

## シグモイド型被覆尿素側条施肥によるダイズの増収効果

高橋能彦\*・土田 徹\*・大竹憲邦\*\*・大山卓爾\*\*

キーワード ダイズ, 被覆尿素, 窒素固定

## 1. はじめに

著者らは水田転作ダイズに対する被覆尿素的深層施肥技術を開発し、その増収効果を確認した<sup>12)</sup>。これはリニア型溶出パターンを有する被覆尿素有播種位置の直下 20 cm に条施用するものである。このことで根粒が直接肥料由来の硝酸に接触せず、根粒の高い窒素固定能力を維持させながら肥料窒素を効率よく吸収させることで安定的な増収が可能となった。その後、施肥直後は窒素溶出が制限され、一定期間経過後に溶出が開始されるいわゆるシグモイド型溶出パターンを持つ被覆尿素が開発され、ダイズへの追肥効果が報告されつつある<sup>13)</sup>。

本報告は根粒による窒素固定に依存し、かつ生育後半に多量の窒素を必要とするという、ダイズの窒素栄養の特性を把握した上でシグモイド型被覆尿素（以下：CUS）を利用した側条施肥による増収技術を提案するものである。

## 2. 試験研究方法

## 1) 窒素固定依存率

1990年から1993年の4年間、新潟県農業総合研究所の転換畑圃場でダイズ「エンレイ」に基肥速効性窒素（硫酸 N 62.5%、燐安 N 37.5%） $1.6 \text{ g N m}^{-2}$ を全層施用し、各生育ステージにおける窒素固定依存率の変動を解析した。窒素固定依存率は、導管液の窒素組成分析で評価する相対ウレイド法を適用した<sup>8,12)</sup>。また、1994年には基肥窒素量（硫酸 N 62.5%、燐安 N 37.5%の割合）を慣行の $1.6 \text{ g N m}^{-2}$ とし、これに硫酸を増施して2, 3, 4倍とした試験区を加えて、各生育ステージにおける硝酸吸収と窒素固定依存率の関係を解析した。2001年のCUSの施用試験においても相対ウレイド法で窒素固定依存率を評価した。1994年までの導管液分析は発色法<sup>10)</sup>、2001年の試料はキャピラリー電気泳動法で硝酸、アラントイン、アラントイン酸、アスパラギンの分析を行い<sup>9)</sup>、総アミノ酸-Nはアスパラギン-Nの2倍値とした。

## 2) 肥料の選定と溶出パターンの検証

全農にいがたに委託し、肥料溶出推定ソフト「施肥名人（全農）」で各種CUSの溶出パターンを予測した。予測に

は1999年に新潟県農業総合研究所長倉圃場で得た5 cm 深地温データを利用した。その結果、生育後半に溶出が開始される被覆尿素として基肥用にはCUS120、追肥用にはCUS60を選定した。なお、CUS末尾の数字は施肥後に温度25°C、水蒸気圧飽和条件で含有窒素成分の80%が溶出する日数を意味する。

2001年の栽培期間、施肥部位の地温をデータロガーで1時間おきに計測し、日平均地温をHara<sup>3)</sup>の提案するリチャーズ式を基にした推定式に当てはめて本試験における肥料からの窒素溶出パターンをシミュレートした。

## 3) 栽培方法

2001年に新潟県農業総合研究所の畑転換初年目の5 a 圃場で栽培試験を実施した。前年秋に深さ30 cmの周囲明渠、当年春に3 m間隔の弾丸暗渠を施工した。土壌は春先の調査では細粒グライ土であったが、収穫後はグライ層の出現深が低下し灰色低地土に区分された。耕起前に消石灰を $100 \text{ g m}^{-2}$ 施用し、酸度矯正を実施した。

5月30日に北陸地域における主要ダイズ品種「エンレイ」を9粒 $\text{m}^{-2}$ （75 cm×15 cm）の密度で播種した。

施肥試験は以下の3処理を3反復（1区：5 m×3 m）乱塊法で行った。①慣行区：大豆用配合肥料 $1.6 \text{ g N m}^{-2}$ を播種と同時に条脇5 cm、深さ3 cmに溝施用して覆土した。②CUS120区：慣行施肥に加え、CUS120の $6 \text{ g N m}^{-2}$ を基肥で条施用した。③CUS60区：慣行施肥に加え、7月11日の第2回培土時にCUS60の $6 \text{ g N m}^{-2}$ を基肥の反対側に条施用してから培土を実施した。病虫害の防除は生育期間内で3回実施した。

なお、生育ステージはFehr and Caviness<sup>2)</sup>の提案に従って表記する。国内で通常使用されている発育時期とは概ね以下のような関係である。開花始期：R1、最繁期（着莢始）：R3、粒肥大始：R5、粒肥大盛：R6、粒肥大終：R6.5、黄葉期（成熟始）：R7。

## 4) 肥料利用率と生育・収量の調査

<sup>15</sup>N標識のCUS120、CUS60が製造されていなかったため入手可能な<sup>15</sup>N標識のCUS100を施用し、CUSの利用率を評価した。ただし、<sup>15</sup>N-CUS100の溶出開始が5月30日施用のCUS120と7月11日施用のCUS60と同じになるよう、肥料溶出推定ソフト「施肥名人（全農）」で溶出をシミュレートし、6月19日に施用した。処理ダイズはR7に抜き取り、吸収<sup>15</sup>N量を発光分光法で分析した。

生育後半の葉色の推移を葉緑素計SPAD502で測定し

\* 新潟県農業総合研究所作物研究センター（940-0826 長岡市長倉町857）

\*\* 新潟大学農学部（950-2181 新潟市五十嵐2-8050）

2002年6月13日受付・2002年7月31日受理

日本土壤肥料学雑誌 第74巻 第1号 p.55~60 (2003)

た。慣行区が R7 になった 9 月 28 日に、各プロットで生育中庸な 7 株のうち平均株重に近い 3 株を抽出し、70°C で乾燥・粉砕後にケルダール分解して乾物当たり窒素含有率および面積当たり窒素集積量を分析した。収量は各処理区で生育中庸な 10 株を採取し、平均株重に近い 6 株を抽出し定法で調査した。

子実成分として粗タンパク質はケルダール法、遊離全糖はアントロン硫酸法<sup>11)</sup>で分析した。

5) 現地実証

研究所内圃場の試験と並行して、2001 年に南蒲原郡米町の農家圃場（細粒灰色低地土，東和統）で 5 月 26 日に「エンレイ」を 10 粒 m<sup>-2</sup> の密度で播種した。基肥 1.6 g N m<sup>-2</sup> 全層施肥の慣行区に対し、同様の基肥に加えて CUS 60 を第 2 回目の培土時（7 月 9 日）に 8.0 g N m<sup>-2</sup> 追肥する処理区を設定した。それぞれ 30 a 規模であり、追肥以外の管理は同様である。なお、追肥は施肥機能付きの乗用管理機を使用し培土と同時に実施した。

3. 結果と考察

1) ダイズの窒素固定特性

ダイズは播種後 17~21 日頃から根粒の着生が観察され、

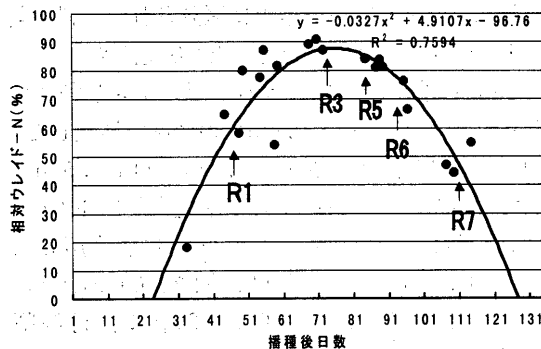


図 1 窒素固定依存率の推移

1990~1993 年、新潟農総研圃場でエンレイを慣行栽培。相対ウレイド-N(導管液) = ウレイド-N / (ウレイド-N + アミノ酸-N + 硝酸-N) × 100。

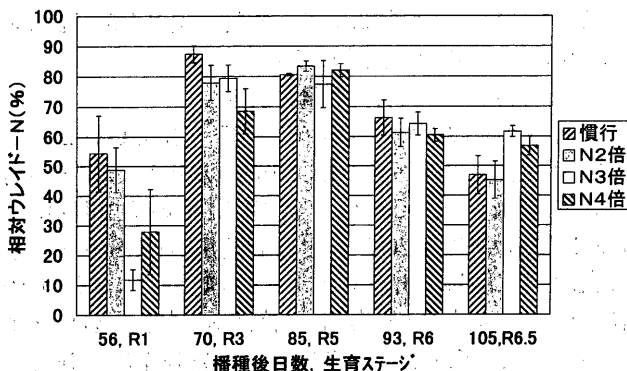


図 2 基肥窒素増施と窒素固定依存率の関係 1994 年基肥 N 増施試験 (慣行: 1.6 g N m<sup>-2</sup>)。

開花期 R1 から最繁期 R3 にかけて活性が最高になり生育後半では低下することが知られている<sup>9)</sup>。当研究所内の転換畑圃場で慣行栽培したエンレイは栽培年次にかかわらず 6 月 1 日前後の標準播種期では R1 (播種後 50 日後) 頃から窒素固定依存率が 60% を越え、R3 頃にピークとなっていた (図 1)。また、2 次回帰式から推定される窒素固定活性の開始時期も播種後 23 日であり、従来の報告<sup>9)</sup>と同様であった。

1994 年に実施した基肥窒素増施試験では、開花期 R1 と最繁期 R3 では肥料窒素を増施した処理区で明らかに窒素固定依存率が低下する傾向が認められたが、生育後半にその傾向は認められなくなり R6.5 では肥料窒素を増施した処理区で窒素固定依存率が高くなった (図 2)。基肥の速効性肥料は生育後半には吸収しつくされるか流亡するため、生育後半には施肥処理区と窒素固定の関係は明確に論じられないが、基肥窒素量の増加と窒素固定反応との関係には一定の傾向が認められた。

本試験において、生育ステージ別に見た硝酸吸収と窒素固定活性との関係を導管液中のウレイド-N と硝酸-N の関係として図 3 に示す。最繁期 R3 では硝酸吸収と窒素固定は負の関係を示した。しかし、R5 と R6 ではその関係が認められず、R6.5 では見かけ上、硝酸吸収により窒素固定活性が高まる傾向があった。生育初中期では硝酸の暴露により根粒の着生や活性が強く阻害されることは広く知られている<sup>5)</sup>。しかし、本試験において最繁期以降の結実期間は、硝酸吸収が高まっても窒素固定は阻害されなかった。橋本は根粒着生条件の水耕栽培で無窒素より肥料窒素を与えた方が生育後半における窒素固定能が持続することを確認している<sup>4)</sup>。図 3 はこの現象を圃場レベルで再現したといえる。生育後半の窒素供給は葉身の光合成活性を持続させ、特に生育後半は側根や培土により発生した不定根に着生する根粒が多くなり<sup>9)</sup>、これらの根粒活性の延命に寄与したものと推察される。

2) 被覆尿素のタイプ

上記結果から側条施肥ダイズ栽培においては CUS の種類として最繁期ころから溶出が開始され、R7 (黄葉期)

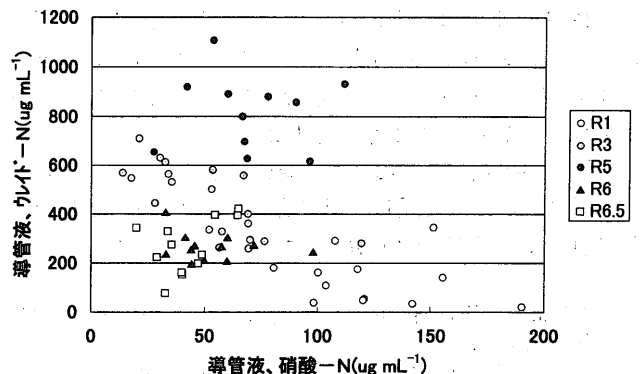


図 3 導管液中のウレイド-N と硝酸-N の関係 1994 年基肥 N 増施試験。

の播種110日後頃までにはほぼ溶出が終了するタイプが適すると判断できる。Hara<sup>3)</sup>はリチャーズ式に基づいた被覆尿素的窒素溶出パターン推定式を提案しているが、この式はシグモイド型の場合にもよく適合する。当初の施肥位置は5cm深であり、培土によって肥料位置は更に深くなり土壌水蒸気圧は飽和していると判断されるため、本試験ではHaraの提案式とそのパラメータを適用した。地温の測定値を基にシミュレートした各種被覆尿素からの窒素溶出パターンを図4に示す。同時並行的な試験であったが、当初想定したとおり基肥としてはCUS120、追肥としてはCUS60がR3頃から溶出が開始され、R7にほぼ終了し、それぞれ最適なタイプであったことを確認した。

従来から培土時にリニア型の被覆尿素CU70等を追肥する技術が提案され普及に移されている<sup>1)</sup>。著者らの試験ではダイズの初期生育が旺盛な条件でCU70の追肥効果が認められたが、初期生育が抑制されている場合は追肥効果が認められなかった<sup>12)</sup>。初期生育が劣る場合は根圏域も狭く、根粒着生部位も限定される。リニア型は施肥直後から肥料窒素の溶出が開始されるため、結果的に単位根粒への肥料由来硝酸による暴露量が増加し、窒素固定の抑制により、施肥効果が相殺されたものと思われる。

### 3) 施肥と窒素固定

施肥による窒素固定の阻害は従来から多くの報告があり、緩効性肥料でも施用直後から溶出が開始される種類では根粒活性の阻害によって安定した増収は達成できないことが多かった<sup>7)</sup>。

図5はCUS120を基肥に、あるいはCUS60を追肥として施用した場合にダイズの窒素固定依存率（相対ウレイドN）に与える影響を追跡したものである。この結果、各処理区間で窒素固定依存率の差は認められなかった。このことは図4のシミュレーションのとおり両CUSからの窒素溶出の立ち上がり方がR3以降であったために根粒活性の抑制がなかったことを示唆した。

### 4) 肥料利用率および生育・収量

基肥CUS120と追肥CUS60の窒素利用率は、<sup>15</sup>N-CUS100の6月19日追肥実験から推定した。Hara<sup>3)</sup>の提案式でシミュレーションした結果、CUS100はR3以降に溶出が開始され、CUS120、CUS60と同様の溶出パターンであった。

<sup>15</sup>N-CUS100処理ダイズの地上部をR7で採取し分析した結果、利用率は34.7%（標準偏差1.42）であった。これは著者らが過去に実施したCU70の培土期追肥の利用率

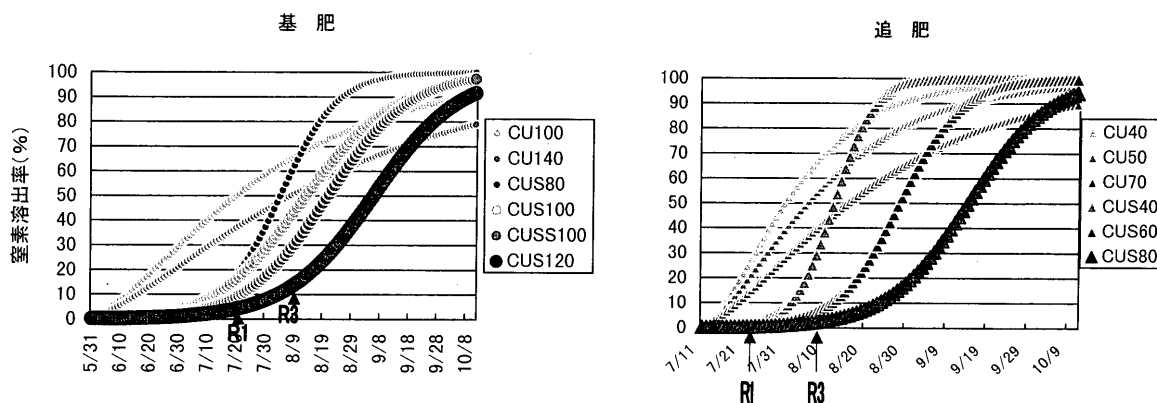


図4 2001年試験圃場における各種被覆尿素的窒素溶出パターン  
施肥位置の地温測定値をHara<sup>3)</sup>の提案式に当てはめてシミュレートした。追肥は7月11日に実施した。

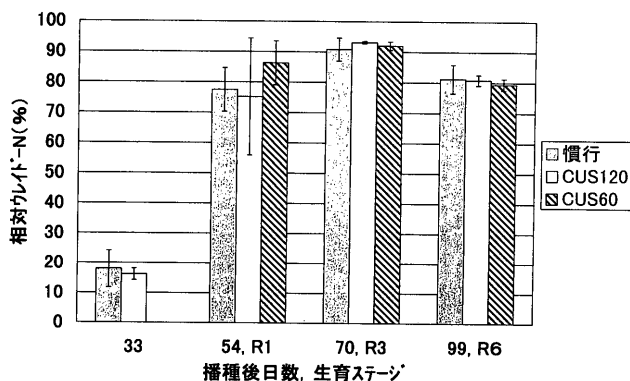


図5 各施肥区の窒素固定依存率の推移  
相対ウレイド-N(導管液) = ウレイド-N / (ウレイド-N + アミノ酸-N + 硝酸-N) × 100。縦棒は標準偏差を示す。

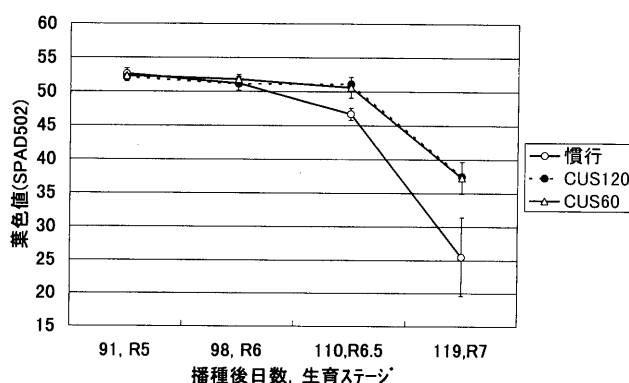


図6 生育後半の葉色の推移  
縦棒は標準偏差を示す。

表 1 黄葉期 (R7)\* の窒素含有量および窒素集積量

	葉身				葉柄				合計
	$(10^{-2} \text{ kg kg}^{-1})$				$(\text{g m}^{-2})$				
慣行	1.95±0.15	0.49±0.04	0.56±0.03	5.04±0.08	2.46±0.32	0.47±0.04	0.85±0.09	26.26±1.72	30.04±1.94
CUS120	2.33±0.29	0.61±0.08	0.67±0.09	5.26±0.11	3.80±0.73	0.73±0.20	1.30±0.38	26.81±2.88	32.64±0.32
CUS60	2.31±0.16	0.54±0.02	0.56±0.04	5.39±0.02	3.51±0.54	0.60±0.07	0.96±0.07	31.10±2.64	36.17±3.07

±標準偏差。\* 慣行区の黄葉期 9 月 28 日に採取。CUS120, CUS60 区の黄葉期は 10 月 2 日。

表 2 成熟期の形質、収量および品質

	主茎長	茎木	分枝数	総節数	莢/節	総莢数	一莢粒数*	粒数*	百粒重*	子実重*	粗タンパク質* 遊離全糖*	
	(cm)	(mm)	(本 <sup>-1</sup> )	(m <sup>-2</sup> )							(m <sup>-2</sup> )	(g)
慣行	65±2.0	9.4±1.0	4.9±0.2	442±8	1.53±0.03	679±20	1.75±0.03	1,188±18	37.1±1.1	439±16	43.1±1.2	9.12±0.22
CUS120	69±1.1	9.9±0.2	4.9±0.3	470±14	1.57±0.12	737±34	1.78±0.04	1,314±88	35.8±1.5	483±15	43.5±0.7	9.39±0.34
CUS60	66±0.4	9.9±0.6	5.6±0.6	482±43	1.65±0.06	795±77	1.79±0.05	1,422±96	36.8±0.6	521±37	43.3±0.2	9.23±0.34
現地慣行	42±3.3	8.1±0.3	4.5±0.4	413±49	—	—	—	—	33.1±1.2	370±8	41.8±1.4	7.97±0.04
現地 CUS60	46±1.4	8.7±0.2	5.0±0.5	443±11	—	—	—	—	33.2±0.3	449±13	44.9±0.3	7.67±0.27

±標準偏差。\* ぐず粒を除外。

30%と近似し、CU100の基肥深層施肥の利用率60%よりは低かった<sup>12)</sup>。リア型、シグモイド型ともに作土内に施用する場合は硝酸化成に伴い流亡する窒素が多いためと思われる。

図6は8月後半から9月後半まで、生育ステージではR5からR7にかけて、葉色の推移を追跡した結果である。R6.5の調査ではCUSを施用した両区に対して慣行区の葉色が有意に低下し、その差はR7でより大きくなった。これはCUSからの溶出窒素が生育後半の葉身活性の維持に効果があることを示し、光合成活性が持続したことを意味している。

表1に慣行区のR7である9月28日時点での各施肥区における地上部の部位別窒素含有率と面積当たり窒素集積量を示す。慣行区よりCUS施用両区で窒素含有率と窒素集積量が多い傾向があった。CUS60区では莢実の窒素含有率と窒素集積量が多く、CUS120区では栄養器官の窒素含有率と集積量が多かった。これは、CUS120からの窒素溶出がCUS60よりなだらかに持続したため、栄養器官から莢実への窒素転流がこの時点では進んでいなかったものと思われる。CUS120, CUS60両区のR7は慣行区より4日遅い10月2日であり、この時期に両区の試料採取を実施していれば莢実への窒素転流が進み、莢実の窒素含有率や集積量は更に増加したと思われる。

表2に収量および収量構成要素と品質を示す。収量は慣行区439 g m<sup>-2</sup>に対し、CUS120の基肥施用区は10%増の483 g m<sup>-2</sup>、CUS60の追肥区では19%増の521 g m<sup>-2</sup>であった。南蒲原郡栄町の現地圃場でも慣行区370 g m<sup>-2</sup>に対して、CUS60の培土期追肥区は449 g m<sup>-2</sup>と21%増収した。

CUS施用各区の増収要因は主に総節数の増加による莢数の増加であった。現地圃場では莢数等の調査は未実施であるが、現地圃場の増収も同様の要因と推定される。節数

の増加は分枝節数増加の寄与が大きい。分枝数や分枝節数はCUS施用で増加する傾向があり、CUS60区では節当たり莢数も多くなる傾向であった。すでに論じているように、CUSからの窒素溶出の開始は主にR3以降であったが、図4はR3以前でもCUSから微量の窒素が溶出することを示している。エンレイの分枝数や分枝節数はR3頃まで増加するため、R3以前に微量溶出したCUS由来の窒素も収量構成要素に影響したものと考えられる。また、著者らはリア型被覆尿素的の深層施肥の増収要因を節当たり着莢数の増加と確認し、R1あるいはR3での窒素栄養と節当たり莢数とに有意な関係を認めた<sup>12)</sup>。表2では個々の収量構成要素は必ずしも有意な差となっていないが、各要素相乗の結果、CUS施用区の子実重は慣行区に比べて有意に増加する結果となった。

相当数の莢が着生した場合、それに相当する生育後半の窒素供給がなければ個々の子実粒大は低下する。しかし、本試験の結果では研究所および現地圃場とも百粒重で各処理区間の差は認められなかった。これはシンの増加に対してソースの量も増加した結果といえる。つまり、R3以降に大半が溶出したCUS由来の窒素が生育後半に効率よく供給されて粒肥大に貢献したと結論される。

主要な子実成分として粗タンパク質と遊離全糖を分析した。研究所圃場では処理区間の差はなかったが、現地圃場ではCUS施用区の粗タンパク質含有率が有意に増加し、豆腐等の加工適性が向上した。慣行区の収量レベルが400 g m<sup>-2</sup>以上と極めて高い場合以外、CUS施用によって増収の他にタンパク質含有量の増加も期待できる。

#### 4. 要 約

1) ダイズ根粒の窒素固定依存率は最繁期(R3)を頂点とする放物線型をなした。根粒活性の硝酸に対する感受性は最繁期まで明確に認められるが、最繁期以降は植物体

としては硝酸吸収による窒素固定の阻害は認められない。したがって、最繁期以降の肥料窒素供給はダイズの窒素固定と調和する。

2) ダイズの最繁期以降に溶出が開始される窒素肥料として、施用後一定期間溶出が抑制されるシグモイド型被覆尿素を選定した。溶出タイプは基肥施用の場合はCUS120、培土期追肥ではCUS60が適当であった。

3) 慣行区に対して基肥CUS120、追肥CUS60両区とも窒素固定依存率に差は認められず、施肥による根粒の活性阻害はなかった。CUS施用両区では生育後半で葉色の退色が抑制された。

慣行区収量  $439 \text{ g m}^{-2}$  に比べて、CUS120区は10%増収、CUS60区は19%増収し、品質も低下しなかった。

4) 現地農家の実証試験でも慣行区  $370 \text{ g m}^{-2}$  に対し、CUS60の追肥は21%増の  $449 \text{ g m}^{-2}$  を得ることができ、子実の粗タンパク質含有量は増加した。

**謝辞** 現地実証試験にご協力いただいた新潟県経営普及課市川岳史専門技術員、 $^{15}\text{N}$  標識肥料を提供していただいたチッソ旭肥料(株)に厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 荒垣憲一：山形県における沖積土壌水田転換畑大豆の多収要因の解析と窒素施肥法に関する研究，山形農試特別研究報告，**16**，1～42 (1989)
- 2) Fehr, W. H. and Caviness, C. E.: Stages of soybean development. *Spec. Rep. Coop. Ext. Serv. Agric. Home Econ. Exp. Stn., Iowa State Univ.*, **80**, 1～12 (1977)
- 3) Hara, Y.: Estimation of nitrogen release from coated urea using the Richards function and investigation of the release parameters using simulation models. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **46**, 693～702 (2000)
- 4) 橋本鋼二：大豆の収量とその関連形質に及ぼす窒素栄養の意義—特に低温障害との関連において—，北海道農試研究報告，**114**，1～87 (1976)
- 5) 金山喜則：ダイズの生育における窒素固定と窒素施肥のかかわり—根粒窒素固定の硝酸態窒素による阻害のメカニズム—，農及園，**65**，1016～1022 (1990)
- 6) 日本土壤肥料学会編：根粒の窒素固定，p.5～33，博友社，東京 (1982)
- 7) Ohyama, T.: Effects of application of slowly available nitrogen fertilizers and nitrification inhibitors on soybean growth and nitrogen fixation. *Bull. Fac. Agric. Niigata Univ.*, **39**, 19～25 (1987)
- 8) 大山卓爾・高橋能彦・池主俊昭・中野富夫：単純相対ウレイド法による圃場栽培ダイズの窒素固定と窒素吸収の評価，農及園，**67**，1157～1164 (1992)
- 9) Sato, T., Yashima, H., Ohtake, T., Sueyoshi, K., Akao, S., Harper, J. E. and Ohyama, T.: Determination of leghemoglobin components and xylem sap composition by capillary electrophoresis in hypernodulation soybean mutants cultivated in the field. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **44**, 635～646 (1998)
- 10) 植物栄養実験法編集委員会編：植物栄養実験法，p.177～188，博友社，東京 (1990)
- 11) 同上，p.207～208
- 12) 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，新潟農試研究報告，**41**，51～104 (1996)
- 13) 谷 俊男・濱田千裕・池田彰弘・武井真理・落合幾美・釋 一郎：愛知県ダイズ作におけるシグモイド型被覆尿素の中耕時追肥効果，日作紀，**71** (別1)，172～173 (2002)

## Effects of the Sigmoidal Releasing-Types of Coated Urea Fertilizer on Soybean Cultivation

Yoshihiko Takahashi, Toru Tsuchida, Norikuni Ohtake\* and Takuji Ohyama\*  
(Niigata Crop Res. Cent., \*Fac. Agric., Niigata Univ.)

We analyzed the characteristics of nitrogen fixation by the root nodules of soybean plant by the relative ureide method in a field experiment from 1990 to 1994. Based on the results, we used the sigmoidal types of coated urea slow release N fertilizer in which nitrogen release starts at a one- or two-month period after application, in upland field converted from paddy field in 2001. Basal or top dressing of selected coated urea fertilizers of two types were effective in increasing soybean yields. Two kinds of the coated urea started to release N after the R3 stage, and they did not inhibit nitrogen fixation by the root nodules.

1) It was confirmed that the relative dependence on nitrogen fixation by soybean root nodules follows a hyperbolic curve with the maximum at the R3 stage. The sensitivity of the root nodules to the  $\text{NO}_3^-$  seemed to be obvious until the R3 stage, but after the R3 stage, nitrate absorption appeared to be beneficial to maintain nitrogen fixation activity through promoting photosynthetic activity. Therefore, the fertilizer nitrogen supply after the R3 stage harmonizes with the nitrogen fixation of root nodules.

2) Sigmoidal releasing-type coated urea (CUS), which starts to release fertilizer nitrogen after R3 stage, was adopted. CUS120 was suitable for basal application and CUS60 for top-dressing. To select a type, we simulated the soil temperature at fertilization depth.

3) Neither the CUS120 basal application nor the CUS60 top-dressing depressed the nitrogen fixation. In both CUS treatments, degradation of the leaf chlorophyll was restrained in the maturing stage. The seed yield in the CUS120 treatment increased by more than 10% above the control, and in the CUS60 treatment,

increased by 19% more than the control ( $439 \text{ g m}^{-2}$ ). Moreover, no decline in the seed quality was observed in either CUS treatment.

4) The top dressing of CUS60 fertilizer was applied in a farmer's field. The seed yield of CUS60 top-dressing achieved  $449 \text{ g m}^{-2}$ , or 21% over the conventional field ( $370 \text{ g m}^{-2}$ ). Still more promisingly, crude protein of seeds in the CUS60 treatment increased, compared with that for the conventional field.

*Key words* coated urea,  $\text{N}_2$  fixation, soybean

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 74, 55-60, 2003)