

排水不良転換畑における畝立栽培およびシグモイド型被覆尿素肥料施用によるダイズの窒素集積量増加とちりめんじわ粒発生率軽減効果*

南雲芳文^{1,2}・佐藤 徹¹・服部 誠¹・土田 徹^{1,2}
細川 寿³・高橋能彦^{2,4}・大山卓爾^{2,4}

キーワード 被覆尿素, 畝立栽培, ダイズ, ちりめんじわ粒, 窒素集積

1. はじめに

近年、新潟県を含む北陸地域ではしわ粒による転作ダイズの品質低下が大きな問題となっており、等級格付け低下の主要因となっている。農林水産省の農産物規格規程によると、しわ粒を含む「被害粒、未熟粒、異種穀粒及び異物の合計」の最高限度が1等15%、2等20%、3等30%となっている。ここ数年、新潟県における1等格付けは10%以下であることが多く、この格落ち理由の約8割がしわ粒に起因する(田村, 2007)。ダイズのしわ粒には亀甲じわとちりめんじわの二つのタイプがある(関口ら, 2008)が、その発生機構は十分には解明されていない。亀甲じわは主に収穫直前の乾湿による子葉と種皮の吸脱水に伴う収縮率の違い(子葉が先に収縮し種皮が後から収縮する)に起因すると考えられており、一般に収穫が遅れた場合に多発する(佐藤ら, 2008)。これに対し、ちりめんじわは小型で扁平な楕円粒が多く(市川ら, 2004)、子実肥大期の養水分ストレス、光合成や窒素固定活性の早期低下により多発することが報告されている(田淵, 2007)。このように、ちりめんじわに関しては子実肥大期のダイズ各部位の窒素濃度や葉色値と関連があることが示唆されている(井上・高橋, 2006)が、窒素栄養がちりめんじわ発生にどのようにかかわっているのか不明である。

被覆尿素的深層施肥により空中窒素固定活性を低下させず、子実肥大期の窒素集積量(窒素固定+窒素吸収)と子実収量を増加させる技術が開発された(高橋, 1996)。さ

らに、この技術がしわ粒の発生率を低下させたという報告がある(Tewari *et al.*, 2004)。しかしながら、深層施肥技術が普及するためには一般農家が深層施肥機械を購入する必要があり、技術が普及しない一因となっている。深層施肥技術と同等の効果を得る方法として、生育初期の根粒形成と窒素固定を抑制せず、開花後の窒素補給が期待されるシグモイド型被覆尿素肥料を側条施肥する方法や培土時期の追肥が提案されている(高橋ら, 2003)。また、新潟県内の排水不良な転換畑において湿害による初期生育の阻害を回避するため、耕うん同時畝立播種機(細川, 2004)による栽培が開発され普及しつつある。この畝立播種栽培により開花期までの窒素集積量や子実収量が増加したことが報告されている(Takahashi *et al.*, 2005)。

そこで、本研究では、ダイズの窒素栄養と関連が深いと推定される「ちりめんじわ」を対象に、シグモイド型被覆尿素肥料の基肥または追肥施用および畝立播種栽培がちりめんじわ粒の発生率とダイズの窒素栄養状態に及ぼす効果を調べることを目的とした。

2. 試料と方法

1) 畝立同時播種栽培試験

2006年、新潟県長岡市七日市の現地圃場(地表の排水が不良な細粒グライ土)においてダイズ(品種エンレイ)を栽培した。この試験地では、①新潟県の慣行(新潟県農林水産部, 2001)の平畝栽培による「慣行区」、②耕うん同時畝立播種機を用いる「畝立播種区」、③畝立播種を行った後、培土時にシグモイド型溶出被覆尿素肥料60日タイプ(チッソ旭肥料(株)社製LPコートS60, 尿素態窒素40%含有, 以下CUS60)を追肥する「畝立+CUS60追肥区」、④畝立播種と同時にシグモイド型溶出被覆尿素肥料120日タイプ(チッソ旭肥料(株)社製LPコートS120, 尿素態窒素40%含有, 以下CUS120)配合の大豆用全量基肥肥料を側条施用する「畝立+CUS120基肥区」を設置した。試験区は1区12条(畝間75cm)×50mの450m²で、現地圃場のため区の反復は設置できなかったが、各試験区に3箇所の調査地点を設けた。なお、畝立+CUS120基肥区以外の基肥は市販の大豆配合肥料(全農にいがた製「大豆用450」(成分%; N:4, P₂O₅:15, K₂O:

* 本研究費の一部は農林水産研究高度化事業:北陸地域に多発する大豆しわ粒の防止技術の開発により実施した。

¹ 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)

² 新潟大学大学院自然科学研究科

³ 中央農業総合研究センター・北陸研究センター(943-0193 上越市稲田1-2-1)

⁴ 新潟大学農学部(950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050)

Corresponding Author: 南雲芳文

2008年2月6日受付・2010年3月26日受理

日本土壌肥科学雑誌 第81巻 第4号 p.360~366 (2010)

20))を用い、播種前に1m²あたり80gを全層施肥した。

2) 平畝栽培試験

平畝栽培におけるシグモイド型溶出被覆尿素肥料(CUS)の施用効果を現地圃場で確認するため、2006年、長岡市内の川袋圃場(細粒グライ土)、雁島圃場(中粗粒灰色低地土)および新潟県農業総合研究所作物研究センターの長倉圃場(細粒グライ土)で施肥試験を行った。試験区は①平畝栽培による「慣行区」、②「慣行区」と同一管理で培土期にCUS60を追肥する「CUS60追肥区」、③CUS120配合の全量基肥用肥料を施用する「CUS120基肥区」を設置した。CUSの溶出タイプの選定については高橋ら(2003)の報告に従った。

七日市における畝立同時播種栽培試験および川袋、雁島、長倉における平畝栽培試験の各圃場の土壌型、耕種概要及び施肥量、施肥時期を表1、表2に示した。

3) 窒素集積量、収量及びダイズ品質調査

ダイズ生育のR1期(開花始期)、R3期(着莢始期)およびR7期(成熟始期)において各試験区内の平均的な生育を示す作物体2~5株を地際で切断し、70°Cで通風乾燥し乾物重を求めた。乾燥試料を粉碎し、ケルテックオートアナライザー1035(ティケータ社製)を用いて窒素濃度を測定し、乾物重との積を窒素集積量とした。なお、生育段階の表記についてはFehr *et al.* (1971)の方法に従った。

R8期(成熟期)に各試験区から10個体を採取し、「大豆調査基準」(農林水産技術会議事務局・農林省農事試験場, 1975)により収量を測定した。また、しわ粒の判定については、農林水産省の基準を基にしたTewari *et al.* (2007)の基準に従った。なお、亀甲じわも多少発生したが、本報告ではちりめんじわの発生率のみを検討対象とした。

4) 導管液の相対ウレイド値の測定

R1期以降、野原ら(2005)の方法に従い各区2~5株を子葉節から地上部を切断し、脱脂綿を詰めたプラスチックチューブを逆さにして、圃場に残留した切断茎にかぶせ切断後60~90分間に流出する導管液を脱脂綿にしみこませて採取した。この導管液をキャピラリー電気泳動装置(ベックマン・コールター社製P/ACE System MDQ)を用いて硝酸、アラントイン、アラントイン酸およびアスパラギンを分析(Sato *et al.*, 1998; 高橋ら, 2003)した。得られた窒素成分の濃度から下記の式に代入し、相対ウレイド割合

を算出した(高橋, 1996)。

相対ウレイド割合 =

$$\text{ウレイド N} / (\text{ウレイド N} + \text{アミド N} + \text{硝酸 N})$$

ここでのウレイドNはアラントインとアラントイン酸の合計窒素濃度($\mu\text{g-N mL}^{-1}$)を示す。また、アミドNは2×アスパラギンN($\mu\text{g-N mL}^{-1}$)とした。これはアスパラギンがダイズ導管液のアミノ酸態およびアミド態窒素総量の約50%を占めることによる(Ohtake *et al.*, 1995)。

なお本論文において地上部作物体が保有している窒素について、空中窒素から固定したものを窒素固定量、肥料および土壌から吸収したものを窒素吸収量およびこれらの合量を窒素集積量とした。また、生育時期毎の相対ウレイド割合と窒素集積量から窒素固定速度及び窒素吸収速度を計算した(高橋, 1996)。

窒素集積速度 ($\text{mg m}^{-2} \text{day}^{-1}$) =

$$(\text{サンプリング時の窒素集積量} - \text{前回のサンプリング時の窒素集積量}) / \text{前回のサンプリングからの日数}$$

窒素固定速度 ($\text{mg m}^{-2} \text{day}^{-1}$) =

$$\text{窒素集積量} \times \text{サンプリング時と前回のサンプリング時の相対ウレイド割合の平均値} / \text{前回のサンプリングからの日数}$$

窒素固定量 (g m^{-2}) =

$$\text{上記窒素固定速度を R7 期まで積算した値}$$

窒素吸収速度 ($\text{mg m}^{-2} \text{day}^{-1}$) =

$$\text{窒素集積速度} - \text{窒素固定速度}$$

なお、有意差検定は「エクセル統計2006」(株)社会情報サービス社製)を用い、フィッシャーの最小有意差法によった。

3. 結果および考察

1) 畝立同時播種栽培試験

畝立同時播種栽培試験区のダイズ生育、収量およびちりめんじわ粒発生率の結果を表3に示す。主茎長は畝立播種により有意に高くなり、畝立+CUS(追肥、基肥)施用によりさらに高まる傾向が認められた。茎太(子葉節と初生葉節の間の最大径)は畝立播種+CUS(追肥、基肥)施用により有意に増加した。総節数には有意差は認められなかったものの、畝立播種及び畝立+CUS施用により増加する傾向が見られた。総莢数は慣行区よりも畝立播種区、

表1 畝立同時播種栽培および平畝栽培試験圃場の土壌型、CECおよび可給態窒素

試験	圃場	土壌型	CEC ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	可給態窒素量 (mg kg^{-1})*			
				水田状態		畑状態	
				湿潤土 30°C 4w	湿潤土 30°C 10w	風乾土 30°C 4W	風乾土 30°C 4W
畝立同時播種栽培	七日市	細粒グライ土	20.1	38	98	243	77
平畝栽培	川袋	細粒グライ土	17.8	42	91	226	74
	雁島	中粗粒灰色低地土	17.5	56	90	272	87
	長倉	細粒グライ土	27.9	29	52	229	78

*可給態窒素量は「土壌環境分析法」(土壌環境分析法編集委員会編)により測定した。

畝立+CUS追肥区および畝立+CUS基肥区で有意差は認められないものの増加する傾向にあった。粒数は、畝立+CUS(追肥、基肥)施用により慣行区に比べて有意に増加した。百粒重は各区とも30g前後と同程度であった。R7期(黄葉期)の地上部乾物重も慣行区に対して畝立播種区は有意に増加しており、CUSを施用した区では、畝立播種区に比べ顕著に増加した。子実収量は、慣行区に比べ畝立播種区でやや増加傾向が認められ、畝立+CUS60追肥区と畝立+CUS120基肥区で有意に高まった。ちりめんじわ粒発生率は、畝立播種区で6.0%、畝立+CUS60追肥区で3.8%、畝立+CUS120基肥区で4.8%と畝立播種栽培を行ったことにより慣行区(12.2%)の半減以下に改善した。

畝立同時播種栽培試験区の地上部窒素集積量、窒素固定速度および窒素吸収速度の結果を表4に示す。導管液中の相対ウレイド割合から計算した一日当たり窒素固定速度と窒素吸収速度については、どの区でも「R1~R3」で「播種~R1」よりも3~4倍に高まった。窒素固定速度は「播種~R1」では畝立栽培で有意に高く、「R1~R3」では畝立およびCUSの施用で有意差は認められないものが高まる傾向がみられた。阿江・仁紫(1983)は地下水位の高い転換畑では土壤中の酸素分圧が低下しやすく、これにより根粒の窒素固定能が低下することを報告しており、Takahashi *et al.* (2006)は畝立栽培においてR1期のダイズ根圏は平畝栽培より浅い場所に位置しており、湿害回避に適した分布パターンであることを報告している。これらのことから、畝立播種区の「播種~R1」の窒素固定速度が高まった理由は畝立播種により酸素分圧の高い畝表面近くに根が多く分布し、湿害を回避できたためと推察される。

また、CUSの施用により「R1~R3」に窒素固定速度が低下しなかった理由は、基肥施用のCUS120および追肥のCUS60の溶出ピークはR3期以降であるためと推測される(高橋ら, 2003)。窒素吸収速度については畝立播種区では慣行区と差は認められなかったが、畝立CUS120基肥区は「播種~R1」において、畝立CUS60追肥区は「R1~R3」で有意に高かった。生育時期別の地上部窒素集積量は窒素固定速度の結果を反映しており、R1期までは畝立播種区が慣行区に比べ高かったが、CUS施肥による差は認められなかった。R3期になると慣行区と畝立播種区との地上部窒素集積量には有意差が認められなくなり、R3期以降はCUS60追肥およびCUS120基肥施用により地上部窒素集積量が有意に高まった。

以上より、七日市圃場の試験では、R1期までの畝立栽培による窒素集積の増加は、主に根圏の湿害回避効果による窒素固定の促進によると考えられる。R1期以降は、畝立てとCUSの追肥または基肥施用との組み合わせにより窒素集積量が増加し、R7期の窒素集積量は慣行区に比べそれぞれ69%、92%増加した。また、畝立CUS60追肥栽培および畝立CUS120基肥栽培のどちらも、これまで報告されている被覆尿素(高橋, 1996)および石灰窒素(Tewari *et al.*, 2007)の深層施肥と同様に窒素固定を抑制しないことが確認された。

2) 平畝栽培試験

平畝栽培を行った3圃場(川袋, 雁島, 長倉)における収穫期生育、子実収量、ちりめんじわ粒発生率および生育期の窒素集積量を表5に示す。平畝栽培試験では畝立栽培試験とは異なり、CUS追肥または基肥施用によってもいづれの圃場でも栄養生長(主茎長, 茎太, 総節数)及び生

表2 畝立同時播種栽培および平畝栽培試験区の耕種概要および窒素

施肥量試験 [圃場]	播種様式	播種日	栽植密度 (本 m ⁻²)	基肥量 (kg-N ha ⁻¹)	基肥肥料種類 (成分 % : N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	追肥量 (kg-N ha ⁻¹)	追肥肥料種類 (成分 %)	追肥日	合計 (kg-N ha ⁻¹)
畝立同時播種栽培 [七日市]		6月1日	13.3					7月4日	
慣行区	平畝機械播種			32	大豆配合 (4-15-20)	-			32
畝立播種区				32	大豆配合 (4-15-20)	-			32
畝立+CUS60追肥区	耕耘同時畝			32	大豆配合 (4-15-20)	60	CUS60 (N40%)		92
畝立+CUS120基肥区	立機械播種			16+	CUS120配合大豆用				
				60 (CUS120)	全量基肥 (19-15-16)				76
平畝栽培 [川袋]	平畝機械播種	6月2日	11.6					7月11日	
[雁島]	平畝機械播種	5月30日	10.9					7月6日	
[長倉]	人力播種	5月31日	8.9					7月11日	
慣行区				16	大豆配合 (4-15-20)	-			16
CUS60追肥区				16	大豆配合 (4-15-20)	60	CUS60 (N40%)		76
CUS120基肥区				16+	CUS120配合大豆用				76
				60 (CUS120)	全量基肥 (19-15-16)				

表3 畝立同時播種栽培試験区のダイズの生育、収量およびちりめんじわ粒発生率 (七日市圃場)

区名	主茎長 (cm)	茎太 (mm)	総節数 (個体 ⁻¹)	総莖数 (個体 ⁻¹)	粒数 (粒 m ⁻¹)	百粒重 (g)	地上部乾物重 (R7) (g m ⁻²)	子実収量 (kg ha ⁻¹)	ちりめんじわ 粒発生率 (%)
慣行区	45.6 a	6.6 a	23.3 a	44.9 a	1,170 a	29.8 a	471 a	3,490 a	12.2 a
畝立播種区	54.9 b	7.5 ab	27.4 a	51.7 a	1,280 ab	30.1 a	567 b	3,860 ab	6.0 b
畝立+CUS60追肥区	60.5 bc	7.8 b	29.1 a	54.3 a	1,380 b	30.7 a	704 c	4,230 b	3.8 b
畝立+CUS120基肥区	65.5 c	8.3 b	28.7 a	58.9 a	1,340 b	30.8 a	788 c	4,150 b	4.8 b

同一英文字を付した数値間には最小有意差法により5%水準で有意差がないことを示す。

表4 畝立同時播種栽培試験区の生育期の窒素集積量, 窒素固定速度および窒素吸収速度 (七日市圃場)

区名	地上部窒素集積量 (g m ⁻²)			窒素固定速度 (mg m ⁻² day ⁻¹)		窒素吸収速度 (mg m ⁻² day ⁻¹)	
	R1	R3	R7	播種~R1	R1~R3	播種~R1	R1~R3
慣行区	2.1 a	5.3 a	16.7 a	36.6 a	163 a	0.9 a	5.2 a
畝立播種区	3.1 b	7.9 ab	20.4 a	54.2 b	243 a	1.3 a	7.0 a
畝立+CUS60追肥区	3.0 b	9.7 b	28.3 b	52.5 b	333 a	1.4 ab	18.0 b
畝立+CUS120基肥区	3.3 b	9.1 b	32.1 b	56.5 b	295 a	2.1 b	11.1 ab

同一英文字を付した数値間には最小有意差法により5%水準で有意差がないことを示す。

表5 平畝栽培圃場におけるダイズの生育, 収量窒素集積量, 窒素固定速度, 窒素吸収速度およびちりめんじわ粒発生率 (川袋圃場, 雁島圃場, 長倉圃場)

圃場	区名	主茎長 (cm)	乾物重 (g m ⁻²)	子実収量 (kg ha ⁻¹)	地上部窒素集積量 (g m ⁻²)		窒素固定速度 (mg m ⁻² day ⁻¹)		窒素吸収速度 (mg m ⁻² day ⁻¹)		ちりめんじわ 粒発生率 (%)
					R3	R7	播種~R3	R3~R7	播種~R3	R3~R7	
川袋	慣行区	71.6 a	1,012 a	4,940 a	10.9 a	43.5 a	142 a	5.1 a	0.0 a	0.0 a	
	CUS60追肥区	68.0 a	873 a	5,240 a	13.5 a	30.0 a	172 a	10.6 b	0.0 a	0.0 a	
	CUS120基肥区	73.3 a	1,135 a	4,880 a	12.3 a	38.8 a	153 a	12.7 b	0.0 a	0.0 a	
雁島	慣行区	73.7 a	595 a	3,670 a	13.0 a	22.7 a	153 a	15.7 a	15.7 a	2.9 a	
	CUS60追肥区	77.2 a	887 a	4,290 b	12.3 a	36.4 b	134 a	26.1 a	26.1 a	1.9 a	
	CUS120基肥区	71.7 a	685 a	3,990 ab	14.0 a	22.4 a	146 a	35.2 a	35.2 a	1.0 a	
長倉	慣行区	43.8 a	436 a	2,360 a	3.9 a	14.8 a	53 a	193 a	3.4 a	30.7 a	6.5 a
	CUS60追肥区	43.7 a	699 b	2,620 a	4.2 a	24.7 b	56 a	310 b	4.5 a	108.2 b	3.7 b
	CUS120基肥区	47.8 a	673 b	2,700 a	5.7 a	23.4 b	73 a	267 b	9.8 a	93.4 b	4.0 b

同一英文字を付した数値間には最小有意差法により5%水準で圃場毎に有意差がないことを示す。

殖生長 (総莢数, 粒数, 百粒重) に関係する項目について有意な差は認められなかった。ただし, 雁島圃場においては CUS60 追肥区の子実収量が有意に増加した。

慣行区の窒素集積量と子実収量が3圃場で最も低い長倉圃場では, CUS 追肥または基肥施用により R7 期の地上部窒素集積量が有意に増加した。雁島圃場及び川袋圃場では地上部窒素集積量に有意な差は認められなかった。

3圃場の中で R7 期 (成熟始) の窒素集積量が最も高かった川袋圃場では, ちりめんじわ粒の発生がほとんど認められなかった。これに対し, 窒素集積量が最も低かった長倉圃場では慣行区のちりめんじわ粒発生率が 6.5% と高かったが, CUS 施用により改善する傾向にあった。

川袋と雁島圃場の「播種~R3」までの窒素固定速度は慣行区, CUS60 追肥区, CUS120 基肥区との間で差違は認められず, 畝立て栽培試験の圃場と同様に CUS 施肥による窒素固定阻害は認められなかった。長倉圃場の窒素固定速度は「播種~R3」では区による差違は認められなかったが, 「R3~R7」では, 慣行区に比べ CUS60 追肥区および CUS120 基肥区が有意に高かった。さらに同時期の窒素吸収速度も CUS60 追肥区および CUS120 基肥区が慣行区に比べ有意に高かった。

同じ平畝栽培でも長倉圃場では CUS の施肥効果が認められたが, 雁島及び川袋圃場では効果が認められなかった理由として, 慣行区の窒素集積量が川袋 43.5 g m⁻², 雁島 22.7 g m⁻² と長倉 14.8 g m⁻² に比べ高く, 窒素固定+土壌からの窒素吸収が良好な状況であったためと思われる。CUS60 追肥区および CUS120 基肥区施肥区の施肥窒素利用率は 35% 程度であり (高橋ら, 2003), 実際に吸収された窒素は 2 g m⁻² 程度であったと推測される。CUS 施用によ

る窒素集積量増加の要因としては, 根から直接吸収同化されるだけでなく, 前述のように根粒の活性持続にも寄与する。窒素固定量+土壌窒素吸収量が多い場合には, 施肥による根粒活性の持続効果 (高橋ら, 2003) が表れにくい可能性があると考えられる。

3) 窒素集積量とちりめんじわ粒発生との相関

畝立試験圃場 (七日市) と平畝試験圃場 (川袋, 雁島, 長倉) の R1 期 (七日市圃場のみ), R3 期及び R7 期における窒素集積量, 地上部乾物重および作物体窒素濃度と, 子実のちりめんじわ粒発生率の相関を図 1 に示した。同一年度 (2006 年) の試験で気象条件がほぼ同様と考えられる長岡市内の各圃場の地上部窒素集積量とちりめんじわ粒発生率との関係は, R1 期 ($r = -0.888$, 七日市圃場のみ), R3 期 ($r = -0.724$) 及び R7 期 ($r = -0.707$) といずれの期間においても有意な負の相関関係が認められた。ちりめんじわ粒の特徴として, 子実肥大期の葉色と負の相関関係 ($r = -0.57$, 5% 水準で有意) が認められること (井上・高橋, 2006) から, 窒素栄養はちりめんじわ発生に大きく関与していると思われる。ダイズは作物中で窒素要求度が最も高く (Sinclair and DeWit, 1975), さらに生育期間を通じて窒素濃度がほぼ一定に保たれている (Osaki et al., 1991)。このため, 窒素集積量が確保されなければ地上部乾物重は増大せず, ちりめんじわ粒発生率と地上部乾物重との間の相関も高いものと思われる。新潟県のダイズ子実収量目標は 2,400 kg ha⁻¹ であり, この収量を得るには約 20 g m⁻² 以上の窒素集積が必要である (高橋, 2005)。この窒素集積が確保できない圃場においては, CUS の施用による窒素栄養の確保と乾物重の増加は特に有効な技術だと思われる。本試験において, 畝立播種では初期生育

と開花前の窒素固定を促進するが、畝立播種のみでは開花期以降の窒素集積があまり増加せず、CUS60追肥およびCUS120基肥で開花以降の窒素集積が高まった。このように排水不良の細粒グライ土圃場では、畝立播種とCUS施用の併用効果が大いことが示唆された。

ちりめんじわ粒発生率は、表3、表4および図1に示すように、畝立播種によりR1(開花始)期までの窒素集積量および地上部乾物重を増加させることにより半減した。これは有原(2000)が指摘しているように、ダイズは初期生育の可否、特に転換畑で初期の過湿ストレスの影響が後半の生育にまで大きく影響するためと思われる。また窒素固定活性は土壌水分と酸素供給に極めて敏感であり、根粒窒素固定活性を最大にする土壌水分範囲は光合成のそれと比べて狭い(島田, 2006)。このため、梅雨時期であるR1期については土壌水分の急激な変動の影響を受けて、光合成速度に比べ窒素固定速度が低下し、一時的に植物体窒素濃度が低下し、その後の乾物生産に影響すると考えられる。七日市圃場のようなグライ土壌(排水不良ほ場)では、畝立播種により根粒と根への通気を改善し、開花期

までの窒素集積量を増加させ、主茎長などの栄養生長を確保することが非常に重要である。また長倉圃場のように開花期までの栄養生長が相対的に小さい場合でも、子実肥大期以降溶出してくるCUS施用により窒素集積量の増加は期待できる。畝立播種に加えCUSの施用により開花期以降の窒素集積量を確保することが収量、品質の向上を図る上で重要であると考えられる。

残された問題点は、R7期のちりめんじわ粒発生率と地上部乾物重との相関が窒素濃度との相関よりわずかであるが高い点である。光合成産物の転流(関口ら, 2008)や多量要素、微量元素の欠乏や過剰等の要因(江口, 2000)なども考えられるため、引き続き解析が必要である。

4. 要 約

1) 排水不良転換畑ダイズ栽培圃場において、畝立播種栽培および平畝栽培でのシグモイド型被覆尿素(CUS)の追肥または基肥施用試験を行った。畝立播種試験処理区は、慣行平畝区、畝立のみ行う畝立播種区、畝立播種時にCUSの120日タイプを60 kg-N ha⁻¹施用した畝立+

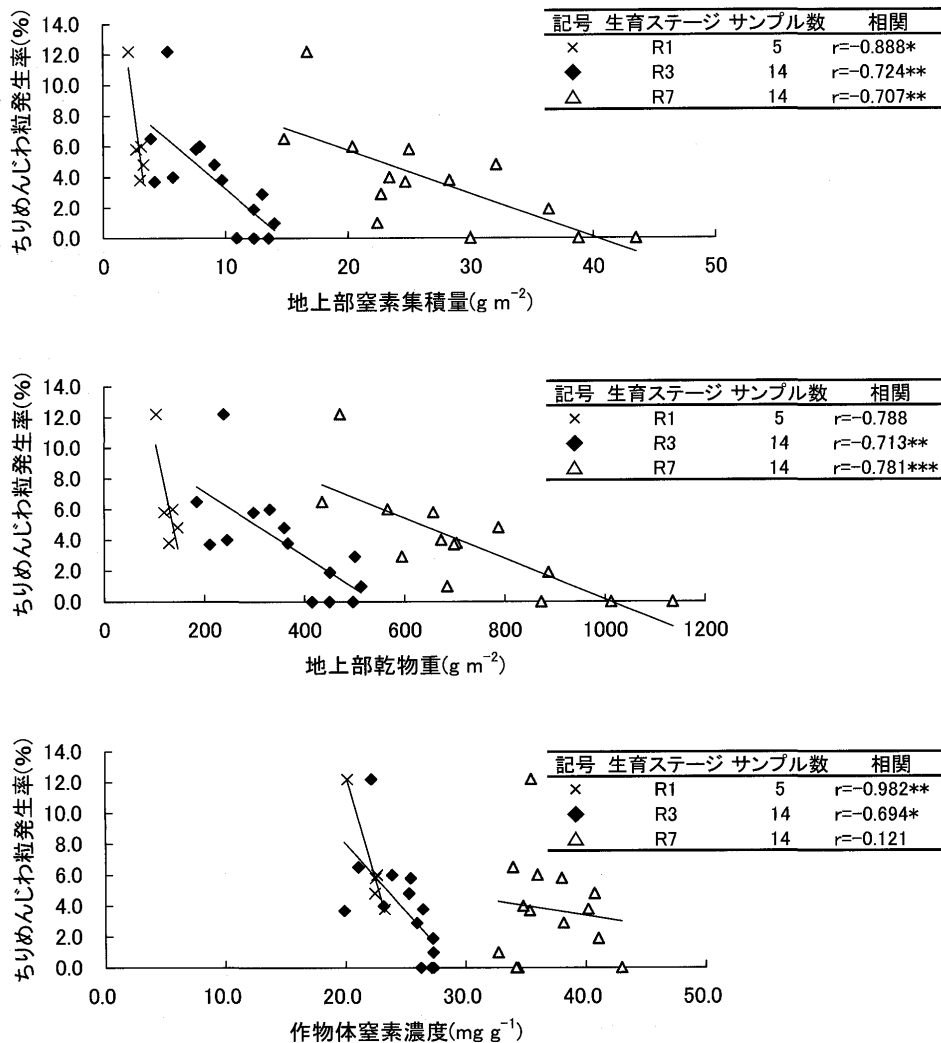


図1 窒素集積量、地上部乾物重、作物体窒素濃度とちりめんじわ粒率
七日市圃場、川袋圃場、雁島圃場、長倉圃場。ただしR1は七日市圃場のみ。相関係数に付した記号はそれぞれ*: 5%, **: 1%, ***: 0.1%水準で有意であることを示す。

CUS120 基肥区および培土期に CUS の 60 日タイプを 60 kg-N ha⁻¹ 施用した畝立+CUS60 追肥区を設けた。子実収量は、平畝栽培の慣行区 (3,490 kg ha⁻¹) に比べ、畝立播種区 (3,860 kg ha⁻¹) 畝立+CUS60 追肥区 (4,230 kg ha⁻¹) 及び畝立+CUS120 基肥区 (4,150 kg ha⁻¹) と増加傾向が認められた。また、R7 期 (成熟始期) における地上部窒素集積量は、慣行区に対して畝立播種区は約 22% と有意に増加し、さらに CUS60 追肥区で 69%、CUS120 基肥区では 92% と顕著に増加した。畦立て播種を行うことで、ちりめんじわ粒発生率が大幅に減少した。

2) 気象条件が同一と思われる長岡市内の慣行平畝栽培 3 圃場 (川袋、雁島、長倉) において CUS120 基肥区および CUS60 追肥区を設置し、窒素集積量とちりめんじわ粒発生率を調査した。慣行区の生育が良く地上部窒素集積量が高い川袋、雁島圃場ではちりめんじわ粒発生率が低かった。地上部窒素集積量が少ない長倉圃場ではちりめんじわ粒発生率が高く、地上部窒素集積量に対する CUS の施用効果が大きく、ちりめんじわ粒発生率も減少した。また、長倉圃場では、CUS 施用により窒素固定が促進された。

3) 上記畝立圃場試験および平畝圃場試験における R3 期および R7 期の地上部窒素集積量または地上部乾物重とちりめんじわ粒発生率との間に有意な負の相関が認められた。

以上より、ちりめんじわ粒の発生軽減には、排水不良の転換畑では湿害回避のため畝立同時播種栽培導入による開花期までの窒素集積量、生育量の確保と CUS の基肥または追肥施用が効果的である。

謝辞：共同研究機関の中央農業総合研究センター北陸研究センター、新潟県農業総合研究所、富山県農業技術センター、福井県農業試験場の各位、および被覆肥料を提供していただいた全農にいがた新潟肥料工場、チッソ旭肥料株式会社 (現ジェイカムアグリ株式会社) の各位に感謝いたします。

文 献

- 阿江教治・仁紫宏保 1983. ダイズ根系の酸素要求特性および水田転換畑における意義. 土肥誌, 54, 453-459.
- 有原丈二 2000. ダイズ安定多収の革新技術, p. 26-86. 農文協, 東京.
- 江口 亭 2000. ダイズの収量および子実品質に及ぼすホウ素の影響. 土肥誌, 71, 171-178.
- Fehr, W. R., Cvinness, C. E., Burmood, D. T., and Pennington, J. S. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.*, 11, 929-931.
- 細川 寿 2004. 大豆の耕うん同時畝立作業機による重粘土転換畑の湿害回避技術. 農機誌, 66 (5), 14-16.
- 市川岳史・服部 誠・浅野英明・田村良浩 2004. ダイズしわ粒の発生要因に関する研究 第1報 しわ粒の特徴について. 北陸作報, 40, 128-130.
- 井上健一・高橋正樹 2006. ダイズ子実肥大期の生育過程としわ粒発生率の関係. 北陸作報, 41, 96-99.
- 新潟県農林水産部 2001. 大豆栽培の手引き (改訂), p. 5-61.
- 野原 努・中山則和・高橋 幹・丸山幸夫・島田信二・有原丈二 2005. 相対ウレイド法を用いた高土壌窒素条件下におけるダイズ窒素固定依存度の品種間差異. 日作紀, 74, 316-324.
- 農林水産技術会議事務局・農林省農事試験場 1975. 大豆調査基準, p. 1-16.
- Ohtake, N., Nishiwaki, T., Mizukoshi, K., Minagawa, R., Takahashi, Y., Chinushi, T., and Ohyama, T. 1995. Amino acid composition in xylem sap of soybean related to the evaluation of N₂ fixation by the relative ureide method. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 41, 95-102.
- Osaki, M., Shinano, T., and Tadano, T. 1991. Carbon-nitrogen interaction in field crop production. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 38, 553-564.
- Sato, T., Yashima, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Akao, S., Harper, J. E., and Ohyama, T. 1998. 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.
- 佐藤 徹・服部 誠・市川岳史・田村隆夫 2008. ダイズ亀甲じわ粒の発生に及ぼす成熟後の子実水分変動の影響. 日作紀, 77, 457-460.
- 関口哲生・小原 洋・新良力也・亀川健一・田淵公清 2008. ダイズ子実の縮緬じわ発生に及ぼす切葉、摘葉処理の影響. 土肥誌, 79, 81-85.
- 島田信二 2006. 水田輪換畑作ダイズの多収化戦略. 日作紀, 75, 394-399.
- Sinclair, T. R., and DeWit, C. T. 1975. Photosynthate and nitrogen requirement for seed production by various crops. *Science*, 189, 565-567.
- 田淵公清 2007. 北陸地域におけるダイズのしわ粒などの品質低下要因の解明と対策. 北陸作報, 42, 140-143.
- Takahashi, T., Hosokawa, H., and Matsuzaki, M. 2006. N₂ fixation of nodules and N absorption by soybean roots associated with ridge tillage on poorly drained upland fields converted from rice paddy fields. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52, 291-299.
- 高橋能彦 1996. 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.
- 高橋能彦・土田 徹・大竹憲邦・大山卓爾 2003. 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. 土肥誌, 74, 55-60.
- 高橋能彦 2005. ダイズの生産・品質向上と栄養生理, p. 11-38. 博友社, 東京.
- 田村良浩 2007. 新潟県における大豆栽培の現状と課題. 北陸作報, 42, 133-135.
- Tewari, K., Onda, M., Ito, S., Yamazaki, A., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., and Ohyama, T. 2004. Effect of placement of urea and coated urea fertilizers on yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seeds. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 50, 1245-1254.
- Tewari, K., Sato, T., Abiko, M., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., Nagumo, Y., Tutida, T., and Ohyama, T. 2007. Analysis of the nitrogen nutrition of soybean plants with deep placement of coated urea and lime nitrogen. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 53, 772-781.

Effect of sigmoidal releasing-type coated urea fertilizer and ridge tillage on nitrogen accumulation and rate of side-wrinkled seeds in soybean cultivated in rotated paddy fields under poor drainage conditions

Yoshifumi NAGUMO^{1,2}, Toru SATO¹, Makoto HATTORI¹, Toru TSUCHIDA^{1,2}, Hisashi HOSOKAWA³,
Yoshihiko TAKAHASHI^{2,4} and Takuji OHYAMA^{2,4}

¹ Niigata Agricultural Research Institute Crop Research Center, ² Graduate School of Science and Technology, Niigata University, ³ National Agricultural Research Center, ⁴ Faculty of Agriculture, Niigata University

Recently, in the Hokuriku region, soybean seed coats have begun to develop wrinkles, which markedly decrease the seed quality. In the present study, we analyzed the effects of ridge tillage (RT) and top or basal applications of sigmoidal releasing-type coated urea fertilizer (CUS) on nitrogen accumulation in shoots and the rate of side-wrinkled seeds. Field experiments were conducted in Nagaoka (Niigata Prefecture) in an upland field with poor drainage conditions converted from a rice paddy. In addition to the conventional basal fertilizer application, RT, RT+CUS120 (CUS120: 120-day type; 60 kg N ha⁻¹) and RT+CUS60 (CUS60: 60-day type; 60 kg N ha⁻¹ top dressing at the ridging period) were compared. The seed yield was highest in RT+CUS60 (4230 kg ha⁻¹) as compared with RT+CUS120 (4150 kg ha⁻¹), RT (3860 kg ha⁻¹), and the control (3490 kg ha⁻¹). In addition, nitrogen accumulation in shoots at the R7 stage was increased by 22%, 69%, and 92% in RT, RT+CUS60, and RT+CUS120, respectively, as compared with the control. We also investigated the nitrogen accumulation and rate of side-wrinkled seeds at three conventional tillage fields in Nagaoka. RT reduced the rate of side-wrinkled seeds to half the rate observed with conventional tillage. These data indicate that there is a negative correlation between nitrogen accumulation and the rate of side-wrinkled seeds. Our experiment showed that RT and CUS application promoted nitrogen accumulation and nitrogen fixation in a field with poor growth conditions. Thus, the combination of RT and the use of CUS fertilizers should decrease the rate of side-wrinkled seeds in soybean plants grown in rotated paddy fields under poor drainage conditions.

Key words: coated urea fertilizer, ridge tillage, soybean, side-wrinkled seeds, nitrogen accumulation

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 81, 360–366, 2010)