作でも根粒形成と窒素固定の寄与が期待できること、および、石灰窒素の深層施肥はダイズの生育および収量の増加に被覆尿素と同等の効果があることが示唆された。

**謝 辞** 本研究を実施するにあたり肥料を提供いただいた日本石灰窒素工業会とチッソ旭肥料株式会社に感謝いたします。

#### 文 献

- 1) 星 忍: ダイズの窒素固定と生育・収量, 根粒の窒素固定, 日本土壤肥料学会編, p.5~33, 博友社, 東京 (1982)
- 2) 高橋能彦・池主俊昭・中野富夫・大山卓爾: 緩効性窒素肥料 (被覆尿素) の深層施肥によるダイズ安定多収技術の植物栄養学的解析, 農と園, **68**, 282~288 (1993)
- 3) 高橋能彦: 肥効調節型肥料による施肥技術の新展開 3. ダイズの深層施肥技術, 土肥誌, **66**, 277~285 (1995)
- 4) Takahashi, Y., Chinushi, T., Nagumo, Y., Nakano, T. and Ohyama, T.: Yield components of soybean plant with deep placement of N fertilizer, related to high productivity. 新潟農試研報, **40**, 7~15 (1994)
- 5) Takahashi, Y., Chinushi, T., Nagumo, Y., Nakano, T. and Ohyama, T.: Effect of deep placement of controlled release nitrogen fertilizer (coated urea) on growth, yield, and nitrogen fixation of soybean plants. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **37**, 223~231 (1991)
- 6) Takahashi, Y., Chinushi, T., Nakano, T. and Ohyama, T.: Evaluation of  $\text{N}_2$  fixation and N absorption activity by relative ureide method in field-grown soybean plants with deep placement of coated urea. *ibid.*, **38**, 699~708 (1992)
- 7) 皆川律子・磯田香保理・大竹憲邦・山田真也・五十嵐太郎・南沢 究・大山卓爾: GUS 代謝産物のフェノール抽出による土壌中の *gus* 導入根粒菌数の推定, 土肥誌, **68**, 148~155 (1997)
- 8) Fehr, W. R., Caviness, C. E., Burmood, D. T. and Pennington, J. S.: Stage development description for soybean *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.*, **11**, 929~931 (1971)
- 9) 高橋能彦: 水田転換畑におけるダイズに対する深層施肥法の開発と安定多収効果の解析, 新潟農試研報, **41**,

- 53~104 (1996)
- 10) 三浦昌司・三浦日出夫：八郎潟干拓地の初作ダイズに対する根粒着生法，土肥誌，**52**，322~328 (1981)
  - 11) Tewari, K., Suganuma, T., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y. and Ohshima, T.: Effect of deep placement of urea, coated urea, and calcium cyanamide on soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seed yield in relation to different inoculation. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **48**, 855~863 (2002)
  - 12) Fujikake, H., Yashima, H., Sato, T., Ohtake, N., Sueyoshi, K. and Ohshima, T.: Rapid and reversible nitrate inhibition of nodule growth and  $N_2$  fixation activity in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *ibid.*, **48**, 211~217 (2002)
  - 13) 石田喜久男・川中弘二・氏平洋二：大豆の不耕起栽培における石灰窒素の施用効果，農及園，**57**，701~702 (1982)
  - 14) 斎藤雅典・金野隆光・石井和夫：石灰窒素による大豆連作障害の軽減，東北農業研究，**33**，105~106 (1983)
  - 15) 河野 隆・伏谷勇次郎・上田康郎・酒井 一：極小粒ダイズ「納豆大豆」の増収栽培法について，茨城農試研報，**30**，25~31 (1990)
  - 16) 松本静治・吉川正巳：黒大豆のセル苗移植栽培におけるアーバスキュラー菌根菌の接種効果，土肥誌，**72**，96~99 (2001)
  - 17) Suganuma, T., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K. and Ohshima, T.: Comparison of the growth and nitrogen fixation activity of the hypernodulation soybean mutant NOD 1-3 and its parent cv. Williams in field cultivation. *Bull. Fac. Agric. Niigata Univ.*, **53**, 123~132 (2001)

### Effect of Deep Placement of Slow Release Nitrogen Fertilizers and Inoculation of Bradyrhizobia on the First Cropping of Soybean in the Field Dressed with Mountain Soil

Kaushal Tewari, Ritsuko Minagawa, Taketo Suganuma, Hiroyuki Fujikake,  
Norikuni Ohtake\*, Kuni Sueyoshi\*, Yoshihiko Takahashi\*\*, Toru Tsuchida\*\* and Takuji Ohshima\*  
(*Grad. Sch. Sci. Technol., Niigata Univ.*, \* *Fac. Agric., Niigata Univ.*,  
\*\* *Crop Res. Cent., Niigata Agric. Res. Inst.*)

Population of GUS marked bradyrhizobia inoculated in five different soils including calcined vermiculite increased over 10 times in a week. Each soybean seed was planted in a paper pot filled with vermiculite inoculated with or without bradyrhizobia, and the 10-d-old seedlings were transplanted with a paper pot to the first cropping reclaimed field in Niigata. In addition to the conventional fertilization ( $1.6 \text{ g N m}^{-2}$ ), deep placement of urea, 100 d type coated urea, or calcium cyanamide ( $10 \text{ g N m}^{-2}$ ) was applied. In conventional fertilization the soybean plants transplanted with non-inoculated paper pot did not nodulate due to the absence of indigenous bradyrhizobia, and the seed dry weight was lowest, about  $9 \text{ g plant}^{-1}$ . Seed dry weight of the plants either with paper pot inoculation or seed inoculation was higher, about  $22 \text{ g plant}^{-1}$ . Soybean plants with deep placement of calcium cyanamide exhibited prolonged leaf activity. With deep placement of urea, coated urea and calcium cyanamide, seed dry weight increased to 32-37, 40-44 and 38-47  $\text{g plant}^{-1}$  respectively. The highest average seed yield was obtained in the inoculated paper pot transplantation with calcium cyanamide.

**Key words** bradyrhizobium, calcium cyanamide, coated urea, paperpot, soybean

(*Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, **74**, 183-189, 2003)