

ファーマーミングシステム研究

Farming System Research

FARMING
FARMING
FARMING

10
2011

北陸地域に多発する大豆しわ粒の発生防止技術の開発

SYSTEM FARMING
FARMING
FARMING
FARMING
SYSTEM FARMING
RESEARCH

ファーミングシステム研究

No.10 (2011)

目次

北陸地域に多発する大豆しわ粒の発生防止技術の開発

はじめに

序	1
I 編 大豆しわ粒発生機構の解明	
第1章 生育期間中の生育阻害ストレスがしわ粒発生に及ぼす影響の解明	
1. 地上部生育阻害ストレスの影響	8
2. 根系発達阻害ストレスの影響	16
3. 土壌水分ストレスの影響	21
第2章 作物体の水分条件の変動がしわ粒発生に及ぼす影響の解明	
1. 作物体の水分条件の変動が種皮剥離及びしわ粒発生に及ぼす影響	28
第3章 作物栄養条件がしわ粒発生に及ぼす影響の解明	
1. ミネラル等の養分過不足がしわ粒発生に及ぼす影響	35
2. 窒素施肥法が子実成分集積としわ粒発生に及ぼす影響	50
第4章 北陸地域における優良生産地としわ粒多発地帯の比較に基づくしわ粒発生要因の解明	
1. 北陸地域全体	76
2. 新潟県の事例	84
3. 富山県の事例	91
4. 福井県の事例	101
II 編 大豆しわ粒発生防止技術の開発	
第5章 しわ粒発生防止栽培管理技術の開発	
1. しわ粒発生防止のための施肥管理技術の開発	105
2. 耕うん・播種精度向上技術の開発	118
第6章 コンバイン収穫に対応したしわ粒発生防止栽培・作業技術体系の開発	
1. 最適コンバイン収穫時期の策定	124
2. 子実水分簡易測定法によるしわ粒低減収穫技術の開発	130
第7章 しわ粒発生防止技術の現地実証	
1. 新潟県における現地実証	135
2. 富山県における現地実証	140
3. 福井県における現地実証	145
研究成果および研究発表一覧	148
おわりに	157
(参 考)	
パンフレット (北陸地域に多発する大豆「しわ粒」発生のしくみと対策技術)	158

はじめに

近年、北陸産大豆では1, 2等の上位等級比率が低迷するなど、品質の低下が大きな問題となっており、その要因の多くは「被害粒」として扱われる「しわ粒」の混入である。このしわ粒は調製・選別段階では取り除くことが難しく、生育段階から収穫に至る過程で発生を防止する必要がある。要因の解明とこれに基づく適切な技術的対策を講じることは北陸地域の大豆栽培において高品質大豆の安定生産を図るための重要かつ最大の課題となっている。

「先端技術を活用した農林水産高度化事業」は、生産及びこれに関連する流通、加工等の現場に密着した農林水産分野の試験研究の迅速な推進を図るため、研究課題の公募及び研究実施に当たっての産学官連携の強化により、優れた発想を活かし、先端技術等を活用した質の高い試験研究を促進する目的から創設され、16年度より新たに地方の実情に応じた各地方独自の施策課題に臨機応変に対応するため地方段階で地方農政局等が自ら研究領域を設定する「地方領域設定型研究」が拡充された。これに対して北陸農政局より、北陸産大豆の高品質化を図るための喫緊の問題であるとして、しわ粒の発生防止対策が地方領域設定型研究の最初の課題として設定された。

本編は、北陸地域のダイズの主力品種である「エンレイ」の「しわ粒」の発生の仕組みと発生低減化技術について平成16～18年度に実施された「先端技術を活用した農林水産高度化事業」の地方領域設定型研究「北陸地域に多発する大豆しわ粒の発生防止技術の開発」において得られた研究成果を取りまとめたものである。研究は中央農業総合研究センター（北陸研究センター）を中核機関として、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、新潟大学を参画機関とする共同研究により実施された。

研究の推進に当たって、高橋信夫長野県農事試験場長（当時）には、外部有識者として有益なご意見・講評をいただいた。農林水産省北陸農政局農産課の島川紀仁豆類振興係長（当時）ならびに北明彦豆類振興係長（当時）をはじめ北陸農政局の方々には叱咤激励とともに、大豆関係の統計データ等の情報の提供を受け、大変お世話になった。また、研究の実施にあつては、担当研究者に加えて、事務職員、業務職員の多くの方々から、ご協力、ご支援をいただいた。ここにお礼を述べさせていただきます。

序

1. 試験研究の全体計画

北陸産大豆は1, 2等の上位等級比率が低迷しており, 3等及びそれ以下の格付けになっている要因の多くはしわ粒の混入であることから, しわ粒発生の回避が最大の課題となっている。しわ粒は, 卷末のパンフレットに示すように子実の臍の反対側の種皮が帯状のぎざぎざになる「ちりめんじわ」と種皮が亀甲状に隆起する「亀甲じわ」に大別できる。これらのしわ粒は調製・選別段階では取り除くことが難しく, 生育段階から収穫に至る過程でしわ粒の発生を防止する必要がある。適切な技術的対策を講じることは高品質大豆の安定生産を図るために重要かつ喫緊の課題となっている。これに対して, 北陸各県の試験研究機関で取り組みが開始されているが, しわ粒発生防止技術開発に必要となる「ちりめんじわ」, 「亀甲じわ」の発生機構の解明は十分でなく, 有効なしわ粒防止対策技術の開発に至っていない。

そこで, 本研究では

- 1) 大豆しわ粒発生機構の解明
- 2) 大豆しわ粒の発生防止技術の開発

により, 北陸地域に多発する大豆しわ粒の発生防止技術の確立を目標とした。

2. 研究内容

1) 大豆しわ粒発生機構の解明

しわ粒発生防止技術の開発のため, 「ちりめんじわ」及び「亀甲じわ」の発生機構の解明を行う。前者は小粒で充実が悪い粒に多いことから, 子実充実を阻害するストレスと発生の関係を, 後者は成熟期以降に多く発生することから, 作物体の水分条件の変動と発生との関係を解析する。また, 優良生産地としわ粒多発地帯の比較を通して, しわ粒発生要因の解明と解明された発生機構の現地検証を行う。

(1) 生育期間中の生育阻害ストレスがしわ粒発生に及ぼす影響の解明

「ちりめんじわ」は小粒で充実が悪い粒に多く, 成熟期前の比較的早期から発生が認められることから, 子実肥大期の養分吸収阻害, 早期落葉, 子実への転流の阻害, ソースシンクのアンバランス等が要因として考えられる。ポット及び圃場試験で, 高温, 日照不足, 早期落葉, 湿害, 干ばつ等の条件を人工的に作出し, a) 地上部の生育, b) 根系の発達, c) 土壤水分条件としわ粒発生との関係を明らかにする。これらの結果をもとにして, 生育期間中のストレスがしわ粒発生に及ぼす影響を解明し, 「ちりめんじわ」の発生を防止する栽培管理技術開発のための基礎的知見を得る。

(2) 作物体の水分条件の変動がしわ粒の発生に及ぼす影響の解明

「亀甲じわ」は大粒に多く認められ, 発生の前段階として種皮と子葉の間に剥離が生じ, 成熟期後の降雨により増加する, と言われている。そのため子実水分が低下していく段階での子実の収縮と水分の再吸収による伸張が関与していると考えられる。そこで, ハウス内や圃場における散水処理等によって成熟期から収穫期までの作物体(子実, 莢, 茎等)の水分条件を変動させた条件下で, a) 種皮の剥離, b) 種皮の剥離としわ粒発生に及ぼす影響を調査し, c) 「亀甲じわ」の発生を防止する作物体水分条件を解明する。

(3) 作物栄養条件がしわ粒発生に及ぼす影響の解明

連作圃場や砂質で肥沃度の低い土壌など生育後期に地力窒素供給量が低下する圃場でしわ粒の発生が多く、子実の形成に関与する成分が作物体へ集積する過程での供給の過不足がしわ粒発生に関与していることが考えられる。そこで、a) ミネラル等の養分過不足がしわ粒発生に及ぼす影響、b) 窒素施肥法が子実成分集積としわ粒発生に及ぼす影響を解明する。これにより、子実の形成に関与する必須養分の土壌中の濃度や供給パターンの違いによる作物体への集積の差異としわ粒形成との関係を栄養生理学的に解明する。

(4) 北陸地域における優良生産地としわ粒多発地帯の比較に基づくしわ粒発生要因の解明

しわ粒の発生率は地域、生産組織、圃場により異なっていることから、優良生産地としわ粒多発地帯の現地圃場を対象にしわ粒の発生と圃場の排水性、土壌養分供給力、土性、施肥、連作年数、気象要因等の関係について調査を行う。さらに、これらの項目を指標にしてしわ粒の発生要因をカテゴリー化して解析を行い、圃場間差が生じる要因を明らかにする。また、(1)～(3)で解明したしわ粒の発生機構について現地への適合性を調べる。

2) 大豆しわ粒発生防止技術の開発

「大豆しわ粒発生機構の解明」で得られた知見に基づいてしわ粒発生防止技術を開発し、現地実証試験を実施し、大豆のしわ粒を抑制する技術を確立する。

(1) しわ粒発生防止栽培管理技術の開発

しわ粒、特に「ちりめんじわ」の発生を防止するため、1) - (1)、(3)で得られる施肥による養分供給の制御、初期生育の管理、子実の充実阻害回避等に関する知見を取り入れた圃場試験を行い、a) 適正な施肥管理技術、b) 根系改善のための耕うん、播種技術を開発する。これらに基づき、「ちりめんじわ」の発生を防止する総合的な栽培管理技術を開発する。

(2) コンバイン収穫に対応したしわ粒発生防止栽培・作業技術体系の開発

しわ粒、特に「亀甲じわ」の発生を防止することを目標に、1) - (2)で得られる作物体水分条件に関する知見を取り入れた圃場試験を行い、a) 収穫の最適時期を策定し、b) 収穫時の汚粒発生の各種障害を除去し、品質を低下させずにしわ粒発生を防止する機械化栽培・収穫技術を開発する。これに基づき、コンバイン収穫に対応したしわ粒発生防止栽培・作業技術体系を確立する。

(3) しわ粒発生防止技術の現地実証

北陸産大豆の主要な生産現場である、a) 重粘土地帯（新潟県）、b) 砂質浅耕土地帯（富山県）、c) 高温登熟地帯（福井県）において、しわ粒が多発する圃場を対象として、地元JA等の協力のもとに、開発されたしわ粒発生防止技術の現地実証試験を行う。

3. 年次計画

研究項目	2004年度	2005年度	2006年度
1)大豆しわ粒発生機構の解明			
(1) 生育期間中の生育阻害ストレスがしわ粒発生に及ぼす影響の解明	a) 地上部生育阻害ストレスの影響 (中央研) b) 根系発達阻害ストレスの影響 (福井農試) c) 土壌水分ストレスの影響 (富山農技セ)		
(2) 作物体の水分条件の変動がしわ粒発生に及ぼす影響の解明	a) 作物体の水分条件の変動が種皮剥離及びしわ粒発生に及ぼす影響 (新潟農研)		
(3) 作物栄養条件がしわ粒発生に及ぼす影響の解明	a) ミネラル等の養分過不足がしわ粒発生に及ぼす影響 (中央研) b) 窒素施肥法が子実成分集積としわ粒発生に及ぼす影響 (新潟大)		
(4) 北陸地域における優良生産地としわ粒多発地帯の比較に基づくしわ粒発生要因の解明	a) 現地圃場を対象にした各種圃場環境要因としわ粒発生 of 解明 (中央研, 新潟農研, 富山農技セ, 福井農試)	b) しわ粒の発生機構の現地への適合性の確認 (中央研, 新潟農研, 富山農技セ, 福井農試)	
2)大豆しわ粒発生防止技術の開発			
(1) しわ粒発生防止栽培管理技術の開発	a) しわ粒発生防止のための施肥管理技術の開発 (中央研) b) 根系改善のための栽培・作業技術の開発 (福井農試)		
(2) コンバイン収穫に対応したしわ粒発生防止栽培・作業技術体系の開発	a) 最適コンバイン収穫時期の策定(富山農技セ) b) しわ粒発生防止機械化栽培・収穫技術の開発(新潟農研)		
(3) しわ粒発生防止技術の現地実証		a) 重粘土地帯における現地実証 (新潟農研) b) 砂質浅耕土地帯における現地実証(富山農技セ) c) 高温登熟地帯における現地実証 (福井農試)	

4. 研究担当者

研究項目	担当機関	研究担当者
研究総括者	中央農業総合研究センター	田渕公清
1) 大豆しわ粒発生機構の解明 (1) 生育期間中の生育阻害ストレスがしわ粒発生に及ぼす影響の解明 a) 地上部生育阻害ストレスの影響 b) 根系発達阻害ストレスの影響 c) 土壌水分ストレスの影響	中央農業総合研究センター 福井県農業試験場 富山県農業技術センター	田渕公清 井上健一 (～2005.3) 笈田豊彦 (2005.4～) 荒井清完 高橋 渉 (～2005.3) 金田 宏 (2005.4～2006.3) 細川吉裕 (2006.4～)
(2) 作物体の水分条件の変動がしわ粒発生に及ぼす影響の解明 a) 作物体の水分条件の変動が種皮剥離及びしわ粒発生に及ぼす影響	新潟県農業総合研究所	市川岳史 (～2005.3) 田村隆夫 (2005.4～2006.3) 佐藤 徹 (2006.4～) 服部 誠
(3) 作物栄養条件がしわ粒発生に及ぼす影響の解明 a) ミネラル等の養分過不足がしわ粒発生に及ぼす影響 b) 窒素施肥法が子実成分集積としわ粒発生に及ぼす影響	中央農業総合研究センター 新潟大学農学部	関口哲生 大山卓爾 大竹憲邦
(4) 北陸地域における優良生産地としわ粒多発地帯の比較に基づくしわ粒発生要因の解明 a) 現地圃場を対象にした各種圃場環境要因としわ粒発生の解明 b) しわ粒の発生機構の現地への適合性の確認	中央農業総合研究センター 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 上記 a) と同様	亀川健一 (～2005.3) 小原 洋 (2005.4～) 新良力也 (2005.4～2006.3) 大野智史 (2006.4～) 南雲芳文 土田 徹 岡山清司 (～2006.3) 板谷 聡 (2006.4～) 井上健一 (～2005.3) 笈田豊彦 (2005.4～) 上記 a) と同様
2) 大豆しわ粒発生防止技術の開発 (1) しわ粒発生防止栽培管理技術の開発 a) しわ粒発生防止のための施肥管理技術の開発	中央農業総合研究センター	関口哲生 亀川健一 (～2005.3)

<p>b) 根系改善のための栽培・作業技術の開発</p>	<p>福井県農業試験場</p>	<p>新良力也 (2005.4~2006.3) 大野智史 (2006.4~) 北倉芳忠</p>
<p>(2) コンバイン収穫に対応した しわ粒発生防止栽培・作業技術体系の開発</p>	<p>富山県農業技術センター</p>	<p>鍋島弘明 (~2005.3) 守田和弘 (~2005.3) 吉田 稔 (2005.4~2006.3) 寺西敏子 (2006.4~)</p>
<p>a) 最適コンバイン収穫時期の策定</p>	<p>富山県農業技術センター</p>	<p>鍋島弘明 (~2005.3) 守田和弘 (~2005.3) 吉田 稔 (2005.4~2006.3) 寺西敏子 (2006.4~)</p>
<p>b) しわ粒発生防止機械化栽培・収穫技術の開発</p>	<p>新潟県農業総合研究所</p>	<p>荒井清完 樋口泰浩</p>
<p>(3) しわ粒発生防止技術の現地実証</p>	<p>新潟県農業総合研究所</p>	<p>市川岳史 (~2005.3)</p>
<p>a) 重粘土地帯における現地実証</p>	<p>新潟県農業総合研究所</p>	<p>田村隆夫 (2005.4~2006.3) 佐藤 徹 (2006.4~) 南雲芳文 樋口泰浩</p>
<p>b) 砂質浅耕土地帯における現地実証</p>	<p>富山県農業技術センター</p>	<p>沼田益朗 (~2006.3) 小池 潤 (2006.4~)</p>
<p>c) 高温登熟地帯における現地実証</p>	<p>福井県農業試験場</p>	<p>北倉芳忠 井上健一 (~2005.3) 笈田豊彦 (2005.4~)</p>

5. 研究項目と本編の対応表

研究項目	担当機関	本編対応章
1) 大豆しわ粒発生機構の解明		I 編
(1) 生育期間中の生育阻害ストレスがしわ粒発生に及ぼす影響の解明		第1章
a) 地上部生育阻害ストレスの影響	中央農業総合研究センター	1- 1
b) 根系発達阻害ストレスの影響	福井県農業試験場	1- 2
c) 土壌水分ストレスの影響	富山県農業技術センター	1- 3
(2) 作物体の水分条件の変動がしわ粒発生に及ぼす影響の解明		第2章
a) 作物体の水分条件の変動が種皮剥離及びしわ粒発生に及ぼす影響	新潟県農業総合研究所	2- 1
(3) 作物栄養条件がしわ粒発生に及ぼす影響の解明		第3章
a) ミネラル等の養分過不足がしわ粒発生に及ぼす影響	中央農業総合研究センター	3- 1
b) 窒素施肥法が子実成分集積としわ粒発生に及ぼす影響	新潟大学農学部	3- 2
(4) 北陸地域における優良生産地としわ粒多発地帯の比較に基づくしわ粒発生要因の解明		第4章
a) 現地圃場を対象にした各種圃場環境要因としわ粒発生の解明	中央農業総合研究センター	4- 1
	新潟県農業総合研究所	4- 2
	富山県農業技術センター	4- 3
	福井県農業試験場	4- 4
b) しわ粒の発生機構の現地への適合性の確認	中央農業総合研究センター	4- 1
	新潟県農業総合研究所	4- 2
	富山県農業技術センター	4- 3
	福井県農業試験場	4- 4
2) 大豆しわ粒発生防止技術の開発		II 編
(1) しわ粒発生防止栽培管理技術の開発		第5章
a) しわ粒発生防止のための施肥管理技術の開発	中央農業総合研究センター	5- 1
b) 根系改善のための栽培・作業技術の開発	福井県農業試験場	5- 2
(2) コンバイン収穫に対応したしわ粒発生防止栽培・作業技術体系の開発		第6章
a) 最適コンバイン収穫時期の策定	富山県農業技術センター	6- 1
b) しわ粒発生防止機械化栽培・収穫技術の開発	新潟県農業総合研究所	6- 2

(3) しわ粒発生防止技術の現地実証		第7章
a) 重粘土地帯における現地実証	新潟県農業総合研究所	7- 1
b) 砂質浅耕土地帯における現地実証	富山県農業技術センター	7- 2
c) 高温登熟地帯における現地実証	福井県農業試験場	7- 3

※ 本編の著者の所属は2011年5月末日現在で記載しています。

I 編

大豆しわ粒発生機構の解明

第1章 生育期間中の生育阻害ストレスが しわ粒発生に及ぼす影響の解明

1. 地上部生育阻害ストレスの影響

○田淵公清

(元中央農研 北陸水田輪作研究チーム)

1) はじめに

「ちりめんじわ」は小粒で充実が悪い粒に多く発生し、成熟期前の比較的早期からの発生が認められることから、子実肥大期の養分吸収阻害、早期落葉、子実への転流の阻害、ソースシンクのアンバランス等ダイズの地上部に与えられた生育阻害ストレスの影響により発生することが考えられる。そこで、本試験では圃場栽培されたダイズの子実肥大期に早期落葉、高温・干ばつ、日照不足等の各種ストレス条件を人工的に与え、時期別の地上部の生育阻害、主として乾物生産への阻害が「ちりめんじわ」を主体としたしわ粒発生に及ぼす影響を解析した。これらの結果をもとにして「ちりめんじわ」の発生を防止する栽培管理技術開発のための基礎的知見を得ようとした。

2) 材料と方法

(1) 実験1：早期落葉処理がしわ粒発生に及ぼす影響

実験には、北陸のダイズ主力品種である「エンレイ」を用い、北陸研究センターの細粒質グライ土転換畑において、耕起前に粒状苦土石灰を 120 kg/10a、耕起直前に基肥として、N (3.2 kg N/10a)、P (8kg P₂O₅/10a)、K (12kg K₂O/10a)、B (0.3kg B₂O₃/10a) を含むダイズ用配合肥料 (ニュー大豆 800) を表面施用した後、ロータリーで耕起し、全層施肥とした。2005年6月1日に播種し、栽植様式は畦間 75 cm 株間 10 cm に 2 粒播種し、苗立ち後 1 本立てとして栽培した。栽植密度は 13.3 本/m² である。落葉処理として、開花後 5 週 (8月25日) から 1 週間おきに開花後 8 週まで 4 時期について、試験区内の着生葉すべてを対象に、複葉のうち頂小葉を缺にて切除し側小葉 2 枚を残した区 (頂小葉切除区)、複葉の側小葉 2 枚を切除し頂小葉を残した区 (側小葉切除区) を設けた。対照区は無切除とした。生育中庸な連続した 15 個体を収穫し、収量および収量構成要素ならびにちりめんじわ粒の調査を行った。脱粒した子実を 6.7 mm の丸目篩で篩い、しわ粒以外の被害粒を除いた子実 (完全粒+しわ粒) 中に含まれるしわ粒の割合を粒数割合で現したものをしわ粒率とした。試験は 1 区 4.2 m² (1.5 m × 2.8 m) 2 反復で実施した。

(2) 実験2：高温・乾燥および灌水処理がしわ粒発生に及ぼす影響

2005年に上記と同様の耕種方法で栽培したダイズについて、高温・乾燥処理するため、間口4.5mのビニールハウスを設置し高温・乾燥区とした。また、水分ストレスを減少させる効果をみるため、散水チューブ（キリコR型）による灌水を実施した区（目標灌水量30mm/回）を設けた。試験は表1-1-1の処理条件を組合せた9処理区について1区面積5.4m²（3m×1.8m）4反復で実施した。各区20個体を収穫し、収量および収量構成要素ならびにしわ粒の調査を行った。

表 1-1-1 乾燥処理および灌水処理条件

高温・乾燥処理（ハウス設置期間）	散水チューブによる灌水（灌水実施期間）
H0:全期間なし	W0:全期間無灌水
H1:7月15日～9月6日	W1:7月29日～8月8日までの間4回
H2:7月15日～収穫期	W2:8月19日～9月30日までの間4回

(3) 実験3：日照不足処理がしわ粒発生に及ぼす影響

試験は2005年と2006年に実施し、播種日は2005年6月1日、2006年6月14日とした。他の耕種条件は実験1と同様である。遮光処理は遮光率51%の黒色寒冷紗（クレモナ#600）を2枚重ねにして使用し、表1-1-2のように10日間の遮光処理を7日間隔で実施した。遮光処理時期は2005年には開花期後1週（処理期間の中央日、以後の遮光処理の週数も同じ）から、2006年には開花期後4週から実施した。試験は1区8.4m²（3m×2.8m）2反復で実施した。生育中庸な連続した10個体を成熟後収穫し、収量および収量構成要素ならびにしわ粒の調査を行った。残葉調査（2006年）は開花期後9週（9月29日）に主茎に着生する葉数（複葉単位）を各区10個体について調査した。

表 1-1-2 遮光処理期間

2005年			2006年		
開花期後週数	遮光開始	遮光終了	開花期後週数	遮光開始	遮光終了
1	7月19日	7月29日			
2	7月26日	8月05日			
3	8月02日	8月12日			
4	8月09日	8月19日	4	8月15日	8月25日
5	8月16日	8月26日	5	8月22日	9月01日
6	8月23日	9月02日	6	8月29日	9月08日
7	8月30日	9月09日	7	9月05日	9月15日
8	9月06日	9月16日	8	9月12日	9月22日
9	9月12日	9月22日			
10	9月20日	9月30日			

注：開花期後週数は処理期間の中央日の開花期後の週数

3) 結果と考察

(1) 実験1：早期落葉処理がしわ粒発生に及ぼす影響

早期の落葉が収量におよぼす影響を図1-1-1に示した。収量については、切除時期が早いほど減収程度が大きくなる傾向があった。葉面積減少量が大きい側小葉切除の処理の方がより減収率が大きくなると予想されたが、頂小葉切除との差はあまり明確ではなかった。切除時期と百粒重の関係は図1-1-2に示すように切除処理時期が早いほど小粒化する傾向が認められた。図1-1-3に示すように、小葉の切除により、ちりめんじわ粒の発生の増加がみられ、いずれも対照区を上回った。ちりめんじわは側小葉切除では開花期後6、7週切除区でちりめんじわの発生が高まる傾向がみられ、頂小葉切除区では開花期後8週切除区でちりめんじわの発生率が顕著に高まった。ソースシンクバランスから考えると、剪葉処理によるソースの減少により、莢実への光合成産物の供給が不足し、ちり

表 1-1-3 高温・乾燥処理および灌水処理がしわ粒発生におよぼす影響（単位%）

ちりめんじわ						
要因	高温・乾燥処理			灌水		
水準	H0	H1	H2	W0	W1	W2
平均	15.8	21.9	14.5	18.1	20.5	13.5
標準偏差(σ)	5.9	5.8	5.7	6.7	5.5	5.7

分散分析表						**：1%レベルで有意
要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F 値	P 値	
高温・乾燥処理	741.4	2	370.68	13.339	0.0000	**
灌水	607.1	2	303.56	10.923	0.0001	**
高温・乾燥×灌水	74.0	4	18.49	0.665	0.6183	
誤差	1750.8	63	27.79			
全体	3173.2	71				

亀甲じわ						
要因	高温・乾燥処理			灌水		
水準	H0	H1	H2	W0	W1	W2
平均	6.9	14.8	7.3	11.6	12.0	5.3
標準偏差(σ)	4.0	5.8	4.6	6.4	4.6	4.5

分散分析表						**：1%レベルで有意
要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F 値	P 値	
高温・乾燥処理	955.6	2	477.80	30.024	0.0000	**
灌水	675.5	2	337.74	21.223	0.0000	**
高温・乾燥×灌水	20.3	4	5.07	0.319	0.8645	
誤差	1002.6	63	15.91			
全体	2653.9	71				

注：処理条件は表 1-1-2 参照

めんじわの発生を増大させることが推察された。

一方、佐藤⁽³⁾らは品種「リュウホウ」について摘莢の処理を行うことにより、1 莢実当たりの光合成産物の供給を増加させ、百粒重の増加を促し、しわ粒の発生を減少させることを試みたが、結実期間中の収量構成要素変動に伴う百粒重の増大にはしわ粒を抑制する直接的な効果は認められなかったとしている。これは、葉からの光合成産物の供給が不足する場合にはしわ粒の発生が増加するが、供給が十分行われている場合には供給を過剰にしても、しわ粒の発生が他の要因に支配されていて、ある限度以上にしわ粒を減少させることができないことを示唆しており、この点については今後さらに検討が必要である。

(2) 実験 2：高温・乾燥および灌水処理がしわ粒発生に及ぼす影響

子実重は図 1-1-4 に示すように、HOW0 の対照区が最大となり、百粒重は H1W1 で最低となった。

ちりめんじわ、亀甲じわともハウス設置による高温・乾燥処理、灌水処理とも表 1-1-3 に示すように、1%レベルで有意な差が認められ、図 1-1-5 に示すように、7 月 15 日～9 月 6 日の間ハウス設置した H1 高温・乾燥処理は H0 ハウス無設置に比較し、ちりめんじわ粒の発生が増加した。7 月 15 日以降成熟期までハウス設置した H2 処理によるちりめんじわ粒の発生の増加は明確ではなかった。また、8 月 19 日～9 月 30 日までの間 4 回灌水した W2 処理でちりめんじわ粒の発生が減少する傾向が認められた。亀甲じわについてもほぼ同様な傾向を示した。各試験区の百粒重とちりめんじわ粒の発生との関係を見ると図 1-1-6 に示すように、百粒重が小さい区（H1 処理、W1 処理を行った区が多い）で発生が増加する傾向が認められ、この傾向は亀甲じわにも認められた。各区におけるちりめんじわと亀甲じわとの関係を見ると、図 1-1-7 に示すように、ちりめんじわの発生が多いと亀甲じわの発生が多い傾向が認められた。

以上の結果から、ビニールハウス設置による高温・乾燥ストレスは 8 月を中心とした盛夏に受けるとちりめんじわ発生が高まる傾向が認められた。高温・乾燥処理を 9 月 7 日以降中断した区より、その後も高温・乾燥処理を継続した区でしわ粒の発生率が低下したが、この原因については明確で

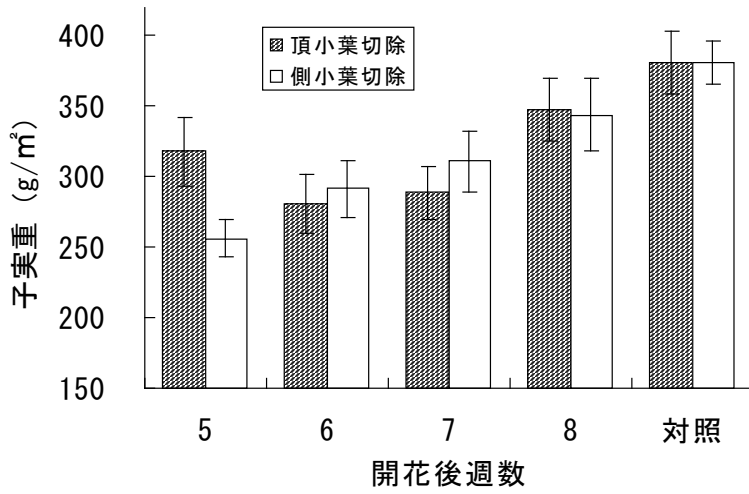


図 1-1-1 落葉処理時期が子実重に及ぼす影響 (2005 年)

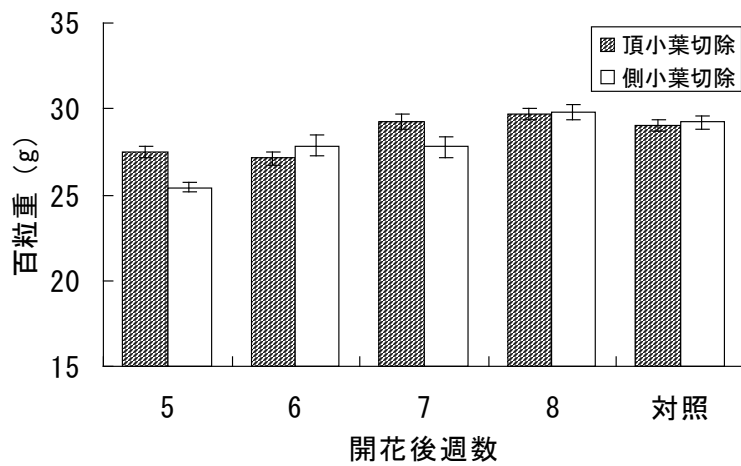


図 1-1-2 落葉処理時期が百粒重に及ぼす影響 (2005 年)

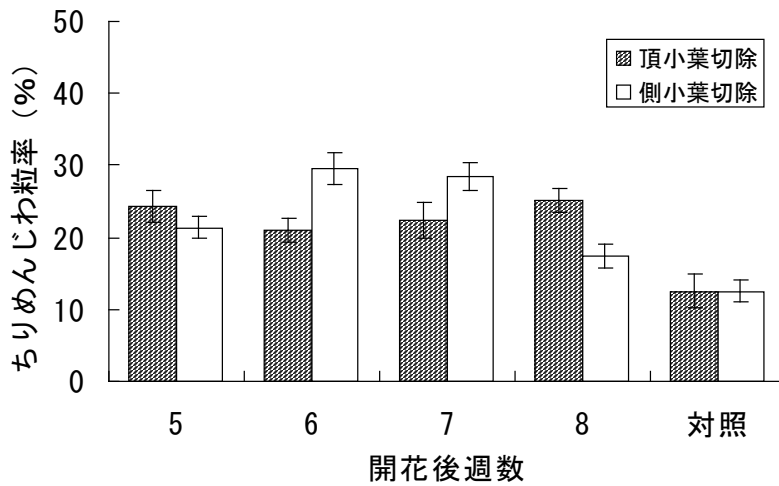


図 1-1-3 落葉処理時期がちりめんじわ粒の発生に及ぼす影響 (2005 年)

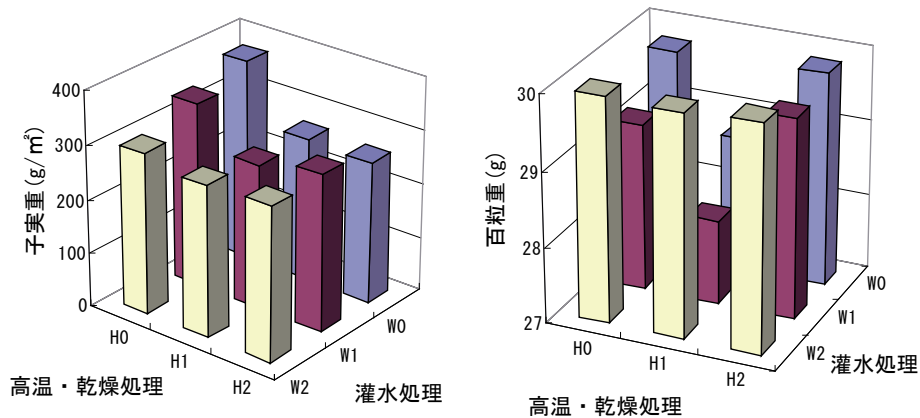


図 1-1-4 高温・乾燥処理と灌水処理が収量と百粒重に及ぼす影響 (2005)

注 高温乾燥処理(ハウス設置による雨よけ)
 H0:雨よけなし, H1:7月15日～9月6日, H2:7月15日～収穫期
 散水チューブによる灌水
 W0:無灌水, W1:7月29日～8月8日までの間4回, W2:8月19日～9月30日までの間4回

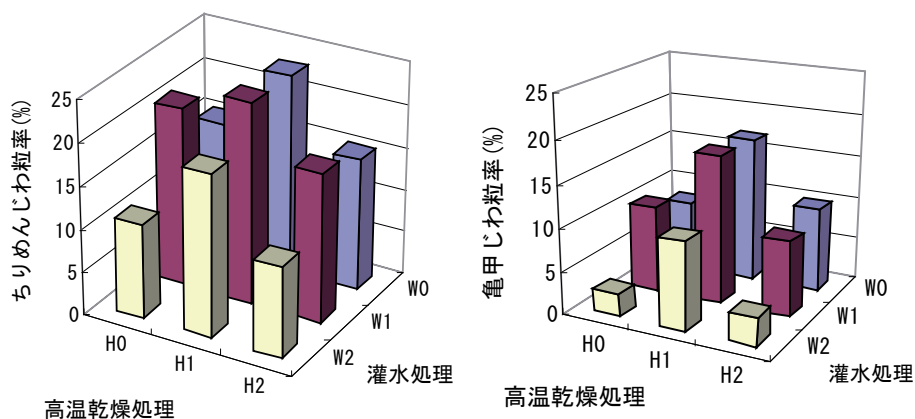


図 1-1-5 高温・乾燥処理と灌水処理がしわ粒に及ぼす影響 (2005)

注 高温乾燥処理(ハウス設置による雨よけ)
 H0:雨よけなし, H1:7月15日～9月6日, H2:7月15日～収穫期
 散水チューブによる灌水
 W0:無灌水, W1:7月29日～8月8日までの間4回, W2:8月19日～9月30日までの間4回

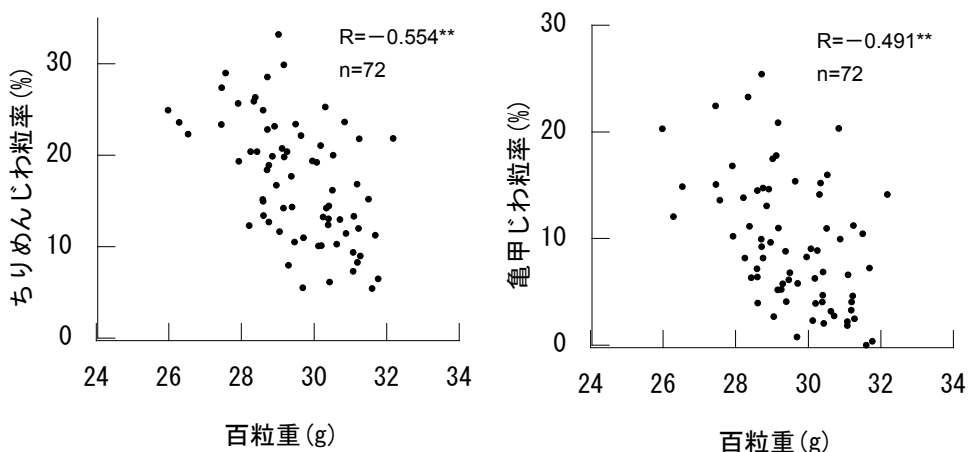


図 1-1-6 高温・乾燥および灌水処理試験における百粒重としわ粒発生の関係

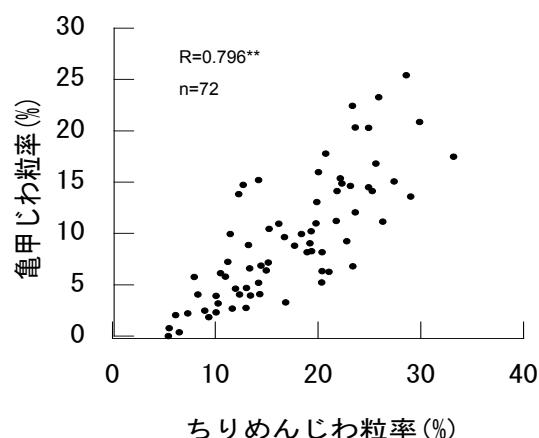


図 1-1-7 高温・乾燥および灌水処理試験におけるちりめんじわと亀甲じわの関係

はなかった。また、ビニールハウス設置による高温・乾燥処理は透光率の減少や光質の変化をとまなうので、処理の影響を評価する上でこれらの影響を勘案する必要もある。灌水の効果は子実肥大期の灌水でしわ粒発生率が減少する傾向が認められ、この効果は高温・乾燥処理の有無にあまり影響されなかったことはダイズの子実肥大期の灌水による適正な水分管理は、しわ粒を減少させる効果があり、しわ粒低減には子実肥大期に水分ストレスを与えないことが重要であることが示唆された。粒大としわ粒の発生との関係を見ると、本実験では百粒重が低下する条件でちりめんじわ粒の発生増加とともに、亀甲じわの発生の増加が認められ、大粒化と亀甲じわ発生とは直接的な関係がないことが示唆された。一方、市川⁽¹⁾らはしわ粒の発生した子実の形状を調査し、ちりめんじわ粒は小粒で扁平の楕円粒であり、亀甲じわ粒は大粒であるとしているため、粒大と亀甲じわの発生の関係についてはさらに検討が必要である。

(3) 実験 3：日照不足処理がしわ粒発生に及ぼす影響

2005年のちりめんじわ粒発生に及ぼす日照の影響をみると、図 1-1-8 に示すように、開花後 1, 2 週と 6, 7 週の遮光処理でちりめんじわ粒の発生率が高くなり、2つのピークがあった。2006年には子実重は図 1-1-9 に示すように、いずれの時期の遮光処理区も対照区より低下し、開花後 4～7 週処理で 2 割前後の減収となった。百粒重の対照比は開花後 6 週以降で低くなり、小粒化がみられたが、それ以前の処理では大粒化した。これは開花後早い時期の遮光処理では、莢数や粒数の減少を引き起こし、結果として大粒化したものと推察される。2006年のちりめんじわの発生は図 1-1-10 に示すように、子実肥大盛期（開花後 6, 7 週）の 9 月上旬の遮光処理により高くなり、増加の程度が大きかった。この結果は 2005 年と一致し、この時期の光合成の抑制は子実肥大中の子実への光合成産物の供給低下をまねき、ちりめんじわの発生を増加させるものと推察される。2005年には開花後 1, 2 週の遮光でもちりめんじわ粒の発生率が高くなったが、2006年では十分検証ができなかった。この時期の遮光は落花や落莢を増加させ、着莢数や粒数が減少するため大粒化する傾向があり、ソースシンクバランスからは子実への養分供給不足により、ちりめんじわ粒発生が増加するとは考えにくいいため、今後の検討が必要である。また、黄葉期の開花後 9 週（9 月 29 日）の主茎の着葉数は開花後 6, 7 週の処理で少なく、落葉の早期化が認められた。図 1-1-11 に落葉としわ粒の発生との関係を示したが、残葉数とちりめんじわ発生とは負の相関が認められ、日照不足による落葉の促進とちりめんじわ発生の関連が示唆された。北陸における大豆生産では子実肥大盛期は 9 月上旬にあたり、この時期は年により秋の長雨等天候不順が発生しやすい時期で、降水量の変動とともに日射量の変動の大きい時期でもあり、この時期の天候がちりめんじわ粒発生の要因と考えられる。

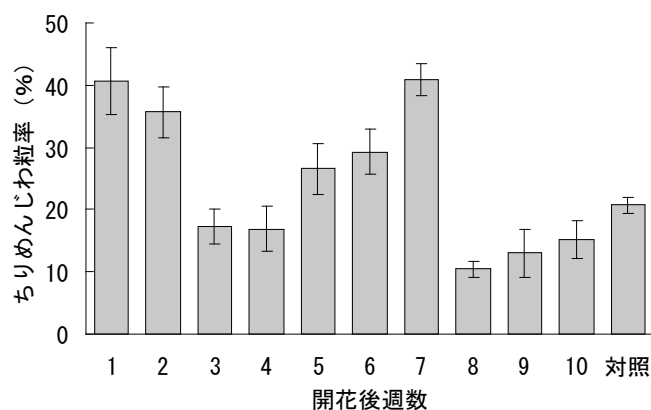


図 1-1-8 遮光時期がちりめんじわ粒発生に及ぼす影響 (2005)

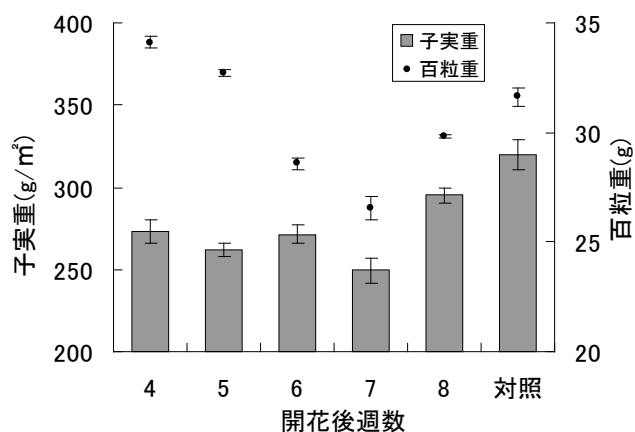


図 1-1-9 遮光時期が収量および百粒重に及ぼす影響 (2006)

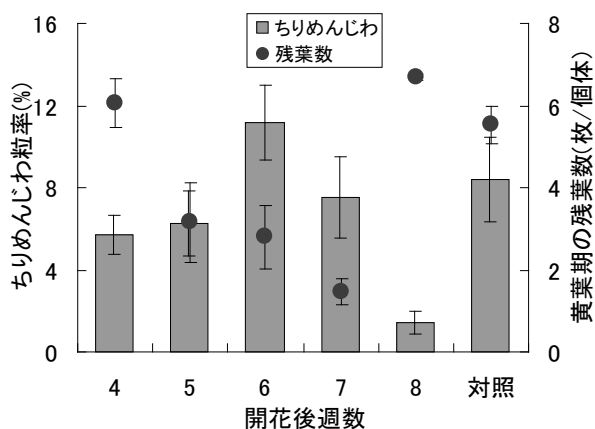


図 1-1-10 遮光時期が落葉及びちりめんじわ粒発生に及ぼす影響 (2006)

(4) まとめ

本試験で落葉処理の影響、高温・乾燥および灌水処理の影響、時期別遮光処理による日照不足の影響についてちりめんじわ粒を主体とするしわ粒の発生に及ぼす影響を検討した。これらの生育阻害ストレスを与えることにより、ちりめんじわの発生が増加することが明らかになった。また、落葉処理および時期別遮光処理による試験から判断されるちりめんじわ発生におよぼす影響が最も大き

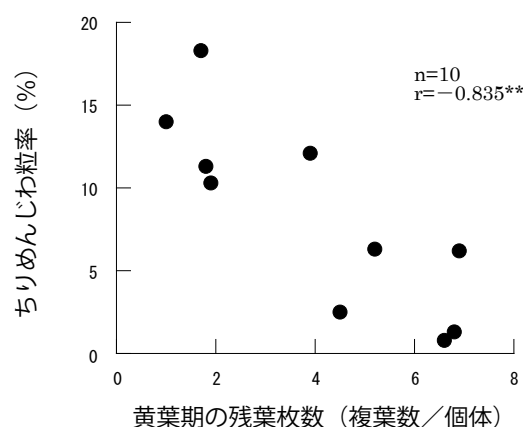


図 1-1-11 黄葉期の残葉数とちりめんじわ粒の発生との関係 (2006)

注: 開花後9週の主茎の着生複葉数

い時期は、開花期後6～7週目付近の子実肥大盛期にあり、この時期にストレスを受けるとちりめんじわの発生率が高まることが明らかとなった。このほかの生育阻害ストレスとしわ粒の発生に関する報告として、西澤⁽²⁾は「おおすず」を対象に湛水時期とちりめんじわ発生との関係を検討し、本試験の結果より遅い子実肥大終期から黄熟期の過湿の影響が最も大きいと報告している。生育後半の生育阻害ストレスとちりめんじわの発生と関係が密接である点では一致している。以上の結果を総合すると、ちりめんじわの発生には子実肥大盛期前後の子実への養分供給不足、いわゆる栄養凋落が関係し、この時期の作物体の栄養条件、土壤水分条件の改善がしわ粒の低減に有効であることが推察され、このための対策としては、子実肥大盛期頃の作物体の栄養状態を改善することが有効であることが推察された。

4) 摘要

生育期間中のどの時期の早期落葉、高温・乾燥、日照制限等のストレス付与がちりめんじわを主体としたしわ粒発生に及ぼす影響程度を検討した。落葉では子実肥大盛期にあたる開花後6, 7週の側小葉切除によりちりめんじわ粒の発生が高まる傾向を示し、ハウス設置による高温・乾燥処理、灌水については、8月を中心とした盛夏の高温はしわ粒の発生を増加させ、子実肥大期の灌水で減少する傾向が認められた。子実肥大盛期(開花後6, 7週)の9月上旬の遮光処理によりちりめんじわの発生は高くなった。開花後9週の残葉数とちりめんじわ発生とは負の相関が認められた。以上より、ちりめんじわの発生には子実肥大盛期前後の栄養凋落が関係していると推察された。

5) 引用文献

1. 市川岳史・服部誠・浅野英明・田村良浩 (2005) 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. 北陸作物学会報, 40, 128-130
2. 西澤登志樹 (2007) 湛水が大豆品種「おおすず」のちりめんじわ粒発生に及ぼす影響. 東北農業研究, 60, 63-64
3. 佐藤雄幸・井上一博・石岡徳孝 (2007) 大豆「リュウホウ」のしわ粒発生に対する摘莢処理の影響. 日本作物学会東北支部会報, 50, 141-142

2. 根系発達阻害ストレスの影響

○井上健一・笈田豊彦

(福井県農業試験場)

1) はじめに

ダイズの根系はイネ科作物に比べると貧弱であり、下胚軸部分は太くしっかりしているが、子葉節の下10cm程度より下部では急速に細くなり、根の重量割合は極めて小さい。また、現在のダイズは転換畑で栽培されるため、普通畑に比べると地下水位が高く土の密度が大きい条件で根を張らなければならない。このため、転換畑においてはダイズの根系は浅く表層に分布し、下層への伸長程度は一層不十分となっている。また、作土下20cmの耕盤層がち密になり、硬くしまった層を形成しているため、主根の鉛直方向への伸長が耕盤層で妨げられている事例も数多く観察されている。

そこで、現地圃場において地上部および根と根粒着生程度の推移を調査し、これらと子実重やしわ粒を中心とする見かけの品質との関係を解析した。また、耕うん法を初めとする土壌の物理性を改善する手法の効果を明らかにするとともに、施肥位置が根量や根系に及ぼす影響についても調べた。

2) 材料と方法

(1) ダイズの根系としわ粒の関係

2004年に福井県内現地のオオムギ跡に播種されたダイズ(品種「エンレイ」)の根量の変化について調査した。調査場所数は7カ所で、強グライ土2カ所、グライ土2カ所、灰色低地土3カ所である。各場所ともに播種時期は6月上旬、栽植密度は10～18本/m²、窒素施肥量は基肥で3kg/10a前後である。調査方法は、培土期から子実肥大期にかけて約2週間おきに移植ごてを用いて丁寧にダイズの根を掘り上げ(連続5株、約0.3～0.5m²)、子葉節より切り離してよく洗浄し、根粒数および根粒重、根系全体の乾物重(根粒重を除く)を測定した。また、地上部も部位別に乾物重を測定するとともに、葉色や着莢数を測定した。子実重は3～4m²を坪刈りして算出した。脱穀後の粗子実より被害粒などを判別するとともに、目視でしわ粒を識別し、北陸研究センターの基準に基づき程度別に分類した。

(2) 耕うん法、耕深および施肥位置が根系発達としわ粒発生に及ぼす影響

供試圃場の土壌タイプは細粒グライ土で、排水対策として深さ25cmまでの明渠を5mおきに掘削した。オオムギ跡圃場でダイズ品種「エンレイ」を用いて試験を実施した。播種時期は2004年6月24日、栽植密度は条間70cm、株間9.5cmの15株/m²とした。

試験条件は、耕深を8cmと15cm、施肥位置を全層と側条、耕うん方法を正転耕と逆転耕とし、それぞれの条件を組み合わせる試験区を作成した。基肥窒素施肥量は6kg/10aとした。また、2006年には作土層を厚くするために7cm程度の盛土を行い、浅耕および対照条件と比較検討した。

調査方法は(1)に準じて実施した。

なお、本研究で対象としたしわ粒はちりめんじわである。

3) 結果と考察

(1) ダイズの根系としわ粒の関係

福井県内現地で栽培されたダイズの根重増加パターンをみると、図1-2-1に示すように、8月上旬の着莢期までは地上部乾物重と同様な推移を示すが、子実肥大期になると地上部乾物重が引き続き増加するのに対して、根重の増加は緩慢となるか、あるいは低下した。特に、軽度でも冠水害を被った圃場（図1-2-1のA市）では、子実肥大期後半の根重低下が顕著であった。子実肥大後期にあたる9月上旬の乾物重は、地上部が平均700～800 g / m²に対して根は40～50 g / m²と少なく、イネの1/2以下であった。このため、図1-2-2に示すように、T-R比（地上部と地下部の乾物重の比）は子実肥大期頃より急速に増加し、9月上旬のT-R比が高い場所で比較的しわ粒発生率が高かった。

しわ粒発生率が少ない場所では、子実肥大期にあたる8月末から9月上旬の葉身や莢の窒素濃度が高い傾向が明らかになっている⁽¹⁾。葉色の濃淡は、根系が土壌から吸収する窒素および根粒が固定する窒素の総量と、シンクサイズである莢数のバランスによって左右される可能性が考えられる。そこで、子実肥大期の9月10日の莢重/根重比を求めてしわ粒発生率との関係をみると、図1-2-3に示すように、有意性は得られなかったが両者の間に正の相関関係が認められた。また、同じサンプルの子実肥大後期にあたる8月下旬から9月上旬の葉身重低下率としわ粒発生率には弱い正の相関関係が認められた。この結果より、根の発達が悪く莢数が多い、すなわち特に子実肥大期のT-R比が大きいダイズでは、子実肥大期後半の早期落葉など生育の凋落が顕著となり、それが百粒重の低下を通してちりめんじわの発生増加にも関与していると考えられる。したがって、子実肥大期までの根系の発達が劣り、これに対して地上部のシンクである莢数や粒数が多い場合には、子実への同化産物や窒素の転流が劣る可能性が高い。

(2) 耕うん法および施肥位置が根系発達としわ粒発生に及ぼす影響

ダイズの初期生育に及ぼす耕うん法と施肥位置の影響をみると、図1-2-4に示すように、耕うん方法については地上部生育、根の生育ともにその影響は判然としなかったが、施肥位置の影響は大きく、側条施肥では生育初期から明らかに生育が促進され、培土期の地上部乾物重、根重ともに全層施肥より促進効果が大きかった。葉身SPAD値も側条施肥により明らかに高まった。一方、根粒着生への影響をみると、側条施肥より全層施肥のほうが着生数が多かった。

開花期においても施肥位置の影響は同様に認められたが、根粒着生数の側条施肥、全層施肥間の差は縮小し、葉身SPAD値は全層施肥区でより高まる傾向がみられた。一方、図1-2-5に示すように、T-R比は、正転区のほうが逆転区より、全層区のほうが側条区より、深耕区のほうが浅耕区よりも大きくなる、すなわち相対的に根重に対して地上部重が大きくなる傾向がみられた。

開花期同様に、莢伸長期でも引き続き正転耕や全層施肥区および深耕条件でT-R比が大きくなる傾向を示した。また、子実重や青立ちとの関連が強く、着莢の指標と考えられる子実肥大期の1節あたり莢数は、側条施肥で大きい傾向が認められたが、莢や子実への同化産物や窒素の転流量の大小との関連がうかがえる莖重あたりの莢数には、一定の傾向は認められなかった。

子実重に及ぼす各処理の影響をみると、図1-2-6に示すように、耕うん法との関係では全般に逆転耕のほうが正転耕よりも高い傾向を示すこと、施肥位置との関係では側条施肥のほうがわずかに高くなる傾向がみられることが認められたが、耕深との関係は明瞭でなかった。しかし、統計的に検定すると、いずれの処理でも有意な差は認められなかった。

子実の品質は、いずれの試験区でも外観上不良で、完全粒の比率は40～60%にとどまった。それぞれの処理の影響をみると、図1-2-6に示すようにちりめんじわの発生率は深耕よりも浅耕でわず

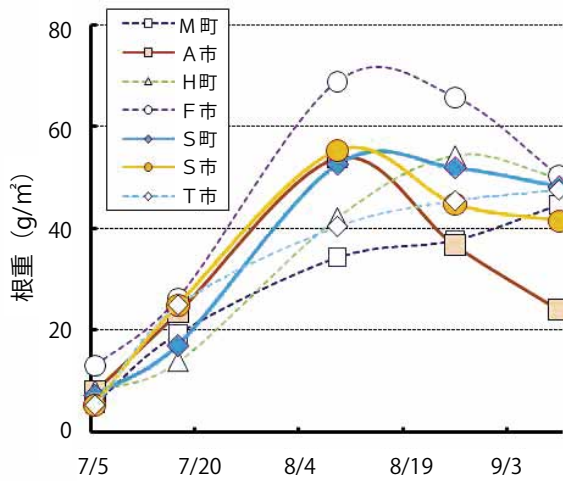


図 1-2-1 根重の推移 (2004 現地)

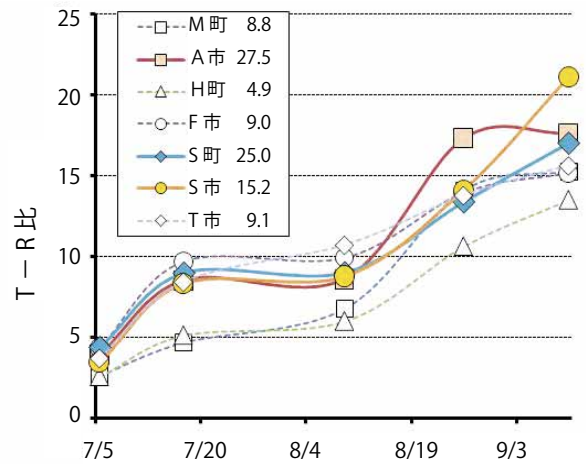


図 1-2-2 T-R 比の推移 (2004 現地)
(凡例は場所, 数値はしわ粒比率)

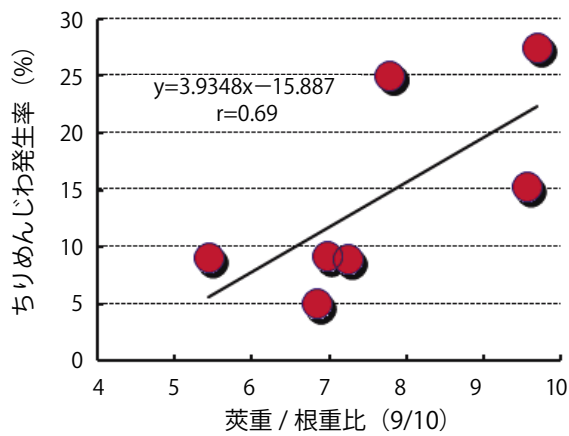


図 1-2-3 子実肥大期の莢重／根重比としわ粒の関係 (2004 現地)

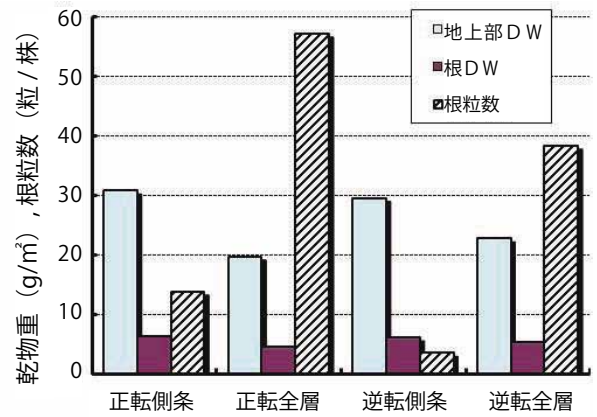


図 1-2-4 培土期 (7/16) の生育 (2004)

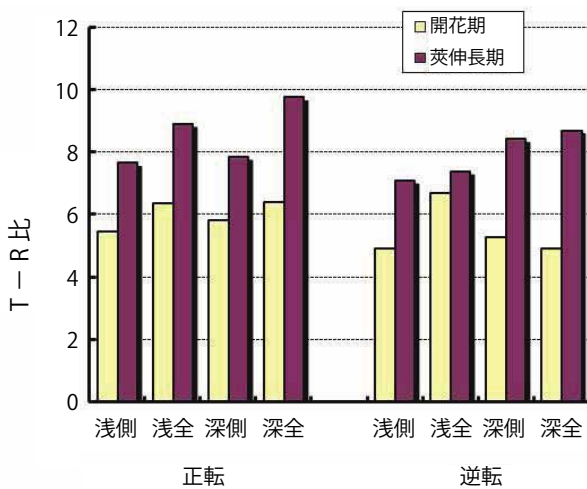


図 1-2-5 T-R 比の比較 (2004)

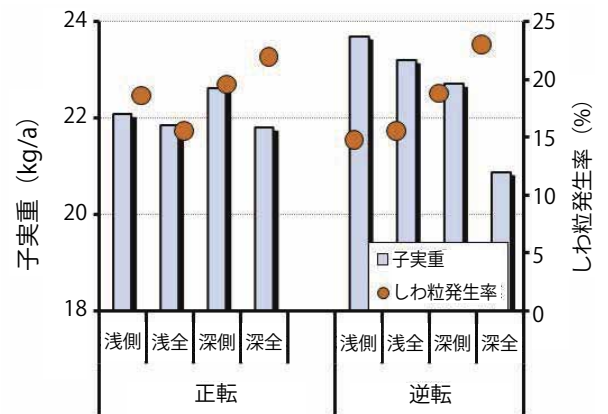


図 1-2-6 子実重としわ粒 (中～多) 発生率の比較 (2004)

かに軽微である傾向は認められたが、施肥位置や耕うん法の効果は判然としなかった。いずれの処理でも統計的に有意な差は認められなかった。百粒重も処理間の差は小さく、正転耕では全層施肥で、逆転耕では浅耕条件でわずかに大きかった。したがって、わずかではあるが百粒重が大きいほどしわ粒発生率が低下する傾向を認めた。

以上の結果より、生育初期においては施肥位置の影響が大きく、側条施肥により生育が促進され、根の発達や葉色発現に効果的であったが、生育が進むにつれて差が縮小し、子実重やしわ粒発生率に有意な差は認められなかった。耕うん方法では、高橋・井上（2004）が根長密度で報告⁽²⁾しているように、逆転耕のほうが正転耕より根の発達が良好で、正転耕ではT-R比が大きく推移した。耕深の影響は、開花期や莢伸長期に深耕区でT-Rがやや大きくなる傾向を認めた。しかし、いずれも子実重やしわ粒発生率との関係は明瞭ではなかった。これは、本試験では7月および9月の強雨により一時的に冠水したため、深耕条件では排水が不十分となった影響も考えられるため、耕深や耕うん法の効果を確実にするためには今後の更なる検討が必要と考えられる。

一方、耕深が根の張りに及ぼす影響をより明確にするために、盛土して作土層を深くした試験区と耕深を浅くした試験区を設け、対照区と比較した。その結果、図1-2-7に示すように、耕深が深い盛土区では根重が大きく推移し、子実重は対照区と大差なかったものの、しわ粒の発生率は明らかに低下した。一方、浅耕区では根重は小さく低収で、しわ粒発生率も高かった。これらの結果から、根重が大きいことや子実肥大期の茎重/根重比が小さいことが、ダイズの活力を子実肥大期後半まで維持し、それがしわ粒の発生にも影響を及ぼすことが再確認された。

しわ粒の発生率と生育経過との関係において、図1-2-8に示すように、子実肥大期の根粒着生と負の相関関係が認められ、根粒重が大きいほどしわ粒発生率は低下した。また、子実肥大期の莢重/茎重比とも正の相関関係が認められた。これらの結果は、子実肥大期の窒素吸収および窒素同化能力や、莢と茎のバランスがしわ粒の発生にとって重要であり、生育初期から根の分布域を拡大し、生育後半の子実肥大期まで一定の根の乾物重を維持する栽培管理が必要であることを示唆していると考えられる。

なお、葉身窒素濃度や葉身SPAD値については、生育初期に施肥によりSPAD値が高くて、その後の管理や気象条件の変化によりその状態が必ずしも子実肥大期まで維持されるわけではない（図は省略）ので⁽¹⁾、生育初期には根系を拡大し、生育中後期まで拡大した根系を維持することが、子実肥大期の葉身窒素濃度やSPAD値を高めることにつながると推測される。

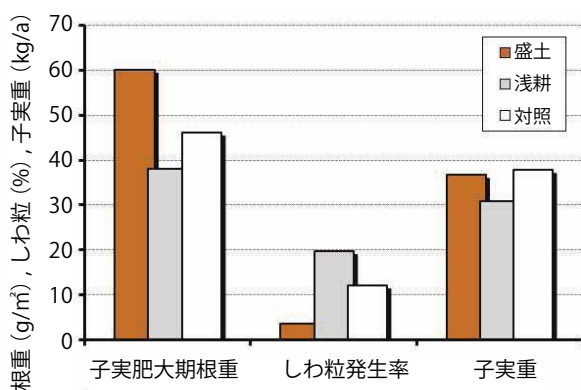


図1-2-7 子実肥大期の根重としわ粒、子実重 (2006)

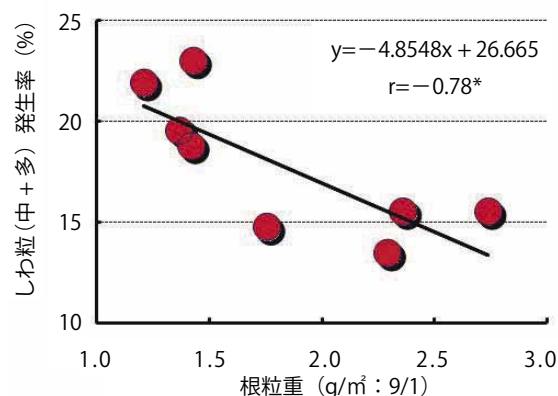


図1-2-8 子実肥大期の根粒重としわ粒の関係 (2004)

4) 摘要

ダイズの地上部と根の乾物重の推移を、栽培環境の異なる7か所の現地圃場において生育調査するとともに、耕うん法を中心とした栽培条件が根重やしわ粒の発生程度に及ぼす影響を調べた。その結果、根重が大きく子実肥大期の T-R 比が小さく推移するような栽培条件や、同時期の根粒重が大きい条件では、根系の窒素吸収や窒素固定能力の維持と子実肥大期後半の葉色低下を遅らせることを通じて⁽¹⁾、しわ粒の発生率を小さくできることが明らかとなった。しかし、栽培条件との関係については、冠水のない条件で追試験を行い、傾向をより明確にする必要がある。

5) 引用文献

1. 井上健一・高橋正樹 (2006) ダイズ子実肥大期の生育経過としわ粒発生率の関係. 北陸作物学会報, 41, 96-99
2. 高橋正樹・井上健一 (2004) 耕うん方法がダイズの生育, 収量および青立ち発生に及ぼす影響. 日作紀, 73 別 2, 162-163

3. 土壌水分ストレスの影響

○ 荒井清完¹・寺西敏子²・吉田 稔³・金田 宏⁴・鍋島弘明³・高橋 渉⁵・細川吉裕²

(¹ 富山県庁農業技術課 ² 元富山県農技センター 農業試験場

³ 富山県高岡農林振興センター ⁴ 富山県砺波農林振興センター

⁵ 富山県農総技センター 農業研究所)

1) はじめに

ダイズ作では、大麦の跡作を除けば5月下旬から6月上旬に播種作業が行われる。しかし、播種直後に梅雨入りすることが多いため、出芽不良になったり、出芽後の断続的な降雨による土壌高水分の影響から湿害が発生したりして、生育不良と減収につながる事例が見られる。

ダイズと土壌水分との関係については、これまでも播種直後の土壌高水分条件による低酸素ストレスが出芽率や初期生育量を低減させること⁽²⁾や、花芽分化期の土壌高水分条件は他の時期の土壌高水分条件と比較して、生育および収量を最も低減させること⁽⁷⁾が明らかになっている。しかし、出芽期から花芽分化期前までの高い土壌水分条件がダイズの生育や収量、子実の外観品質にどのような影響を及ぼすのかは明らかになっていない。

そこで、出芽期、本葉2～3葉期、本葉4～5葉期における土壌高水分条件がダイズの生育、収量および子実外観品質に及ぼす影響について検討する。

2) 材料と方法

(1) 耕種概要ならびに土壌高水分処理区の設定

2004年から2006年にかけて、富山市吉岡の富山県農業技術センター農業試験場内のダイズ圃場(10～30a)を供試した。5月25日～6月1日に品種「エンレイ」をm²当たり4～5g播種し、栽植本数がm²当たり10～14本になるよう間引きした。各年次とも6月下旬と7月上旬に2度培土を行った。

各処理区の面積は8m×10m(9～10条)とし、表1-3-1に土壌高水分処理区の構成を示した。4処理区とも2反復設置し、また同一処理区が隣接しないように配置した。高水分処理は、スプリンクラーで1日当たり60mm相当の水を群落上から散水するとこととし、試験期間中はいずれの処理区も雨よけ処理は行わなかった。

表 1-3-1 試験区の構成

試験区	処理時期
出芽期処理区	出芽期 (播種後5～10日目)
本葉2～3葉期処理区	本葉2～3葉期 (1回目培土後5日間)
本葉4～5葉期処理区	本葉4～5葉期 (2回目培土後5日間)
無処理区	処理なし

2006年は出芽期処理区のみとした。

(2) 土壌体積含水率および土壌の酸化還元電位調査

播種直後に簡易型土壌水分計 (ECH₂O 土壌水分計, EC-10) のセンサーを土壌表面から 10 cm の深さに埋設し, 土壌体積含水率を 6 時間毎に測定した. データは ECH₂O 簡易ロガー (Em5b) で播種日から開花期までの 47 ~ 50 日間を継続して記録した. 各処理区の土壌体積含水率は, 処理を行った 5 日間の全ての値を平均して表した. 無処理区の土壌体積含水率は他の処理区と同時期に測定した全ての値を平均して表した.

酸化還元電位は, 2005 年の各処理期間において 1 処理区 5 地点を 1 日に 1 回, 土壌用 Eh メータ (EHS-120 型) で測定した. 各処理区の酸化還元電位は, 処理を行った 5 日間の全ての値を平均して表した. 無処理区の酸化還元電位は他の処理区と同時期に測定した全ての値を平均して表した.

(3) 生育調査

開花期と子実肥大期に各処理区 10 株 2 箇所について主茎長, 主茎節数, 一次分枝数, 地上部乾物重, 根乾物重, 根粒着生量および地上部窒素含量を調査した. また, 開花後 35 日 ~ 60 日における葉色値を葉緑素計 (SPAD-502) によって測定した. 2006 年には, これらに加えて出芽期処理区と無処理区における主根長の推移を調査した.

(4) 成熟期調査

生育調査を行った 10 株 (各処理区 2 箇所) を抜き取り, 主茎長, 総節数, 着莢数および百粒重について調査した. また, 子実の外観品質は抜き取りした 10 株の内から粒厚 7.3 mm 以上の子実 1000 粒について, ちりめんじわ粒の発生率を調査した. 収量は, 各処理区 1 m²分を 2 箇所刈り取って調査した.

3) 結果

(1) 土壌体積含水率および土壌の酸化還元電位

土壌体積含水率は, 表 1-3-2 に示すように, 処理区によっては処理期間中の降雨で処理区と無処理区とが一時的に同程度になった期間があったが, いずれの年次でも, 土壌高水分処理によって無処理区と比べて高まった.

2005 年における処理期間中の土壌酸化還元電位は, 表 1-3-3 に示すように, 無処理区が 598.3 ~ 653.3 mV であったが, 他の処理区ではいずれも 293.3 ~ 306.3 mV に低下した.

(2) 生育

図 1-3-1 に 2006 年における無処理と出芽期処理区の主根長の推移を示した. 無処理区の主根は播種後 5 日から伸長を続けて, 43 日目には 27 cm 程度となったが, 出芽期処理区の主根は処理直後から伸長が停滞し, 播種から 43 日を経過しても主根長は 10 cm 程度であった.

根乾物重と根粒着生数は, 図 1-3-2 に示すように, 出芽期処理により播種後 12 日目から無処理区よりも少なくなり, その差は徐々に拡大した.

開花期は, 表 1-3-4 に示すように, いずれの年次も各処理区の間で違いは見られなかった. 開花期頃の主茎長や主茎節数, 根乾物重等は, 表 1-3-5 に示すように, 出芽期処理区で最も小さく, 処理時期が遅くなるにつれて無処理区に近い水準になった.

表 1-3-6 に 2005 年および 2006 年における子実肥大盛期の生育を示した. いずれの年次も主茎長や主茎節数, 根乾物重等は出芽期処理区で最も小さかった. 2005 年では処理時期が遅くなるにつれてそれらの生育量は大きくなり, 本葉 4 ~ 5 葉期処理区の生育量は無処理区よりも大きくなった.

図 1-3-3 に 2005 年における登熟期間の葉色値の推移を示した. 本葉 2 ~ 3 葉期処理区と本葉 4 ~

表 1-3-2 処理期間中の土壌体積含水率

年次	処理区	土壌体積含水率 (%)
2004	出芽期処理	40.7 (26.0)
	本葉 2~3 葉期処理	33.8 (20.7)
	本葉 4~5 葉期処理	33.5 (27.0)
2005	出芽期処理	40.7 (28.0)
	本葉 2~3 葉期処理	48.2 (32.4)
	本葉 4~5 葉期処理	39.1 (32.8)
2006	出芽期処理	42.1 (34.2)

2006 年は出芽期処理区のみとした。
表中の()内の数値は無処理区の値。

表 1-3-3 処理期間中の土壌の酸化還元電位 (2005 年)

処理区	土壌酸化還元電位 (mV)
出芽期処理	301.0 (598.3)
本葉 2~3 葉期処理	293.3 (653.3)
本葉 4~5 葉期処理	306.3 (634.5)

表中の()内の数値は無処理区の値。

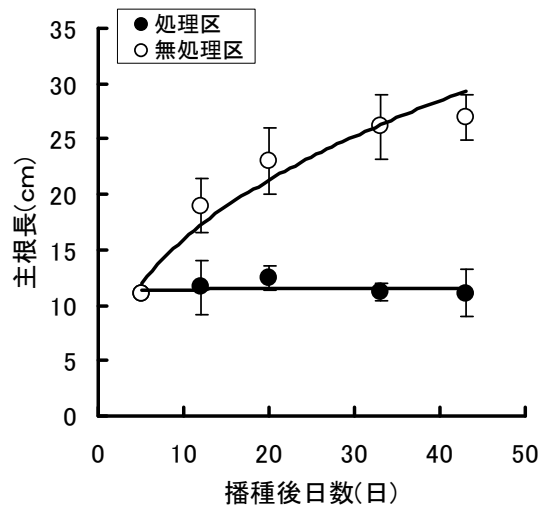


図 1-3-1 出芽期の土壌高水分条件がダイズの主根の伸長に及ぼす影響 (2006 年)

表 1-3-4 生育初期の土壤高水分処理がダイズの生育ステージに及ぼす影響

年次	処理区	播種日 (月/日)	開花期 (月/日)	落葉期 (月/日)	成熟期 (月/日)
2004	出芽期処理	5/26	7/12	—	10/1
	本葉2～3葉期			—	
	本葉4～5葉期			—	
	無処理			—	
2005	出芽期処理	5/25	7/14	9/20	9/24
	本葉2～3葉期			9/21	9/25
	本葉4～5葉期			9/21	9/25
	無処理			9/24	9/26
2006	出芽期処理	5/31	7/20	9/25	9/30
	無処理			9/26	10/1

表 1-3-5 生育初期の土壤高水分処理がダイズ開花期頃の生育に及ぼす影響

年次	処理区	主茎長 (cm)	主茎節数 (節/本)	一次分枝数 (本/本)	地上部 乾物重 (g/m ²)	根乾物重 (g/m ²)	地上部 窒素含量 (g/m ²)
2004	出芽期処理	43.2	10.9	1.3	10.8	9.5	1.3
	本葉2～3葉期	48.4	11.1	1.8	16.4	9.5	1.6
	本葉4～5葉期	52.7	11.5	2.2	20.8	10.4	2.2
	無処理	53.0	11.7	2.1	21.7	11.2	2.3
2005	出芽期処理	38.8	9.6	0.0	26.7	13.1	0.7
	本葉2～3葉期	46.1	10.7	0.8	35.9	27.6	1.1
	本葉4～5葉期	48.5	11.3	1.1	53.8	29.5	1.7
	無処理	48.9	11.4	1.3	71.2	28.5	2.1
2006	出芽期処理	50.6	11.7	1.0	123.1	17.9	3.1
	無処理	65.4	12.2	0.9	204.3	33.0	4.9

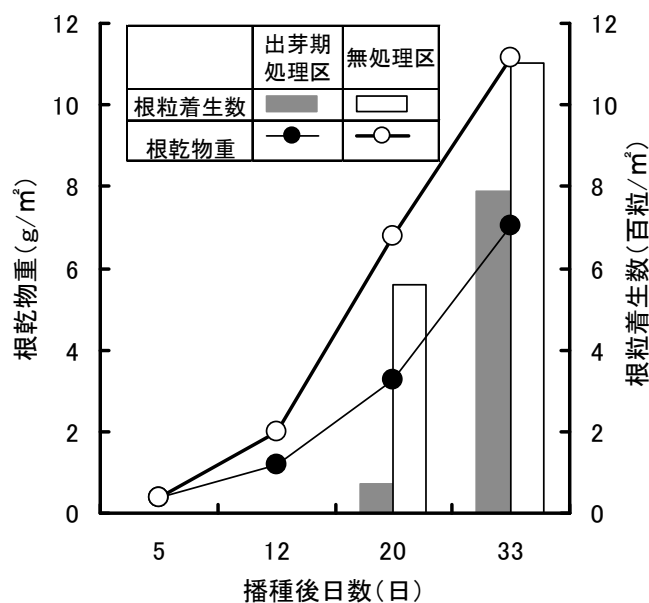


図 1-3-2 出芽期の土壤高水分条件がダイズの根乾物量および根粒着生数の推移に及ぼす影響 (2006 年)

表 1-3-6 生育初期の土壤高水分処理がダイズ子実肥大盛期の生育に及ぼす影響

年次	処理区	主茎長 (cm)	主茎節数 (節/本)	一次 分枝数 (本/本)	地上部 乾物重 (g/m ²)	根乾物重 (g/m ²)	地上部 窒素含量 (g/m ²)
2005	出芽期処理	50.0	12.5	2.9	368.3	47.6	13.1
	本葉2~3葉期	63.4	14.5	3.0	705.9	96.8	23.9
	本葉4~5葉期	63.5	14.7	3.4	1032.3	101.6	33.4
	無処理	63.5	14.6	3.9	824.7	99.4	28.2
2006	出芽期処理	52.3	11.8	1.8	526.9	41.7	16.5
	無処理	68.0	12.3	3.0	698.3	41.5	21.2

2005年は播種後91日目,2006年は播種後84日目に調査した。

表 1-3-7 生育初期の土壤高水分処理がダイズの収量構成要素, 収量およびちりめんじわ粒の発生率に及ぼす影響

年次	処理区	総節数 (節/m ²)	稔実莢数 (莢/m ²)	稔実粒数 (粒/m ²)	百粒重 (g)	子実重 (g/m ²)	ちりめんじわ粒 (粒数%)
2004	出芽期処理	484	701	1294	25.9	269	86.7
	本葉2~3葉期	484	735	1342	25.7	286	88.9
	本葉4~5葉期	528	748	1165	27.5	288	83.5
	無処理	502	755	1357	25.9	284	85.1
2005	出芽期処理	297	627	1114	29.1	312	25.1
	本葉2~3葉期	366	791	1437	31.4	429	17.3
	本葉4~5葉期	392	871	1597	29.9	453	16.8
2006	無処理	442	973	1860	31.9	501	19.9
	出芽期処理	333	600	1150	27.2	336	32.8
	無処理	352	595	1171	33.0	379	20.5

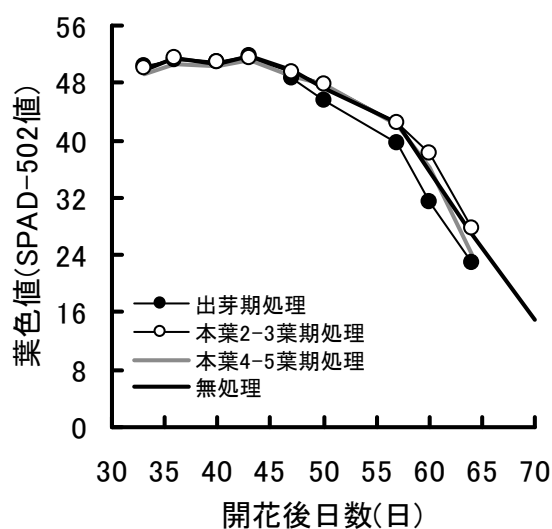


図 1-3-3 生育初期の土壤水分がダイズ登熟期間中の葉色値の推移に及ぼす影響 (2005年)

5葉期処理区の葉色値は、無処理区とほぼ同様に緩慢に低下し、出芽期処理区の葉色は他の処理区よりも早く低下した。また、2005年における開花期から落葉期までの日数は、表1-3-4に示すように、出芽期処理区で最も少なく、無処理区よりも4日間短くなった。

(3) 収量、収量構成要素および子実外観品質

総節数と稔実莢数は処理時期が早い程少なくなった。また、稔実粒数は2004年では明確な傾向が見られなかったが、2005年と2006年では処理時期が早い程少なくなった。

子実重はいずれの年次も出芽期処理区で最も少なくなった。一方、ちりめんじわ粒の発生率は2004年で明確な傾向が見られなかったが、2005年と2006年では、表1-3-7に示すとおり、出芽期処理区においてちりめんじわ粒が他の処理区よりも多く発生した。

4) 考察

本試験では、生育初期の土壤高水分処理のうち出芽期における処理が生育期間を通して生育量を最も減少させるとともに、総節数や稔実莢数、稔実粒数を減少させて、収量の減少につながる事が明らかになった。

福井ら⁽¹⁾および中山ら⁽⁶⁾の報告にあるように、生育初期の根量が早期に確保できなければ開花期以降の根量および地上部生育量、地上部窒素吸収量も十分に確保できないことが本試験でも確かめられ、特に出芽期の影響が最も大きいことが明らかになった。

このことは、ダイズの根圏がイネと異なって主根型⁽³⁾であって、この主根の伸長および分岐根発生の始期が出芽期に相当すること⁽⁴⁾から、出芽期の土壤が高水分で低酸素条件になった場合には、主根の伸長や分岐根の発生と伸長に影響が生じやすいと考えられた。

生育期間を通して地上部乾物重および窒素吸収量が低減した要因としては、根量の減少が根粒着生量の減少に影響^(5,6)し、地上部窒素含量の減少さらには地上部乾物生産の減少⁽⁷⁾に結びついたためと考えられた。

地上部生育量の減少は、今野ら⁽⁸⁾の報告と同様に、主茎節数や一次分枝節数の減少を招いたため、稔実莢数や稔実粒数さらには子実重が減少したと考えられた。

2005年の子実肥大盛期において、無処理区の生育量が本葉4～5葉期処理区よりも小さくなったが、開花期前から無処理区の土壤体積含水率が本葉4～5葉期処理区よりも低く推移しており、開花期以降では無処理区の土壤が乾きすぎたために、根乾物重の増加さらには地上部生育量の増加に影響が生じたと推察された。

2005年および2006年において出芽期の土壤高水分の影響を受けたダイズでは、子実肥大期以降の葉色が早く低下するとともに登熟日数が少なくなったことから、生育期間中の根量や地上部窒素含量が登熟条件を変化させる一つの要素になると推察された。2004年では試験圃場全体で早期にほぼ同時期で落葉したが、これは子実肥大期以降に度重なったフェーン現象による強制落葉等が影響したと推察された。

登熟期間中の葉色の早期低下や登熟日数の短縮は、ちりめんじわ粒の発生に影響を及ぼすと考えられたが、今回の試験では生育量や収量のように明確には現れなかった。特に2004年は、前述のとおり度々フェーン現象に遭遇して、試験圃場全体で早期に落葉し、ちりめんじわ粒が同程度で多発したことから、ちりめんじわ粒の発生には栽培条件と同様に登熟期間中の気象条件が強く関係すると考えられた。

これらのことから、生育初期、特に出芽期の土壤高水分条件はダイズの生育期間を通して根およ

び地上部の生育量を最も減少させることが明らかになった。さらに、総節数や稔実莢数、稔実粒数の減少により減収するとともに、登熟期間における葉色の早期低下や早期落葉、ちりめんじわ粒の発生にも影響することが示唆された。

また、本試験は砂質浅耕土壌地帯で行っており、水田の場合の減水深は1日当たり1.5～2.0 cmと地下への浸透が大きく、畑状態であっても地下への透水性は良好であった。しかし、このように透水性に恵まれた圃場であっても、ダイズの出芽期に土壌体積含水率が高くなった場合には、ダイズは地下部から生育が阻害され、地上部生育量や総節数、稔実莢数および稔実粒数の減少から減収に結びつくことが明らかになった。

以上、ダイズのちりめんじわ粒の発生低減を図って高生産を目指すには、中山ら⁽²⁾の報告も考慮して、作付け前から出芽期頃までの排水対策を徹底して土壌高水分条件を回避し、出芽率や苗立数とともに初期生育量を多く確保するとともに、登熟期間の葉色の早期低下や早期落葉を防止することが必要であると考えられた。

5) 摘要

ダイズの出芽期から本葉4～5葉期にかけて、人為的に土壌高水分条件を作出し、生育や収量および収量構成要素、ちりめんじわ粒の発生率に及ぼす影響について検討した結果は以下のとおりであった。

(1) 出芽期の土壌高水分条件は、主根の伸長、根量を最も減少させるとともに、根粒着生数、地上部生育量、さらには総節数や稔実莢数、稔実粒数を減少させて減収につながりやすい。一方、本葉2～3葉期および本葉4～5葉期の土壌高水分条件が生育量および収量に及ぼす影響は、出芽期の土壌高水分条件が及ぼした影響に比べて小さい。このため、出芽期における排水対策は重要である。

(2) 出芽期の土壌高水分条件は、子実肥大期以降の葉色の早い低下とともに登熟日数の短縮につながり、ちりめんじわ粒の発生を招いて子実外観品質が低下する傾向がある。

6) 引用文献

1. 福井重郎・伊藤隆二(1952) 生育時期を異にした短期過湿処理が大豆の生育収量に及ぼす影響に就て. 日作紀, 20 (3-4), 271-273
2. 中山則和・橋本俊司・島田信二・高橋幹・金榮厚・大矢徹治・有原文二(2004) 冠水ストレスが発芽時のダイズに及ぼす影響と種子含水率調節による冠水障害の軽減効果. 日作紀, 73 (3), 323-329
3. 田中典幸(1964) マメ科作物における根群の形態形成に関する研究 1. 主根における根群形成の3つのタイプについて. 日作紀, 33 (1), 17-24
4. 昆野昭晨(2001) 転作全書. 第2巻, 東京, 農文協, 45-67
5. 松尾和之(2005) 農業技術体系 作物編 6 追補第27号. 東京, 農文協, 204の52-59
6. 中山孝彦・河村久紀・北浦裕之・中井譲(2007) 麦跡輪換田における大豆の浅耕うね立て同時播種技術. 滋賀農技セ研報, 46, 20-28
7. 杉本秀樹(1994) 水田転換畑におけるダイズの湿害に関する生理・生態学的研究. 愛媛大学農学部紀要, 39, 75-134
8. 今野周・鈴木泉・阿部吉克・大沼彪(1991) 乾物生産からみた大豆多収要因の解析と肥培管理技術 第2報 多収大豆の乾物生産特性. 山形農試研報, 25, 63-83

第2章 作物体の水分条件の変動が しわ粒発生に及ぼす影響の解明

1. 作物体の水分条件の変動が種皮剥離及び しわ粒発生に及ぼす影響

○佐藤 徹¹・服部 誠¹・田村隆夫²・市川岳史³

(¹新潟県農総研 作物研 ²新潟県農総研 高農技 ³新潟県新津農業普及指導センター)

1) はじめに

しわ粒の発生要因としては、品種間差がある^(2, 7, 8)ことや、収穫後の乾燥方法による発生機構については詳細に検討されている^(2, 6)。また、しわには2種類あり、子実の臍の反対側が細かく波状となるちりめんじわと種皮が子葉から浮いて白くみえる種皮の剥離状態（以下剥離と略）を伴って亀甲状に隆起する亀甲じわに大別できる⁽⁴⁾。ちりめんじわの発生要因としては子実肥大期の養水分ストレス⁽⁹⁾や窒素含有量の低下⁽⁵⁾に起因していることが示唆されている。一方、立毛中に発生する亀甲じわについての発生要因や発生機構についての詳細な検討はほとんどされていない。新潟県では特に亀甲じわの発生が多い⁽⁹⁾ため、収穫前の立毛中に発生する亀甲じわの発生要因および発生機構について子実、さらに種皮と子葉の水分変動から検討した。

2) 材料と方法

2006年にダイズ品種「エンレイ」を新潟県農業総合研究所作物研究センター内圃場（新潟県長岡市、水田転換畑、連作2年目）で標準栽培し、2006年10月に収穫後、以下の試験1から3を実施した。また、各時点の子実水分は実験終了後に絶乾による単粒乾物重を測定し、算出した。

(1) 試験1：子実水分の違いが吸湿による種皮の剥離発生に及ぼす影響

吸湿前の子実水分の違いが吸湿後の剥離の発生に及ぼす影響を調査するため、子実水分の異なる剥離の生じていない大粒120粒を用い、1粒ずつ粒重を測定した後、アルミカップに入れ、水を張ったバットに浮かべ、全体をビニール袋で包み、湿度約95%、温度約12.5℃の状態、定温器内に静置した。4時間後に剥離発生状況および粒重を1粒ずつ調査した。

(2) 試験2：子葉と種皮の水分吸収速度の違い

子葉と種皮の水分吸収速度の違いを調査するため、子実水分約12%の大粒15粒（1区5粒、3反復）を用い、子葉と種皮をナイフで切り分け、試験1と同様な方法で定温器内（湿度95%、温度12.5℃）に静置した。水分吸収量を測定するため、経時的に重量を測定した。

(3) 試験3：乾・湿の繰り返しと亀甲じわ粒の発生

剥離した粒が亀甲じわ粒へと固定される過程を調査するため、子実への乾燥と吸湿の繰り返し条件を設定した。材料は剥離を生じている子実水分約11%の大粒20粒を用い、吸湿条件としてダイズ収穫時期の自然条件を想定して、16時～9時は試験1と同様な方法で定温器内（湿度95%、温度

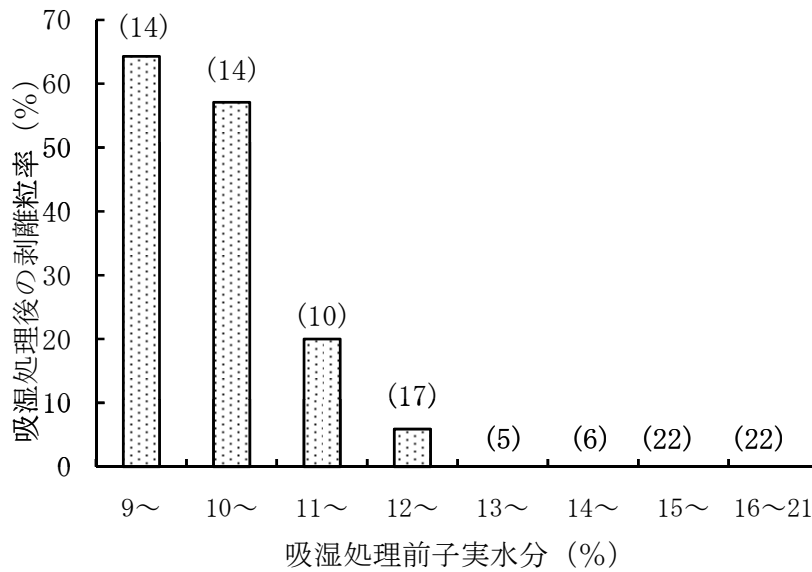


図 2-1-1 子実水分の違いによる吸湿後の種皮の剥離発生

() は調査粒数を示す。吸湿条件は温度 12.5℃-湿度 95%。調査は吸湿処理 4 時間後に行った。

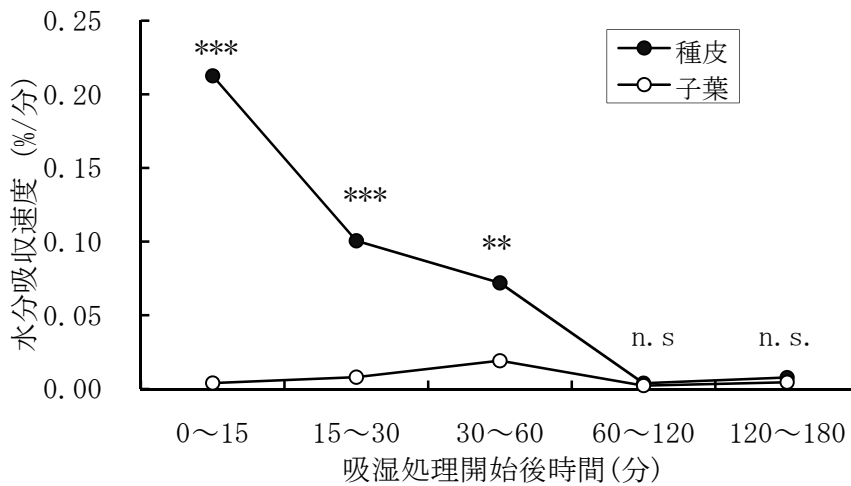


図 2-1-2 子葉と種皮の水分吸収速度

吸湿前の水分約 12%、
吸湿条件は温度 12.5℃-湿度 95%。
、* はそれぞれ 1%、0.1%水準で有意差あり、n.s. は有意差なし

12.5℃)に静置し,乾燥条件として9時~16時は実験室内(湿度約50%,温度約20℃)に静置し,乾・湿の繰り返し処理を4日間行った.調査は毎日,条件が変わる9時と16時に亀甲じわの発生の有無および粒重を1粒ずつ調査した.

(4) 試験4:圃場における子実水分変動の実態

ダイズ収穫時期の晴天日における単粒子実水分が時刻により,どのように分布しているかを調査するため,晴天日の2006年10月19日10時および14時,10月20日7時に,新潟農総研圃場で標準栽培した「エンレイ」を各3株抜き取り,各株の上,中,下位から各10莢を採取し,莢を手で剥き,直ちに子実単粒重を測定した.各時点の調査粒数は164~169粒であった.調査終了後に絶乾による乾物重を測定し各時点の子実水分を算出した.

3) 結果

(1) 試験1:子実水分の違いが吸湿による種皮の剥離発生に及ぼす影響

図2-1-1に示すように単粒子実水分が13%以上の粒は吸湿処理により子実水分が高まっても,剥離は発生しなかった.一方,子実水分が12~13%の粒では吸湿により剥離が6%,11~12%の粒では20%,11%未満では50%以上の粒に発生した.

(2) 試験2:子葉と種皮の水分吸収速度の違い

子実水分が12%程度まで乾いた粒において,吸湿処理を行った結果,吸湿処理開始から1時間後までの水分吸収速度が子葉と種皮で異なり,図2-1-2に示すように種皮は子葉に比べ有意に水分吸収速度が速く,図2-1-3のように1時間後の水分含有率は子葉が約1%増加したのに対して,種皮では約6%増加した.

(3) 試験3:乾・湿の繰り返しと亀甲じわ粒の発生

剥離粒に吸湿処理を行うと,図2-1-4に示すように子実水分の増加に伴い亀甲じわ粒がみられ,その後,湿度の低い室内に放置すると子実水分の低下とともに,亀甲じわが消える粒としわのまま残る粒がみられた.再度吸湿処理を行うと前回よりも亀甲じわが発生する粒が増加する傾向がみられ,乾・湿の繰り返しとともにしわが消えない粒が徐々に増加し,亀甲じわ粒の割合が増加した.

(4) 試験4:圃場における子実水分変動の実態

圃場における子実水分変動を図2-1-5に示した気象条件下で測定し,図2-1-6に示した.晴天日における子実水分の経時的な変動は大きく,日中の湿度の低下に伴い子実水分が13%以下になる粒もみられ,さらに11%以下まで低下した粒も確認された.一方,晴天日であったが,夜間の湿度は90~100%と高く,早朝において結露が観察された.朝7時の子実水分は夜間の吸湿により,日中よりも高く分布していた.また,亀甲じわ粒も早朝で多く,日中は少ない傾向が観察された.晴天日でも,子実は日中と夜間で,乾燥と吸湿が繰り返されていた.

4) 考察

ダイズしわ粒について,収穫後の乾燥過程における発生については詳細な検討がされており^(2,6),乾燥によるしわ粒の発生機構として,子実内部の水分拡散と応力によりしわが発生すると考えられている⁽³⁾.一方,収穫前の発生要因として,ちりめんじわについては子実肥大期の養水分ストレス等^(5,9)が関係していることが示唆されている.しかし,亀甲じわについては収穫時期が遅れることにより増加するとの知見はあるものの,立毛中の発生機構については検討されていない.

本試験の結果から,立毛中における亀甲じわ粒の発生機構としては,成熟期頃に晴天が続いた場

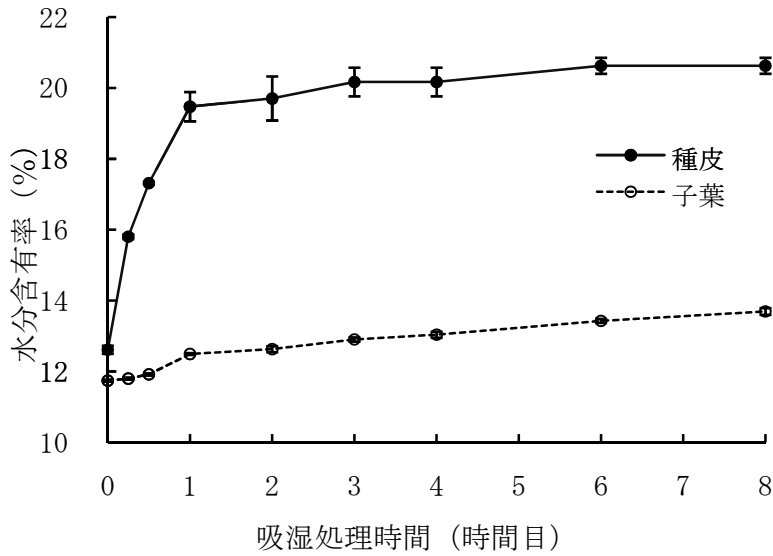


図 2-1-3 吸湿後の子葉と種皮の水分含有率の推移

吸湿条件は温度 12.5℃-湿度 95%。誤差線は標準誤差

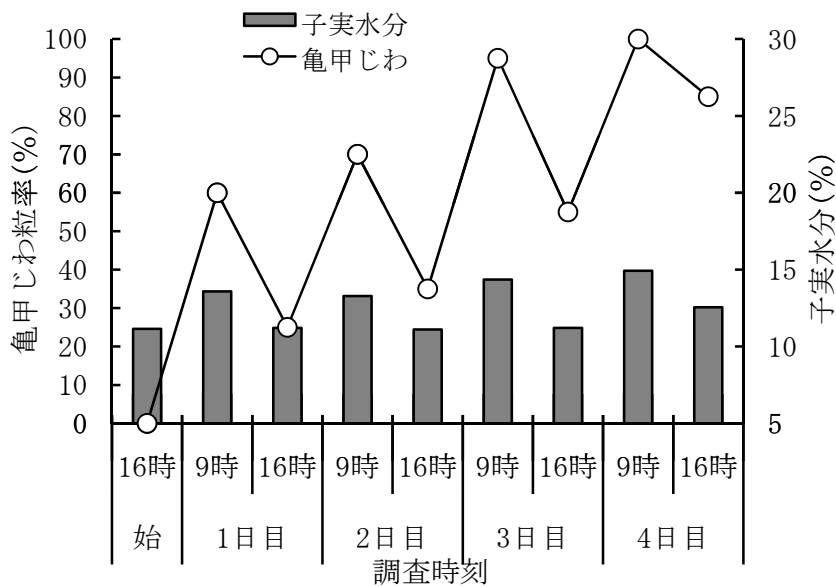


図 2-1-4 乾・湿処理の繰り返しと亀甲じわの発生

9時～16時は室内(室温 20℃-湿度 50%)に静置し、
16時～9時は定温器内(温度 12.5℃-湿度 95%)に静置。
子実水分約 11%の種皮が剥離した 20 粒を用いた。

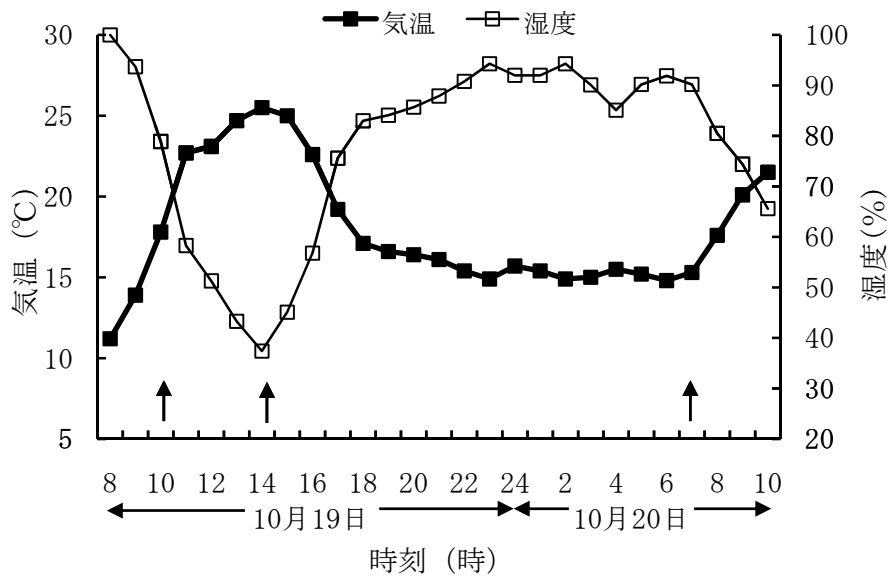


図 2-1-5 晴天日の気温および湿度の変化

2006 年, 新潟農総研気象観測値 (長岡市)
 ↑は試験 4 のサンプルを採取した時刻.

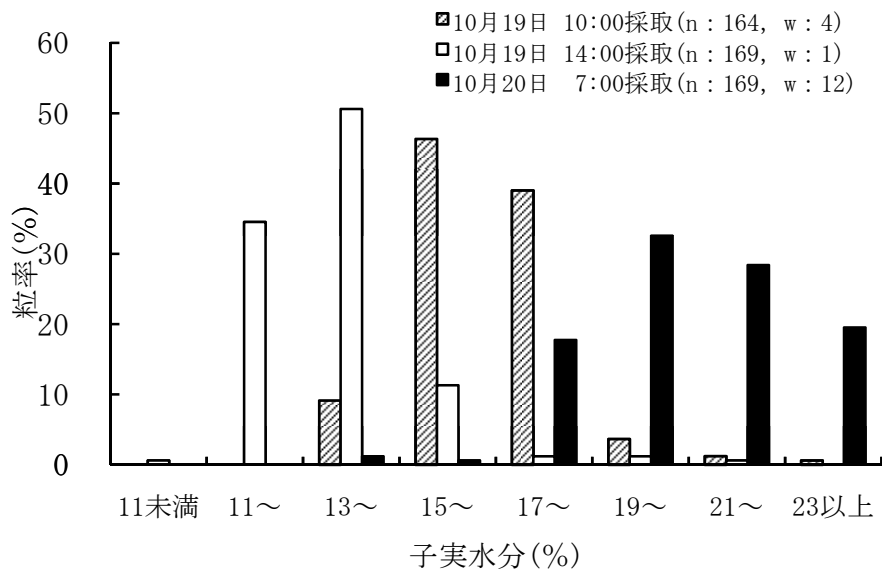


図 2-1-6 自然条件下における「エンレイ」の子実水分の分布

2006 年, 新潟農総研圃場 (長岡市): 凡例の n: 調査粒数,
 w: 亀甲じわ粒率 (%)

合や刈遅れ等により、子実水分が13%未満、特に11%以下にまで乾燥した場合、その後、夜露や降雨により子実が吸湿する際に、子葉よりも種皮の水分吸収速度が速いために、まず子葉から種皮が剥離し、その後、種皮が吸湿を続けることにより種皮が伸長し、伸長した種皮が波打ち亀甲じわとなることが示唆された。このように、立毛中の亀甲じわの発生は収穫後の乾燥過程における発生機構（内部からの水分拡散）と異なり、外部からの水分吸収に起因していると考えられた。また、一度、亀甲じわになった粒は、再度乾燥させるとしわが消える粒と消えない粒があったことから、日中の乾燥により一旦しわが消える粒もあるが、夜露等により再度亀甲じわが発生し、その後も昼間の乾燥と夜の吸湿の繰り返しや、晴天日と雨天との繰り返しにより、亀甲じわの発生と消滅が繰り返され、徐々に種皮の弾力性が失われ、亀甲じわへと固定されると考えられた。種皮の弾力性の違いについての要因は不明であるが、ミネラル含量としわ粒の発生について関連があるとの報告もあり^(1, 4, 8)、ミネラル含量の多少が乾・湿の繰り返しによる種皮の弾力性と関連している可能性も考えられ、今後の検討が必要である。

以上のことから、ダイズの立毛中における亀甲じわの発生は、成熟期頃に子実が乾燥と吸湿を繰り返すことにより、亀甲じわへと固定されると考えられ、亀甲じわの防止には成熟期以降、乾・湿の繰り返しを行わないようにすることが必要であり、成熟期後刈り遅れることなく、直ちに収穫することが重要であると考えられた。

5) 摘要

ダイズ亀甲じわ粒の立毛中の発生要因について子実の水分変動との関係から検討した。その結果、単粒子実水分が13%未満に乾燥した後に吸湿すると子葉と種皮の水分吸収速度の違いから剥離を生じ、さらに、水分を吸収することにより亀甲じわになると考えられた。その後、日中の乾燥によりしわが消える粒もあるが、夜露等により亀甲じわが再度発生し、その後も日中の乾燥と夜間の湿潤状態の繰り返しにより、亀甲じわの発生と消滅が繰り返され、種皮の弾力性が失われ、亀甲じわが固定されると考えられた。亀甲じわの防止のためには早めに刈り取ることが重要であり、成熟期になったら、刈り遅れることなく、直ちに収穫する必要がある。

6) 引用文献

1. 相澤直樹・島田信二・鈴木雅光 (2004) カルシウム施用と登熟期栽培条件がダイズのしわ粒発生に及ぼす影響。日作紀, 73 (別1), 78-79
2. 大黒正道・澤村宣志・佐々木豊 (1997) 高水分大豆の品質保持乾燥技術に関する研究。北陸農試報, 39, 1-21
3. 大豆乾燥調整マニュアル平成12年度豆類シリーズ (2000) 全国農業改良普及協会。東京, 3-32
4. 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。北陸作物学会報, 40, 128-130
5. 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。北陸作物学会報, 41, 96-99
6. 金子均・諸橋準之助・遠藤武弘・種田貞義・今井悌三 (1988) 不良気象下における大豆の収穫乾燥技術。新潟農試研報, 36, 21-34
7. 菊池彰夫・村田吉平・田淵公清 (1992) 1991年の秋期の長雨によるダイズ被害について 1. 被害粒発生の品種間差異と成分特性。日作東北支部報, 35, 95-96

8. 増田欣也・松尾和之・渡辺輝夫 (2005) ダイズ品種サチユタカにおける種皮ミネラル成分としわ粒発生との関係．関東東海北陸農業研究成果情報，平成 17 年度，38-39
9. 田渕公清 (2007) 北陸地域におけるダイズのしわ粒など品質低下要因の解明と対策．北陸作物学会報，42, 140-143
10. 田村良浩 (2007) 新潟県における大豆栽培の現状と課題．北陸作物学会報，42, 133-135

第3章 作物栄養条件がしわ粒発生に及ぼす影響の解明

1. ミネラル等の養分過不足がしわ粒発生に及ぼす影響

○ 関口哲生¹・小原 洋²・新良力也¹・亀川健一³

(¹ 中央農研 土壌肥料研究領域 ² 農環研 農業環境インベントリーセンター

³ 元中央農研 北陸水田利用部)

1) はじめに

北陸産ダイズは1, 2等の上位等級比率が低迷し、しわ粒はこの等級格下げの主要な要因となっており、しわ粒の軽減は喫緊の課題となっている。これまでにちりめんじわ粒発生に関する知見として、収穫期の断続的な降雨や夏の高温等の天候の影響に起因する可能性⁽¹⁾や、被覆尿素、あるいは石灰窒素の深層施肥により収量が向上し、ちりめんじわ率が軽減すること^(6,10)、子実肥大期の葉色が濃く、窒素含有量が高い場合にちりめんじわ発生率が低下すること⁽⁴⁾等が報告されている。また、ちりめんじわ、亀甲じわの種類の記事がないものの、登熟終期の落葉処理によるしわ粒発生率の増加と子実の充実性との関連性が指摘され⁽⁹⁾、また、カルシウム施用により種皮の柔軟性が高まるためしわ粒発生が減少すること⁽¹⁾が報告されている。さらに北陸地域で生産されるダイズの大部分が「エンレイ」であることから品種の性質である可能性も指摘されている⁽⁴⁾。しかしながら、発生条件やメカニズムの詳細、効果的な対策技術は明らかになっていない。

筆者等は生産現地の予備調査により、ちりめんじわは連作、湿害などで早期に落葉する圃場に発生が見られたため、ダイズが生育する養分、排水性等の圃場の土壌条件の違いもちりめんじわ発生に関与している可能性が高いと考えた。

そこで本課題では、ちりめんじわの発生条件を解明することを目的として、試験1-1, 1-2ではまず、早期落葉のモデルとして、ソースを制限する切葉処理を行った。試験1-1では、切葉量、切葉時期を変えた切葉処理が、ちりめんじわ発生率に及ぼす影響を検討した。試験1-2では、試験1-1の再現性を確認するため、試験1-1の切葉処理でちりめんじわの発生率が最も高まった切葉量で、栽培年、圃場を変えて調査した。また、施肥条件の違いが切葉処理によるちりめんじわ発生率に及ぼす影響も検討した。試験1-3では、相対的にソース過剰条件になるように摘葉処理を時期別に行ない、ちりめんじわに及ぼす影響を検討した。

次に、圃場の養分条件の違いが、ちりめんじわに及ぼす影響を明らかにするため、試験2-1では、ダイズ用配合肥料及び石灰肥料を施用する慣行施用区(慣行施用区)とダイズ用配合肥料及び石灰肥料とも無施用の区(無施用区)を設定して連作栽培を行い、ちりめんじわ発生率に及ぼす影響を検討した。また、試験2-2では、さらにちりめんじわが多発した土壌に対しどのような成分を補給すればしわ粒が軽減されるかについてポット栽培で検討した。

2) 材料と方法

(1) 圃場及び栽培条件, 試験方法

試験はポット試験である試験 2-2 を除いて, いずれも新潟県上越市の中央農業総合研究センター北陸研究センター内の水田転換畑圃場 (転換前は細粒質斑鉄型グライ土) で行った. 供試ダイズ品種は北陸地方の主要品種である「エンレイ」とした. ダイズの栽培は, 株間 15 cm, 畝間 75 cm 間隔で 1 株 2 本立てとした. 各年とも播種は圃場試験では 5 月下旬に行った. 開花期は 7 月中旬, 成熟期は慣行施用区で 10 月初旬であった.

試験 1-1 は, A 圃場 (約 4.5 a, 2003 年に水田を転換畑とし, 2003, 2004 年にダイズを栽培) で実施した. 試験 1-2, 1-3, 2-1 は B 圃場 (約 5 a) で実施した. 試験の概要を表 3-1-1 に示した. B 圃場は 2002 年に畑転換し, 圃場内を 5 m × 10 m の区に区分けして, 無施用区, 慣行施用区をそれぞれ 2 反復で設定した. 2002 年～2006 年まで同一の区でダイズを 5 作連作栽培した (試験 2-1).

A 及び B 圃場の慣行施用区の施肥は, ダイズ用配合肥料 (大豆 450) を N, P, K, Mg としてそれぞれ 2, 3.3, 8.3, 9.0 kg/10a 相当を毎年全層施用した. 石灰質肥料は A 圃場ではアルカリ分が 66 kg/10a 相当となる様に消石灰と苦土炭カル (Mg として可溶性苦土 9%,) それぞれ 60, 45 kg/10a を毎年全層施用した. B 圃場の慣行施用区では, 2002 年は消石灰を 100 kg/10a, 2003 年は炭カルを 150 kg/10a, 2004～2006 年は, 毎年消石灰を 150 kg/10a 全層施用した. B 圃場の無施用区は, 各年とも肥料, 資材を全く投入しなかった.

試験 1-1 の切葉処理は, 2004 年に時期と量を変えて行った. 切葉処理は開花期～葉の黄化が始まる時期まで約 10 日間隔で行い, 切葉量は全ての小葉を切除するもの (全小葉切除), 本葉の 3 枚の小葉の内, 左右の側葉を全て切除するもの (側小葉切除), 頂小葉のみを全て切除するもの (頂小葉切除), 無処理の 4 処理区とした. 但し開花期頃から繁茂期頃に切葉処理した個体は, 切葉処理後も分枝から新しい小葉が成長したが, これについては切葉処理は行わなかった. 切葉した小葉は乾物重を測定した.

試験 1-2 の切葉処理は, 2005 年に慣行施用, 無施用区でそれぞれ行い, 子実肥大期～小葉の黄化が始まる時期に約 1 週間間隔で全小葉切除を行った.

試験 1-3 の摘莢処理は, 前年にちりめんじわ粒が多発した無施用区で 2006 年に実施し, 子実肥大期～葉の黄化が始まる時期に約 10 日間隔で着莢数の 2 分の 1 を偏りができないように全体から切除した.

切葉処理, 摘莢処理は, 各時期に 2～3 株行った.

試験 2-2 は, ちりめんじわ発生率が高かった B 圃場の無施用区の作土を用いて, ポット栽培試験を 2006 年に実施した. 供試土壌は 2006 年のダイズ作付け前の 5 月中旬に採土し, 1cm のふるいを通した. 試験区は, 無施用区, 消石灰のみ施用 (消石灰) 区及び消石灰とダイズ用配合肥料 (大豆 450) を施用した対照区を設定した. 各処理は 6～7 反復で行い, 1/5000a 深型ポットに土壌を 4.5 kg 充填した. 播種は 6 月上旬に 3 粒播きし, 第 3 本葉展開期までに 1 本立てとした. ポット当たりの施肥量は消石灰区は消石灰 12.5 g のみ, 対照区は消石灰 12.5 g とダイズ用配合肥料 3.0 g (N, P, K, Mg としてそれぞれ 0.12, 0.20, 0.50, 0.05 g) を施用した. 肥料はいずれも土壌と良く混和させて全層施用とした.

(2) サンプルング方法及び生育及び収量調査

a) 生育調査

試験 2-1 については, 2005 年に播種後 57 日 (7 月 20 日: 開花期), 76 日 (繁茂期), 110 日 (子

実肥大後期，無施用：R7 慣行施用：R6）に行なった。無施用区と慣行施用区で，それぞれ生育中庸な4株8本の試料を採取し，主茎長，主茎節数，分枝節数，分枝数及び茎，葉身，葉柄，莢の乾物重を調査した。また，葉色はSPAD葉緑素計（MINOLTA，SPAD-502）を用いて主茎の最上位展開節から2番目の主茎節の頂小葉を基本として適宜測定した。

試験2-2では，播種後33日目（開花期）及び84日目（子実肥大期）に，主茎長，主茎節数，分枝数，分枝節数を調査した。また，84日目については，地上部を茎，葉身，葉柄，莢に分けて2～3反復でポット単位で乾物重を調査した。

b) 収穫物調査

収穫地上部は暗所で2～3週間乾燥後，収量，収量構成要素（稔実莢数，百粒重）及びしわ粒率を調査した。しわ粒は目視判別した。ちりめんじわを単独で発生しているものの他，亀甲じわ，裂皮などを併発しているものは，ちりめんじわとして重複して数えた。しわ粒率は，全整粒重に占めるしわ粒重の割合とした。

収穫は，試験1-1，試験1-2の切葉処理株については対照区と同日に，試験1-3の摘莢処理株については青立ちのため対照区より1週間遅く行った。収穫物調査は切葉試験では各処理毎に2～3株まとめて，摘莢試験では個体単位で行った。切葉，摘莢試験に対する対照区は，試験区内のR8⁽²⁾に達した生育中庸な部分を選び，試験1-1のA圃場の場合は2カ所から計6株採取した。試験1-2，1-3のB圃場の場合は下記に示した試験2-1の調査結果を用いた。

試験2-1の収量調査は，慣行施用区，無施用区それぞれの4～7カ所から，計28～49株試料採取した。試験2-2の収量調査は，ポット単位で4反復で行った。また，収穫期に主茎長，茎重，総節数についても調査した。整粒重は子実害虫による食害で，稔実莢数の8～27%の莢に被害が及んだため調査は行わず，しわ粒の判別は，食害を受けていない粒について行った。

(3) 作物体・土壌の化学分析

ちりめんじわが多発した2005年度の生育途中の葉身，葉柄，茎，莢及び収穫期の子実について窒素濃度を分析した。分析試料は葉身，葉柄，茎，莢は70℃乾燥物を，子実は105℃乾燥物として微粉碎した。子実の窒素含量は近赤外分光法で測定した（Infratec 1241，ダイズ用検量線S0128111）。それ以外のサンプルの窒素濃度は，ケルダール分解-比色分析法，またはRapid-Nで分析した。地上部の窒素蓄積量は窒素濃度と乾物重の積で求めた。成熟期の窒素蓄積量は，子実濃度と収量との積とし，青立ち株はなかったため，茎，莢，葉身，葉柄については考慮しなかった。また，成熟期の子実中のミネラル成分（P，K，Ca，Mg，）含量は，1 mol/L HClで抽出（抽出比1:50で1時間浸透してろ過）し，適当な濃度に希釈してICP-発光法で分析した。

土壌の理化性については，ちりめんじわが多発した2005年のB圃場の無施用区から収穫時に作物体地上部を刈り取った場所の作土（各試験区の4箇所）を調査した。土壌のpH，CEC，交換性陽イオン，陽イオン飽和度の理化学性は定法で行った。また，2006年栽培ポットについては栽培後に土壌pHを測定した。

3) 結果

(1) 切葉処理量，時期がちりめんじわ発生率に及ぼす影響

a) 試験1-1

図3-1-1には時期別の切葉処理がちりめんじわ発生率に及ぼす影響を示した。切葉処理を行なわなかった場合のちりめんじわ率は22%であった。切葉処理によりちりめんじわの発生率は，最繁茂

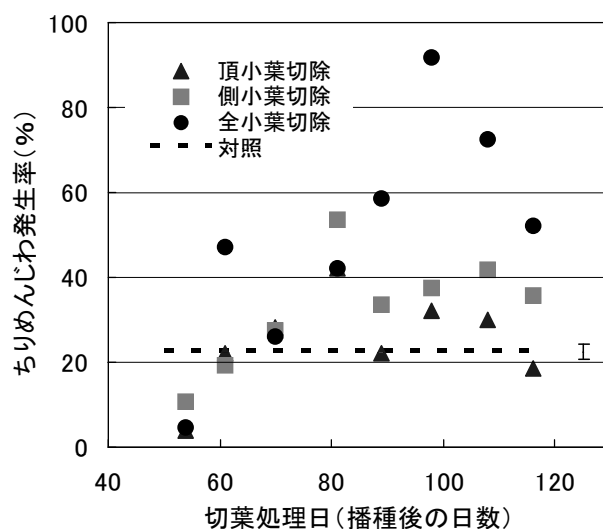


図 3-1-1 時期別の切葉処理，切葉処理量の違いがちりめんじわ発生率に及ぼす影響

2004年A圃場 エラーバーは対照区の標準偏差を示す (n=4).
 切葉処理は，すべての葉身のうち頂小葉切除：頂小葉のみを切除，側小葉切除：
 左右両方の小葉を切除，全小葉切除：全小葉を切除とした。

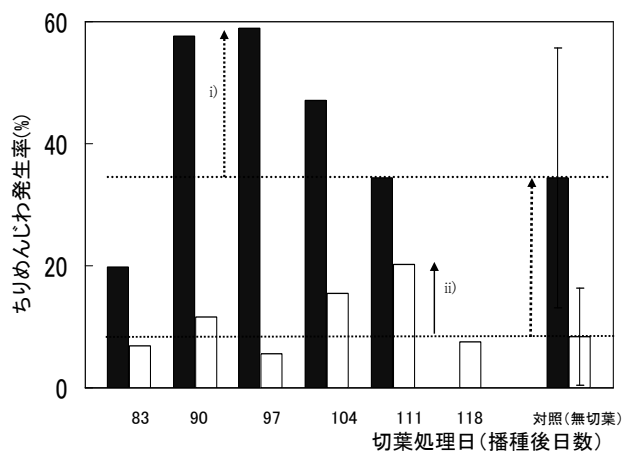


図 3-1-2 施肥条件が異なる圃場で栽培したダイズへの時期別の切葉処理が成熟期のちりめんじわ発生率に及ぼす影響

切葉処理は全小葉を切除処理した。■：無施用区，□：慣行施用区
 エラーバーは標準偏差を示す。30%落葉時期：108日(無施用)，118日(慣
 行施用)，成熟期：123日(無施用)，130日(慣行施用)。2005年B圃
 場(連作4年目)。

↑は対照区(無切葉)における無施用によるちりめんじわの増加を示す。
 また，i)，ii)の上向き矢印は，それぞれ，無施用区，慣行施肥区にお
 ける切葉処理によるしわ粒率の増加を示す。

期以降の切葉処理で増加し、切葉量が多くなるほど高くなる傾向を示した。特に全小葉切除処理では、ちりめんじわ発生率は播種後約80日以降の処理では40%を越え、98日目（子実肥大後期）の処理では90%を越え最大となった。その後処理日が遅くなるほどちりめんじわ発生率は減少していったが、118日目と比較すると、頂小葉切除処理では対照区と同等であったが、側小葉切除処理では35%、全小葉切除処理では55%を越え、ちりめんじわ発生率は切葉量が多いほど子実肥大後期まで影響を受けて高まる傾向を示した。

b) 試験 1-2

試験 1-2 ではまず、異なる栽培年、圃場の慣行施肥区で、再現性の確認を行った。試験 1-1 の切葉処理でちりめんじわの発生率が最も高まった全小葉切葉処理を行った。また、同様の処理を、無施用区に対しても行ない、土壌養分条件の違いが切葉処理によるちりめんじわの発生に及ぼす影響を検討した。図 3-1-2 には、慣行施用区、無施用区に対しそれぞれ時期別に切葉処理を行なった時のちりめんじわ発生率の変化を示した。慣行施用区で切葉処理を行なわない場合のちりめんじわ率は8%であった。時期別の切葉処理により、試験 1-1 の A 圃場での切葉試験と同様、子実肥大期の処理でちりめんじわ率は増加し、111日目の処理では20%となり極大を示した。一方、無施用区で切葉処理を行なわない場合のちりめんじわ率は35%で、慣行施用区よりも27ポイント高い値（図 3-1-2 の↑）を示した。さらに時期別に全葉身の切葉処理を行なったところ、播種後約85～105日にかけての子実肥大後期にちりめんじわ発生率が増加し、97日目の処理では59%に達した。また、極大を示した時期のちりめんじわ率は、無施用区、慣行施用区の各々の対照区に比べ、無施用区で最大25ポイント（図 3-1-2 の↑ i)), 慣行施肥区で12ポイント（図 3-1-2 の↑ ii)) 高くなり、無施用区の方が切葉処理によるちりめんじわ率の増加が著しい傾向が認められた。

c) 試験 1-3

試験 1-3 では、相対的なソース過剰を実現させるため、ちりめんじわが多発した無施用区で、子実肥大期の摘葉処理がちりめんじわ発生率に及ぼす影響を検討した。図 3-1-3 に示したように2006年の無施用区の対照区のちりめんじわ率は18%であり、2005年程ではないが高い水準を示した。播種後87日目から120日目に行った摘葉処理で対照区に比べ百粒重が増加し、ちりめんじわ率が減少する傾向が認められ、特に播種後87日目、97日目の処理では有意な差が認められた。但し摘葉処理したダイズは対照区が成熟期に達しても葉が黄化せず、茎や一部の莢が緑色のままの青立ち症状を呈した。

(2) 圃場試験における消石灰及びダイズ用配合肥料の施用の有無がダイズ連作での収量構成要素、ちりめんじわ発生率、生育量に及ぼす影響（試験 2-1）

a) 収量、収量構成要素およびちりめんじわ粒率

2002～2006年までの整粒重、稔実莢数、百粒重の推移を表 3-1-2 に示した。2002年の整粒重、整粒の百粒重に関しては未調査のため、整粒からしわ粒を差し引いた完全粒の値を記載した。整粒重は慣行施用区の場合、2003年の353 g/m²に対し作付け回数が増えても大きな低下は見られなかったが、無施用区の場合、2004年以降、顕著に低下した。稔実莢数は、無施用区の場合、2002年は有意に少なく、その後も各年とも少ない傾向を示し、2005年以降は顕著に減少した。百粒重は無施用区で2005年に有意に減少した。2005年は稔実莢数と百粒重の低下が、2006年は稔実莢数の低下が、整粒重の減少要因になったと考えられる。

図 3-1-4 には2003～2006年までのちりめんじわ発生率の推移を示した。2002年は、ちりめんじわと亀甲じわを区別して調査していなかったため省略した。慣行施用区は、2004年が24%と他の栽

表 3-1-1 圃場試験の概要

試験名	内容	栽培年	実施圃場	施肥条件
1-1	切葉試験(時期別および全小葉, 側小葉, 頂小葉切除)	2004	A	慣行施用
1-2	切葉試験(時期別および全小葉切除)	2005	B	慣行施用, 無施用
1-3	摘莢試験(時期別)	2006	B	無施用
2-1	慣行施用および無施用連作試験	2002~2006	B	慣行施用, 無施用

表 3-1-2 無施用及び慣行施用の連作栽培による収量構成要素, 土壌 pH の経年変化

栽培年	施肥区	整粒重 (g/m ²)	稔実莢数 (個/m ²)	百粒重 (g)	pH(H ₂ O)
2002	無施用	263 ¹⁾	685 *	29.2 ²⁾	5.3
	慣行施用	277 ¹⁾	719	29.5 ²⁾	5.2
2003	無施用	321	605	32.3	5.4 *
	慣行施用	353	671	30.8	5.8
2004	無施用	253	681	25.6	5.1 **
	慣行施用	316	712	29.3	5.7
2005	無施用	178 ***	556 **	26.0 **	5.4 ***
	慣行施用	349	785	32.7	6.2
2006	無施用	165 **	430 **	31.3	5.2 ***
	慣行施用	305	631	31.9	6.8

***, **, * は慣行施用区に対しそれぞれ 0.1, 1, 5 % 水準で有意差があることを示す (t 検定) .

¹⁾ 2002 年は完全粒についての値, [完全粒] は [整粒 - しわ粒] に相当.

²⁾ 2002 年は完全粒についての百粒重の値.

表 3-1-3 慣行施用区とちりめんじわが多発した無施用区における生育量の違い

試験区	調査日		主茎長 (cm)	主茎 節数	分枝 節数	分枝数	乾物重(g)			
	播種後 日数(日)	生育段階					茎	葉身	葉柄	莢
無施用	56	開花期	55.4 *	13.3 *	0.8 †	0.4 †	4.1 *	4.8 *	2.1 *	—
慣行施用			69.2	15.0	3.6	1.3	6.9	6.9	3.0	—
無施用	76	繁茂期	68.6 †	16.5	3.3	0.8 *	7.6 *	7.6 *	3.7 *	1.5
慣行施用			80.9	16.5	13.9	3.3	15.7	12.9	6.6	2.5
無施用	110	R7	67.7	16.1	9.0	2.0	11.3	6.5 †	4.8	20.1
慣行施用		R6	81.1	16.3	14.4	3.6	15.6	8.6	5.5	28.2

数字は個体あたりの平均値. *, † は慣行施用区に対しそれぞれ 5%, 10% 水準で有意差があることを示す (t 検定, n=2) . R6, R7 は Fehr and Caviness⁽⁹⁾ による. 栽培年: 2005 年.

培年に比べ高かったが、2005,2006年はそれぞれ8,3%であり、連作に伴い単調には増加はしなかった。また、無施用区のちりめんじわ発生率は、2003年に比べ連作年数が進むと増加したが、2006年は前年より低かった。一方、無施用区と慣行施用区のちりめんじわ発生率の差には、2004年までは顕著な差は認められなかったが、2005年以降は無施用区でちりめんじわの発生率が有意に高くなった。

b) 生育調査

ちりめんじわ率の差が最も認められたB圃場の無施用区と慣行施用区の2005年産ダイズの生育調査（各生育時期における個体当たりの主茎長、主茎節数、分枝節数、分枝数、部位別乾物重）を表3-1-3に示した。無施用区では、いずれの時期でも主茎長が短く、分枝数、分枝節数が少なく、各部位の乾物重も少ない傾向を示した。主茎節数は、開花期では無施用区で有意に少なかったが、それ以降では差は認められなかった。また図3-1-5に示した無施用区の葉身のSPAD値は、播種後約40日以降から110日頃まで慣行施用区よりも有意に低い値を示した。特に、SPAD値が急速に低下し始める時期は、無施用区で播種後約100日、慣行施用区で約110日であり、黄化時期が無施用区で10日程早かった。成熟期も慣行施用区が播種後約130日目（10月3日）だったのに対し、無施用区では約123日目（9月26日）であり、1週間ほど成熟期の早期化が認められた。

c) 土壌の理化学性：

収穫後の土壌のpHを表3-1-2に示した。毎年石灰質肥料を施用した慣行施用区では、2002年作付け後は5.2であったが、毎年施用を重ねるにつれて徐々に上昇し2006年作付け後には6.8となった。一方、無施用区の場合、2002年作付け後は5.3であったが2006年作付け後は5.2で、多少変動はあるものの、ほぼ一定で酸性を示した。2005年作付け後の土壌の交換性陽イオン、陽イオン交換容量を表3-1-4に示した。無施用区では交換性Ca, Mg, K, CEC及び塩基飽和度、陽イオン飽和度が有意に低く、Ca/Mgはほぼ等しかった。

d) 作物体地上部の養分

図3-1-6a)には、2005年栽培の開花期及び繁茂期（R5⁽²⁾）の地上部の窒素蓄積量を示した。開花期、R5期とも無施用区での窒素蓄積量は少なく、慣行区ではR5期に茎、莢への割合は増加した。図3-1-6b)には、成熟期の子実窒素からR5期までに蓄積した窒素を減じた子実肥大期に蓄積した窒素量（ Δ ）とちりめんじわ率の関係を示した。 Δ は、無施用区では小さく、開花期で既に蓄積が多かった慣行施用区では Δ も大きい値を示した。 Δ としわ粒率とは負の相関を示し、子実肥大期からの蓄積量が多いほど、ちりめんじわ率は小さかった。表3-1-5に2005年産のダイズ子実のミネラル含量を示した。Ca濃度は無施用区で有意に高く、一方、K, Mg濃度は有意に低い結果を示した。P濃度には有意差は認められなかった。

(3) ちりめんじわが多発した土壌を用いたポット栽培試験（試験2-2）

圃場試験の無施用区で2005年に栽培したダイズではちりめんじわが特に多発した。そこで、どのような成分が不足してちりめんじわの多発の要因になったかの知見を得るために施肥成分を変えて検討を行なった。

表3-1-6に開花期、子実肥大期における生育量を示した。いずれのステージにおいても、各項目とも無施用区は、石灰施用区、対照区より有意に低く、分枝数、分枝節数で差が顕著だった。

表3-1-7に成熟期、整粒重、稔実莢数、百粒重、主茎長、総節数、莖重、莢重および栽培後の土壌pH（H₂O）を示した。成熟期は、無施用区は110日目であり、消石灰区、対照区と比べ6日ほど早期化した。各項目とも無施用区で、最も低い値を示した。稔実莢数、莖重は、無施用区、消石灰区、対照区の順に有意に増加した。百粒重、総節数は、無施用区では石灰及び対照区と有意差が認めら

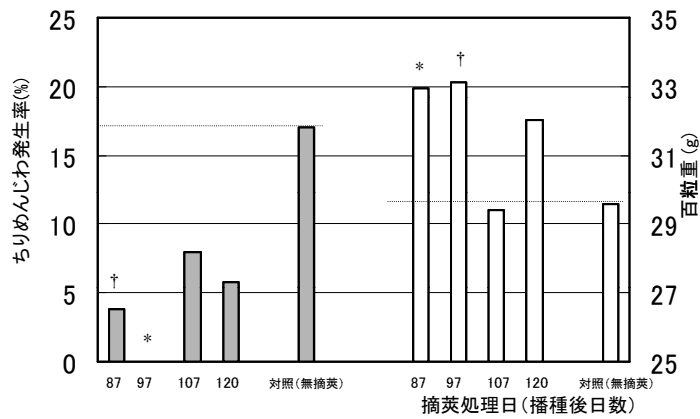


図 3-1-3 時期別の摘英処理が成熟期のちりめんじわ発生率に及ぼす影響

摘英処理は稔実莢数の 1/2 を処理した。無施用区 (2006 年 B 圃場 (連作 5 年目)) で行った
 ■: ちりめんじわ率, □: 百粒重, 摘英処理区は青立ちを呈した。

*, † は対照に対しそれぞれ 5%, 10% 水準で有意差があることを示す (t 検定, 対照 n=4, 摘英 n=4 又は 6)。

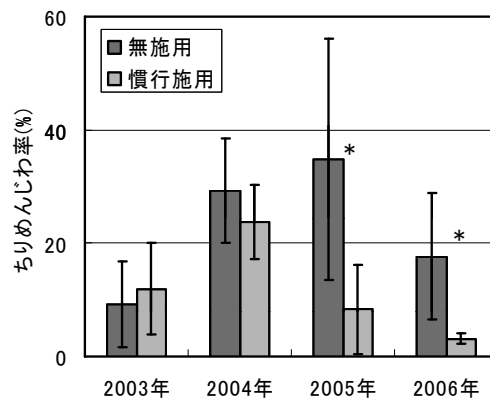


図 3-1-4 無施用区と慣行施用区におけるちりめんじわ率の経年変化

成熟期 (播種後日数): 無施用区, 慣行区それぞれ 2005 年; 123, 130 日

エラーバーは標準偏差を示す。* は 5% 水準で有意差 (t 検定) があることを示す (n=4)。

表 3-1-4 圃場栽培後の土壌の理化学性

試験区	CEC	交換性陽イオン(cmol/kg)					塩基飽和度 (%)	陽イオン飽和度 (%)			Ca/Mg
		Ca	Mg	K	Na	Mn		Ca	Mg	K	
無施用	28	13	5.2	0.28	0.2	0.3	65	45	18	1.0	2.5
慣行施用	30	19	7.2	0.34	0.1	0.1	87	62	24	1.1	2.6
有意差	**	***	***	***	**	***	***	***	***	**	**

***, ** は慣行施用区に対しそれぞれ 0.1, 1% 水準で有意差があることを示す (t 検定)。2005 年栽培後土壌。

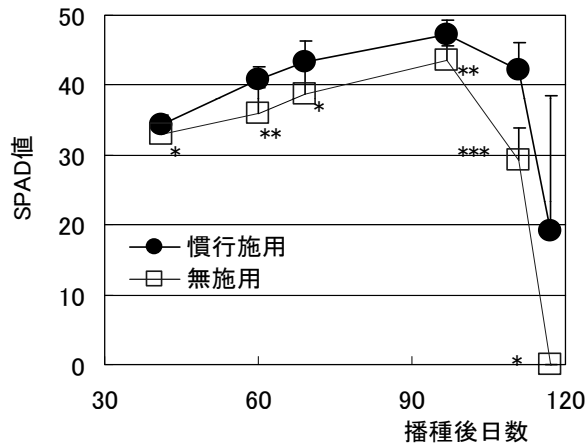


図 3-1-5 慣行施用区とちりめんじわが多発した無施用区における葉身の葉色値 (SPAD) の推移

開花期：播種後 52 日。エラーバーは標準偏差を示す。
 ***, **, * はそれぞれ慣行施用区に対して 0.1, 1, 5% 水準で有意差があることを示す (t 検定 n=7 ~ 8)。
 栽培年 2005 年。

表 3-1-5 ダイズ子実のミネラル元素濃度

区	Ca	P	K	Mg
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
無施用	2.7	5.8	12.0	2.1
慣行施用	2.5	6.0	13.2	2.4
有意差	*		***	***

***, * は慣行施用区に対しそれぞれ 0.1, 5% 水準で有意差があることを示す (t 検定)。栽培年：2005 年。

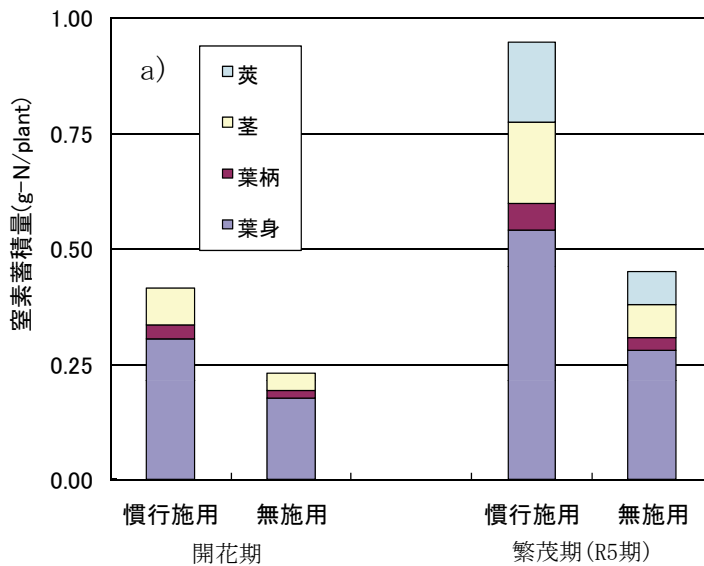


図 3-1-6a) 慣行施用区とちりめんじわが多発した無施用区における生育時期別の窒素蓄積量

栽培年 2005 年。

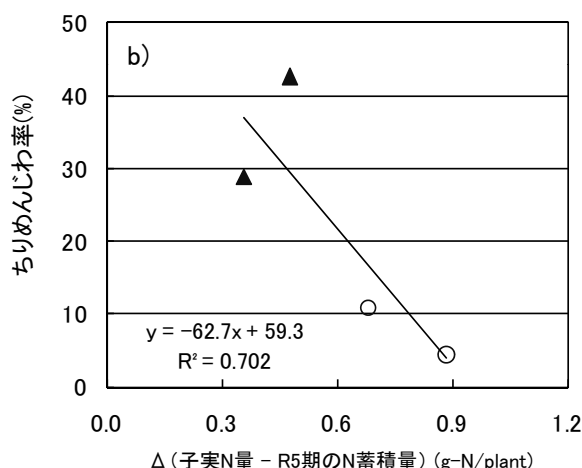


図 3-1-6b) 慣行施用区とちりめんじわが多発した無施用区におけるちりめんじわ率と子実肥大期の窒素蓄積量Δ (子実 N 量 -R5 期の N 蓄積量) との関係
▲：無施用区, ○慣行施用区. 栽培年：2005 年

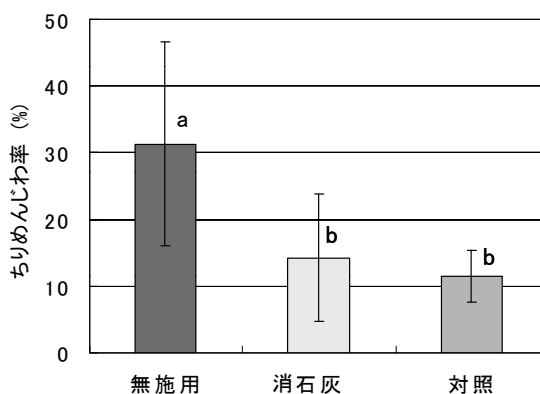


図 3-1-7 消石灰, 消石灰 + ダイズ用配合肥料 (対照) の施用がちりめんじわ率に及ぼす影響

エラーバーは標準偏差を示す。
異なる英数字間には 5% 水準 (L.S.D 検定) で有意差があることを示す (n=4). 栽培年：2006 年.

表 3-1-6 無施用連作栽培した土壌への消石灰及び消石灰 + 大豆用配合肥料 (対照) の施用が生育に及ぼす影響

試験区	播種後 日数	生育段階	主茎長 (cm)	主茎節数	分枝数	分枝節	乾物重(g/plant)			
							茎	葉身	葉柄	莢
無施用	33	開花期	33.1 ^a	10.9 ^a	1.3 ^a	3.3 ^a	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
消石灰			38.3 ^b	12.0 ^b	2.5 ^b	7.7 ^b	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
対照			39.0 ^b	12.1 ^b	3.1 ^b	10.5 ^c	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
無施用	84	子実 肥大期	38.1 ^a	12.0 ^a	2.3 ^a	8.7 ^a	5.8 ^a	9.3 ^a	3.3 ^a	14.0 ^a
消石灰			39.8 ^{ab}	12.5 ^{ab}	3.0 ^a	12.0 ^a	8.3 ^{ab}	11.4 ^a	4.2 ^a	19.1 ^{ab}
対照			42.7 ^b	13.0 ^b	5.7 ^b	24.0 ^b	10.8 ^b	15.0 ^b	6.0 ^b	24.0 ^b

栽培年：2006 年, n.m.：未測定。
異なるアルファベット間には LSD 検定で有意差 (5%) があることを示す。

れた。

整粒重は、子実害虫による食害が多発したため調査しなかったが、消石灰区、対照区では無施用区に比べ、稔実莢数、百粒重が有意に増加していたことから考えて、有意な増加があったと推察される。

次に各区のちりめんじわ率を図3-1-7に示した。無施用区のちりめんじわ率は31%を示し、試験区間で最も高い値を示した。消石灰または消石灰とダイズ用配合肥料を施用した対照区ではそれぞれ、14%、12%に有意に半減することが判明した。消石灰区と対照区では、対照区の方が若干低くなる傾向を示したが有意差はなかった。

土壌pHは無施用区でpH5.0だったのに対し、消石灰を施用した消石灰区、対照区ではpHはそれぞれ6.2、6.1を示し、pHで1ほど上昇し土壌の酸性矯正効果が認められた。

4) 考察

生産現地での観察から、ちりめんじわの発生は早期に落葉する圃場で多い傾向が見られた。そのため、シンクソースの関係では、相対的なソース不足で起こり易いのではないかと考え、本報ではソースを制限する試験として、葉身の切葉量と切葉時期を変えた切葉試験を行った。切葉処理は、処理時の葉身及び切除以降に葉身で産出されたであろう光合成産物の子実への供給を低下させる。また、同じ時期の切葉処理では、切除量が多いほど子実への光合成産物の供給も低下すると考えられる。このことから、子実肥大後期の光合成産物の供給が制限される条件は、ちりめんじわの発生率を高めると考えられる。切葉処理によるちりめんじわ発生率は極大を示した後に減少した。極大を示した時期は無施用区は播種後90～97日に対し慣行施用区は104～111日と異なっていたが、どちらも葉身のSPAD値が30ポイント以下に急速に低下する直前に相当していた(図3-1-5)。これは葉身の黄化が始まると光合成産物量も低下するのでSPAD値が低下した後の切葉処理ではちりめんじわ発生への影響が小さくなるためと考えられる。また、時期の相違は、無施用区の生育ステージが早まったことによると考えられた。一方、子実肥大後期に摘莢により莢数を減少させてシンクを制限し、相対的にソースを高めた場合には、落葉が遅くなり百粒重が増加し、ちりめんじわの発生率が減少することが判明した(図3-1-3)。以上のことから、シンクソースの視点から見れば、子実肥大後期のソース不足がちりめんじわの発生を促す条件の一つであると結論できる。

このことは、栽培方法の改善により子実肥大後期までソース能を維持させればちりめんじわの発生を低減できる可能性を示唆する。大山ら⁽⁶⁾、Tewari⁽¹⁰⁾らは、被覆尿素や石灰窒素の深層施肥により、葉の光合成活性が生育後半まで高く保たれ、根粒の窒素固定や根による窒素蓄積が生育後期まで維持されること、ちりめんじわ発生率は減少することを報告している。また、南雲ら⁽⁵⁾は、被覆尿素(LP60)及び石灰窒素の培土期追肥により、子実肥大期の窒素栄養が維持されしわ粒発生の減少が期待できると報告している。これら報告は窒素施肥法の改善により子実肥大後期までソース能が維持されしわ粒の発生が減少した例と考えられる。また、試験2-1でおこなった消石灰とダイズ用配合肥料とも無施用の連作栽培条件では、ちりめんじわの発生率が有意に高まっていた(図3-1-4)。これは、葉色低下、落葉、成熟期の早期化のため、子実肥大後期に相対的なソース不足を生じた状態であったといえる。ちりめんじわの発生率は、子実肥大期以降の窒素の蓄積量と負の相関を示しており(図3-1-6b)、子実肥大期以降に窒素施用効果を高め、子実肥大期の窒素の蓄積量を高めればちりめんじわの軽減に寄与する可能性はあると推察される。特にダイズ用配合肥料中の窒素成分は初期生育を確保する目的で、量も少なく即効的な肥料であるため、追肥や緩効性窒素の施

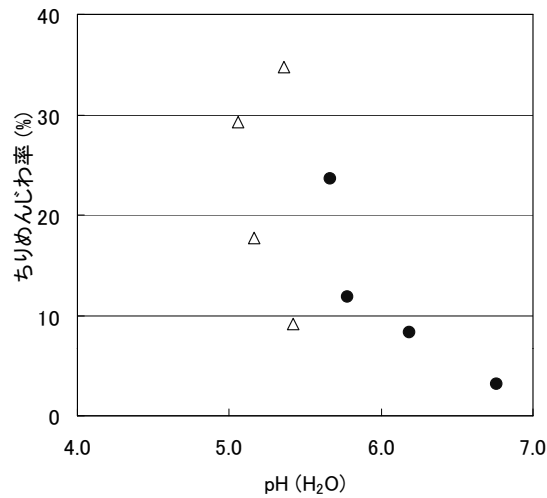


図 3-1-8 無施用区及び慣行施用区の 2003～2006 年栽培年のちりめんじわ率と収穫時の土壌 pH の関係

△：無施用区，●：慣行施用区

表 3-1-7 無施用連作栽培した土壌の消石灰及び消石灰ダイズ用配合肥料（対照）の施用がちりめんじわ発生率及び作物体の形質に及ぼす影響と栽培土壌 pH

試験区	成熟期 (日目)	稔実莢数 (個/plant)	百粒重 (g)	主莖長 (cm)	莖重 (g/plant)	総節数 (個/plant)	土壌 pH(H ₂ O)
無施用	110	52 ^a	24.2 ^a	38.8	5.0 ^a	24 ^a	5.0 ^a
消石灰	116	67 ^b	26.5 ^b	43.3	7.4 ^b	33 ^b	6.2 ^b
対照	116	76 ^c	26.6 ^b	44.0	8.6 ^c	37 ^b	6.1 ^b

土壌は B 圃場の 2005 年栽培後の無施用区を用いた。2006 年栽培。土壌量 45kg (1/5000a 長ポット)。各 4 反復。収量は子実害虫による食害があったため割愛。施用量 (現物 /pot)；石灰：消石灰 12.5g, ダイズ用配合肥料 3.0g。成熟期は播種後の日数。土壌 pH は栽培後。莖重は 70℃乾物重。異なるアルファベット間には LSD 検定で有意差 (5%) があることを示す。

表 3-1-8 時期別の全小葉切葉量

播種後 日数(day)	全小葉切葉量 (g/plant)
54	8.1
63	16.9
70	16.9
81	18.9
89	20.3
98	16.0
108	12.7
116	12.1

当年 (2004 年) は台風による暴風、フェーン現象が多発した。

用で生育後半に窒素の肥効を高めることはちりめんじわの軽減に有効と考えられる。しかしこれまでの事例から窒素施肥法の改善によってもちりめんじわは完全になくなるわけではなく、ちりめんじわの発生には他の要因も関連していることが示唆される。

試験 2-1 の 2005 年以降の無施用区でちりめんじわ率が有意に高かったことから、慣行施用区に対して何らかの肥料成分が不足していたために、ちりめんじわの発生が増加した可能性がある。両区の差は、消石灰及びダイズ用配合肥料の施用の有無であり、具体的には、消石灰施用によりカルシウム元素の供給及び土壌の酸性矯正効果がなされ、ダイズ用配合肥料の施用により、窒素、リン酸、加里及びマグネシウム元素が供給される。そこで、どのような肥料成分の不足がしわ粒をもたらしたかについて、試験 2-1 のちりめんじわが増大した栽培跡地土壌を用いて、無施用区、消石灰区及び消石灰とダイズ用配合肥料を添加した対照区を設定して検討した。その結果、無施用区では、2005 年の圃場試験と同様、成熟期が早く、ちりめんじわが多発したのに対し、消石灰区、対照区は成熟期が遅れ、ちりめんじわ率が半減した。成熟期及びちりめんじわ率においては、消石灰区と対照区間で有意差がないことから、ちりめんじわの軽減には消石灰の施用が特に有効であったと考えられた。逆に、消石灰が十分に施用されていない土壌養分条件はちりめんじわを多発させ易い要因の一つであるということが出来る。

消石灰の施用は上述したように、土壌の酸性矯正効果と作物体へのカルシウムの供給効果の面がある。一般にダイズ栽培土壌の pH は根粒活性の至適域の 6 ~ 6.5 が適当とされている。無施用区の場合は、圃場試験でも、ポット試験でも pH5 と酸性を示しており、消石灰による酸性矯正は、根粒の生息条件を改善し、その結果、黄化や成熟時期の早期化を抑制した可能性は考えられる。一方、2003 ~ 2006 年までの圃場試験における栽培跡地土壌の pH とちりめんじわ率の関係を図 3-1-8 に示したが、一見、土壌 pH とちりめんじわ率は相関があるようにも見えるが、土壌 pH は 2003 年、2005 年は 5.4 でほぼ等しかったものの、ちりめんじわの発生率はそれぞれ 9, 35 % と変異が大きかった。そのため、消石灰施用によるちりめんじわの軽減効果は土壌の酸性矯正効果のみでは説明できない可能性も考えられる。2005 年栽培後の無施用区の土壌の交換性カルシウム含量は、交換性マグネシウムなどとともに有意に低く、消石灰によるカルシウム元素の作物体への供給がちりめんじわ粒率軽減の要因の可能性も考えられる。但し、種子の全カルシウム濃度は、ちりめんじわが多発した無施用区ではむしろ、慣行区より濃度が高く (表 3-1-5)、また、筆者等が上越地域の生産組合の圃場から集めたダイズ種子のカルシウム濃度とちりめんじわ率の関係も正の相関関係を示しており⁽⁸⁾、この点に関してはさらに検討する必要がある。相澤ら⁽¹⁾は、種皮に含まれるペクチン結合態のカルシウム濃度としわ粒率に相関があったと報告しており、全濃度だけでなくカルシウムの形態も考慮していく必要があるかもしれない。また、消石灰施用によるちりめんじわ抑制効果に関しては、酸性矯正効果を持たない硫酸カルシウムなどの施用試験を行ない、酸性矯正効果なのか、カルシウムの施用効果なのかについて今後明らかにしていく必要がある。

このように、これまでしわ粒の発生要因の一つに収穫期の断続的な降雨という気象的な要因が言及されてきたが⁽¹¹⁾、気象的要因差がない同一圃場内であっても、切葉処理、摘莢処理や消石灰、ダイズ用配合肥料とも無施用の連作栽培条件では、ちりめんじわの発生率が増加することが明らかになった。

本報では、ソースを制限する方法として切葉処理という人工的な方法を行ったが、圃場における切葉処理に類似する現象として、食葉性害虫による加害^(3, 7)、台風やフェーンなどの暴風や熱風による葉の落葉も想定される。2004 年は、慣行施用区でもちりめんじわが 20%を超えていた。当年は

北陸地方への台風の接近回数が例年になく多く、特に子実肥大期の 8 月 30、31 日及び 9 月 7、8 日に接近した台風により、いずれも最大瞬間風速 25 m を超える暴風が観測され、またフェーン現象により最高気温は 35℃を超えた⁽¹²⁾。この暴風とフェーン現象により、試験圃場でもダイズの葉身がちぎれたり、葉の一部が白く枯死するなどの被害が見られた。実際、表 3-1-8 に示した全小葉切除試験の切葉乾物重（対照区の個体の乾物全葉身重を示す）の推移を見ると、各々の台風の接近前後の調査では、播種後 89 日目（8 月 25 日）～98 日（9 月 3 日）及び 98 日～108 日（9 月 13 日）の間にそれぞれ約 4 及び 3 g 個体⁻¹、全葉身重が急激に減少した。暴風やフェーン現象によるダイズへのストレスは、作物体自体の高温暴露、乾燥や倒伏など単に葉部の損傷のみが影響する訳ではないが、子実肥大後期の暴風、フェーン現象による葉の損傷はソース不足を引き起こしてちりめんじわ粒率の上昇の一要因になった可能性もある。また、無施用条件による養分制限に、子実肥大後期を中心とする切葉処理が加わる栽培条件は、ちりめんじわの発生を助長させたことから、土壤養分条件が十分でないと、食葉性害虫、暴風や熱風等による葉の損傷が大きい場合には、ちりめんじわの発生が高まる可能性が示唆される。

5) 摘要

1) 早期落葉のモデルとして、ソースである葉身の切葉処理を生育時期、量を変えて行なったところ、子実肥大後期を中心に、切葉量が多いほど、ちりめんじわ率は増加した。一方、摘莢により莢数を減少させてシンクを制限し、相対的にソースを高めた場合には、落葉が遅くなり百粒重が増加しちりめんじわの発生率が減少したことから、子実肥大後期のソース不足がちりめんじわの発生を促す条件の一つであると考えられた。

2) 気象的要因差がない同一圃場内であっても、切葉処理や摘莢処理及び無肥料・無石灰施用などの土壤養分条件の違いは、ちりめんじわ発生率に影響を及ぼすことが明らかになった。

3) 無肥料・無石灰施用でちりめんじわ発生率が高まった土壤を用いた栽培試験では、消石灰、消石灰とダイズ配合肥料の施用で、ちりめんじわ発生率が有意に減少することが明らかになった。このことから、消石灰の施用が十分でないとちりめんじわが発生し易くなると考えられた。

6) 引用文献

1. 相澤直樹・島田信二・小林秀明（2005）カルシウム施用がダイズのしわ粒発生に及ぼす影響．日本作物学会紀事，74（別1），34-35
2. Fehr, W. R. and C. E. Caviness（1977）Stages of soybean development. Iowa Agric. Exp. Stn. Spec. Rep., 80
3. 樋口博也（2005）ウコンノメイガによる葉の食害が大豆の生育と収量に及ぼす影響．日本応用動物昆虫学会誌，27，203-210
4. 井上健一・高橋正樹（2006）ダイズ子実肥大期の生育経過としわ粒発生率の関係．北陸作物学会報，41，96-99
5. 南雲芳文・土田徹・高橋能彦（2006）大豆培土期における窒素追肥がしわ粒発生に及ぼす影響について，土肥要旨集，52，149
6. 大山卓爾・ティワリ カウサル・大竹憲邦・末吉邦・高橋能彦（2006）ダイズの生育，収量，品質に及ぼす石灰窒素の施肥深度，施肥量，他成分の影響．季刊肥料，105，56-67
7. 斉藤隆・川本均・桐谷圭治（1983）切葉実験によるダイズの被害解析と要防除水準の設定．日

本応用動物昆虫学会誌, 27, 203-210

8. 関口哲生・田淵公清・亀川健一 (2003) 大豆子実中のミネラル成分濃度と収量, 外観品質との関係 (1) - 頸城平野における現地調査. 土肥要旨集, 49, 150
9. 田村良浩・佐藤孝文・服部誠 (2003) 大豆の落葉処理が莢先熟の発生及び生育・収量・品質に及ぼす影響. 北陸作物学会報, 38, 55-57
10. Tewari, K., M. Onda, N. Sato, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2005) Comparison of the effects of deep placement of slow-release N (lime nitrogen and coated urea), P and K fertilizers on yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seeds. Bull. Facul. Agric. Niigata Univ., 58, 45-53
11. 北陸農政局生産経営部農産課 (2003) 北陸における大豆の現状 北陸地域の売れる大豆づくりと需要・消費の拡大を目指して. 売れる大豆づくり北陸地域検討会・北陸農政局, 115-117
12. 気象庁気象統計情報 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

2. 窒素施肥法が子実成分集積としわ粒発生に及ぼす影響

○ 大山卓爾^{1,2}・大竹憲邦¹・末吉 邦¹・ティワリ カウサル^{1,3}
・南雲芳文⁴・土田 徹⁵・高橋能彦¹

(¹新潟大学農学部 自然科学研究科 ²日本原子力研究開発機構

³Centre for Plants and the Environment, University of Western Sydney,

⁴新潟県農総研 作物研 ⁵新潟県農総研 佐渡農技)

1) はじめに

近年、水田転作作物としてダイズの栽培が奨励され、ダイズの作付面積が増加している。しかしながら、北陸地域では、しわ粒の多発等による種子の品質低下が大きな問題となっている。新潟県では、ダイズの1等級+2等級の割合が10%程度（平成13年度）と著しく低く、生産者のダイズ生産意欲を低下させている。

これまで高橋らは、緩効性窒素肥料の深層施肥（播種条直下20 cmの深さに被覆尿素10 kgN/10aを基肥施用）が、ダイズ生産に対して重要な窒素供給源である根粒による窒素固定^(4, 5)を阻害せず、かつ子実肥大期まで継続的に窒素を供給するため、ダイズの増収効果が得られることを明らかにしてきた⁽¹²⁻¹⁹⁾。高橋らは、ダイズ用深層施肥播種機を用い、基肥として慣行のダイズ化成肥料の全層施肥（硫安1.6 kgN/10aを含むダイズ化成を表土約10 cmに全層基肥施用）に加え、リニアタイプの被覆尿素（LP-100, 10 kgN/10a）を基肥として播種列直下約20 cmの深さに条施肥する新規施肥法を考案し、慣行区よりも一貫して多収が得られることを報告した⁽¹²⁻¹⁹⁾。1990年の新潟県農業試験場（長岡市）における圃場試験では、慣行区収量480 kg/10aに対し、深層施肥区では592 kg/10aと極めて高い収量が得られた。被覆尿素深層施肥区のダイズの生育は、R1期（開花始期）までは慣行区とあまり変わらないが、開花始期以降、乾物重、窒素集積量ともに深層施肥区における増加が顕著であった。R7期（成熟始期、黄葉期）における被覆尿素深層施肥区のダイズは葉面積指数が4.5と慣行区の2.9よりも高く、また、葉身クロロフィル含量も高かったため、生育後期まで光合成が維持されたと考えられる。収量構成要素の解析によると被覆尿素的深層施肥による増収は、100粒重の増加よりも主に莢数（節数と節当たり莢数）の増加に起因した。深層施肥区では、被覆尿素から溶出した尿素はアンモニアとして施肥部位近傍に集積しており、根粒が多く着生する地表部には無機態窒素の集積は認められなかった⁽¹⁵⁾。

その後、Tewariらは、被覆尿素的の代わりに、より安価な石灰窒素を用いることができるか否かを新潟県内の三ヶ所の圃場で調べた^(8, 9, 11)。2001年に、長岡市にある新潟県農業総合研究所の転換初年度水田転換畑⁽²¹⁾、道路工事残土を厚さ30 cm客土造成した直後のダイズ栽培低地圃場⁽²²⁾、新潟市五十嵐の砂丘地圃場⁽²³⁾において、石灰窒素と被覆尿素的の深層施肥効果を検討した。窒素肥料は、高橋らと同様に、10 kgN/10aを播種直下約20 cmの深さに施用した。試験では、比較のために尿素的の深層施肥区および深層施肥をおこなわない慣行区を設けた。ダイズの品種は北陸地域の主力品種である「エンレイ」を用いた。三圃場において肥料の効果を比べると、子実収量は、どの圃場でも

慣行区よりも尿素深層施肥区がまさり、さらに被覆尿素深層施肥区と石灰窒素深層施肥区で最高値を示した。

緩効性窒素肥料の深層施肥がダイズ生育と子実収量におよぼす促進効果については、肥料からの窒素供給だけでなく、根粒からの固定窒素および土壌由来窒素の影響が考えられる。これらの窒素の利用について解析するため、安定同位体の¹⁵Nで標識した肥料を用いて、施肥処理ごとの、窒素固定由来窒素、土壌由来窒素、施肥由来窒素の分析を行った⁽²⁶⁾。本実験は、2002年に長岡の新潟県農業総合研究所の水田転換畑で行った。肥料は、¹⁵N標識の硫酸、尿素、被覆尿素、または石灰窒素を地表下20 cmに施用し、ダイズ品種「エンレイ」とエンレイから作出された根粒非着生系統のEn1282を同じ畦に交互に植えた。成熟始期(R7)に植物を採取し、エンレイとEn1282の部位ごとの¹⁵N濃度と窒素量を測定した。「エンレイ」における固定窒素由来窒素量、土壌窒素由来窒素量、肥料窒素由来窒素量を¹⁵N希釈法で計算した。

「エンレイ」もその非着生系統も石灰窒素の深層施肥で植物生育と窒素集積が最も促進され、ついで被覆尿素、尿素、硫酸の深層施肥区の順に効果が高かった。「エンレイ」の子実収量は、石灰窒素の深層施肥で最も高く(650 g/m²)、ついで被覆尿素区(561 g/m²)、尿素区(418 g/m²)、硫酸区(329 g/m²)、慣行区(231 g/m²)の順であった。¹⁵N濃度から計算した肥料の利用率は、石灰窒素(43%)と被覆尿素(36%)で尿素(21%)と硫酸(8.5%)より高かった。

ここで、石灰窒素深層施肥区と被覆尿素深層施肥区において、株あたりの肥料由来の窒素量は、4.3 g、3.6 gで尿素区(2.1 g)、硫酸区(0.85 g)より高いが、ダイズが同化した全窒素量の約10%程度であった。すなわち、石灰窒素と被覆尿素的の深層施肥が、窒素固定を促進していた。¹⁵N希釈法で求めた1 m²当たりの窒素固定由来窒素量は、石灰窒素区(32 g)と被覆尿素区(25 g)で、尿素区(21 g)、硫酸区(20 g)より高かった。

これらの結果から、石灰窒素と被覆尿素的の深層施肥は、生育後期まで深層部から硝酸やアンモニア等の肥料由来窒素を効率的に供給するだけでなく、葉の光合成活性を生育後半まで高く保ち、根粒の窒素固定や根による土壌由来窒素の吸収を促進することによって総同化窒素量を増やし、子実収量増に寄与することが明らかとなった。

緩効性窒素肥料の深層施肥法は、ダイズの生育期間全般にわたり窒素栄養を供給することから、ダイズの収量増加のみならず、しわ粒発生を低下させ品質を改善できる可能性がある。そこで、本研究では、被覆尿素や石灰窒素の深層施肥がしわ粒発生の低下にどのような影響を与えるかを調べた。さらに、肥料窒素の吸収、土壌窒素の利用、窒素固定活性との関連から解析し、しわ粒発生低減のための技術開発の基礎的知見を得ることを主な目的とした。本研究は、新潟県農業総合研究所(長岡市)の水田転換畑(転換後1作目)において試験を行った。石灰窒素の施肥深度による影響を実験1で、石灰窒素の施肥量による影響を実験2で、石灰窒素と被覆尿素的の比較を実験3で行った。

2) 材料と方法

(1) 栽培方法

a) 実験1: 石灰窒素の施肥深度が子実の収量、品質、窒素吸収等に及ぼす影響

ダイズの栽培は、2003年に新潟県農業総合研究所(長岡)の水田転換畑で行った。基肥は、N(1.6 kgN/10a)、P(6 kgP₂O₅/10a)、K(8 kgK₂O/10a)を含むダイズ用化成肥料および消石灰(100 kgCa(OH)₂/10a)を表面施用し、ロータリー耕うんで表土約10 cmまでに全層施用した。処理区は、対照区(ダ

イズ化成基肥のみで深層施肥は行わない), D10 区 (ダイズ化成基肥に加え, 石灰窒素 (10 kgN/10a) を播種直下深さ 10 cm に埋め込む : Depth 10 cm), D15 区 (ダイズ化成基肥に加え, 石灰窒素を播種直下深さ 15 cm に埋め込む), D20 区 (ダイズ化成基肥に加え, 石灰窒素を播種直下深さ 20 cm に埋め込む) を設けた. 施肥は, 播種位置にスコップで穴を掘り, 肥料を埋設した. 実験には, 新潟県のダイズ主要品種である「エンレイ」を用い, 播種密度は 8.9 株/m² (畝間 75 cm, 株間 15 cm, 1 本立) で栽培した. 処理区は, 1 区 3 m² (1.5 m × 2 m), 3 反復で実施した. 一部に ¹⁵N 標識の石灰窒素 (窒素濃度 20.6%, ¹⁵N 濃度 10.9 atom%) を与える区を設けた. ダイズ種子は, 70% エタノールに 1 分浸漬し, 水洗後, 0.5% 次亜塩素酸ナトリウム水溶液中で 5 分間滅菌し, よく水洗した. その後, ダイズ根粒菌 (*Bradyrhizobium japonicum*, USDA110 株) 懸濁液に 10 分間浸漬し, 種子接種を行った. 生育時期別に導管液と植物体試料を採取し, 石灰窒素の施肥深度が, ダイズの生育, 窒素同化, および子実の収量と品質に及ぼす効果を調べた.

b) 実験 2 : 石灰窒素の施肥量が子実の収量, 品質, 窒素吸収等に及ぼす影響

栽培は, 2003 年に新潟県農業総合研究所 (長岡) の水田転換畑で行った. 基肥, 播種密度, 根粒菌接種方法も同様である. 処理区は, 対照区 (ダイズ化成基肥のみで深層施肥は行わない), A5 区 (ダイズ化成基肥に加え, 石灰窒素 5 kgN/10a を播種直下深さ 20 cm に埋め込む : Amount 5 kgN/10a), A10 区 (ダイズ化成基肥に加え, 石灰窒素 10 kgN/10a を播種直下深さ 20 cm に埋め込む), A20 区 (ダイズ化成基肥に加え, 石灰窒素 20 kgN/10a を播種直下深さ 20 cm に埋め込む) を設けた. 一部に ¹⁵N 標識の石灰窒素 (窒素濃度 20.6%, ¹⁵N 濃度 10.9 atom%) を与える区を設けた. 生育時期別に試料を採取し, 石灰窒素の施肥量が, ダイズの生育, 窒素同化, および子実の収量と品質に及ぼす効果を調べた.

c) 実験 3 : 深層施肥した石灰窒素と被覆尿素の時期別吸収とダイズの生育, 収量, 窒素固定, 窒素吸収, 品質への影響

栽培試験は, 2005 年に新潟県農業総合研究所 (長岡) の水田転換畑で行った. 基肥は, N (1.6 kgN/10a), P (6 kgP₂O₅/10a), K (8 kgK₂O/10a) を含むダイズ用化成肥料および, 消石灰 (100 kgCa(OH)₂/10a) を表土約 10 cm までに全層施用した. 処理区は, 対照区 (ダイズ化成基肥のみで深層施肥は行わない), CU 区 (ダイズ化成基肥に加え, 100 日タイプの被覆尿素 LP-100 (10 kgN/10a) を播種直下深さ 20 cm に埋め込む), LN 区 (ダイズ化成基肥に加え, 石灰窒素 (10 kgN/10a) を播種直下深さ 20 cm に埋め込む) を設けた. 実験には, ダイズ品種「エンレイ」を用い, 播種密度は 8.9 株 m⁻² (畝間 75 cm, 株間 15 cm, 1 本立) で栽培した. 栽培区の一部に ¹⁵N 標識の被覆尿素 (窒素濃度 40%, ¹⁵N 濃度 3.22 atom%) または, 石灰窒素 (窒素濃度 20.6%, ¹⁵N 濃度 10.8 atom%) を与える区 (施肥量 10 kgN/10a) を設けた. 開花期以降, サンプルングを行い, 石灰窒素と被覆尿素の時期別吸収量, 生育, 窒素固定と窒素吸収に与える影響, および子実収量と外観的品質に及ぼす影響を調べた.

(2) 栽培中の植物の採取と分析

実験 1 と実験 2 では, 播種 71 日後 (R2 期 : 開花盛), 102 日後 (R5 期 : 子実肥大始), 130 日後 (R7 期 : 成熟始) に株の根元 (地上部から約 3 cm の位置) を剪定はさみで切断し, 地上部を採取するとともに, 切り株の表皮を剥ぎ, 木部にシリコン管をかぶせ切り株から溢泌する導管液を約 30 分間採取した. また, 導管液採取後根を掘り起こして採取した. 導管液中のウレイド態窒素濃度, 硝酸態窒素濃度, アミド態窒素濃度を分光法で測定し, 単純相対ウレイド法で, 根粒による窒素固定依存率と根からの吸収窒素依存率を推定した^(2, 3). 植物体は, R2 と R5 期には地上部と根, R7 期には, 葉+莖, 莢+子実, 根に分けて通風乾燥し, 乾物重を測定した. 乾燥試料は, 微粉末に粉碎し,

ケルダール分解で窒素濃度を測定した。播種 143 日後の成熟期 (R8 期) に各区から 10 株を採取し、子実の収量および品質を調べた。

実験 3 では、播種 61 日後 (R1 期: 開花始), 81 日後 (R3 期: 着莢始) 102 日後 (R5 期: 子実肥大始), 130 日後に (R7 期: 成熟始) に株の根元 (地上部から約 3 cm の位置) を剪定はさみで切断し、地上部を採取するとともに、切り株の表皮を剥ぎ、木部にシリコン管をかぶせ、切り株から溢泌する導管液を約 30 分間採取した。また、導管液採取後根を掘り起こして採取した。導管液中のウレイド態窒素濃度、硝酸態窒素濃度、アミド態窒素濃度を測定し、単純相対ウレイド法で、根粒による窒素固定依存率と根からの吸収窒素依存率を推定した^(2, 3)。植物体は、R1 期、R3 期と R5 期には地上部と根、R7 期には、葉+茎、莢+子実、根に分けて通風乾燥し、乾物重を測定した。乾燥試料を微粉末に粉碎し、ケルダール分解で窒素濃度を測定した。成熟期 (R8 期) に各区から 10 株を採取し、1 株ごとに子実の収量および品質を調べた。

(3) ¹⁵N 標識石灰窒素施用植物の採取と分析

実験 1 と実験 2 では、播種 134 日後 (R7 期) に、¹⁵N 標識石灰窒素を施用した植物を採取した。植物は、葉+茎、莢+子実、根に分けて通風乾燥し、乾物重を測定した。乾燥試料を微粉末に粉碎し、ケルダール分解で窒素濃度を測定した。ケルダール分解液は、窒素量が 1~2 μ g になるように分解液約 10~50 μ L を片方を閉じた外径 4 mm のパイレックスガラス管に入れ、減圧脱水後、放電管を作成し、発光分光法 (日本分光, JASCO N-150) で ¹⁵N 濃度を測定した⁽⁶⁾。実験 3 では、播種 61 日後 (R1 期: 開花始), 81 日後 (R3 期: 着莢始), 102 日後 (R5 期: 子実肥大始), 130 日後 (R7 期: 成熟始) に、¹⁵N 施肥枠内から試料 (地上部および根) を採取した。

(4) 子実の収量と品質の調査

収穫は、実験 1 と実験 2 では播種 143 日後に行った。各区から生育中庸の株を 10 株収穫し、1 株ごとに新聞紙で包み、ガラス室内で 2-4 週間乾燥させた。莢数を測定した後、子実を食糧庁計画流通部消費改善課の分類基準を参考に品質ごとに分別し、子実数、子実重を測定した。本報告では、整粒、小粒、亀甲じわ粒、ちりめんじわ粒、その他に分類して表示した。その他には、病害粒 (紫斑病、褐斑病)、虫害粒 (食虫害、吸虫害)、裂皮粒、汚損粒、変質粒、未熟粒、枯死粒を含む。実験 1 および実験 2 では、亀甲じわとちりめんじわを併発しているものは、亀甲じわとした。実験 3 では、亀甲じわとちりめんじわを併発しているものは別途計測した。

3) 結果

(1) ダイズ子実収量および品質に及ぼす石灰窒素の施肥位置の影響

長岡の水田転換畑において、石灰窒素 (10 kgN/10a) を、播種位置直下、深さ 10 cm, 15 cm, または 20 cm の位置に施肥した。無施用の対照区を併せて設けた試験区の株あたり乾物重の生育時期別変化を図 3-2-1 に示す。どの時期においても、石灰窒素の施肥深度が深い程、全乾物重が高くなる傾向が見られた。特に、深さ 20 cm に石灰窒素を埋設した区がどの時期にも最高値を示した。

表 3-2-1 に、石灰窒素の深度別の R7 期 (成熟始期, 黄葉期) におけるダイズの生育状況を示す。株当たり子実重と子実数は、D10 区と D15 区で対照区より高まったが、D10 区と D15 区の間では差がなかった。D20 区では、子実数、子実重ともに最高値を示した。莢数、主莖節数、100 粒重も同様の傾向を示した。主莖長は対照区で約 29.8 cm と短かったが、D10 区、D15 区、D20 区で、43.8 cm, 49.1 cm, 51.0 cm と施肥深度が深い程、主莖伸長促進効果が高かった。

図 3-2-2 に R7 期における株当たり窒素含有量を示す。全窒素含有量は、D20 区で最も高かった。

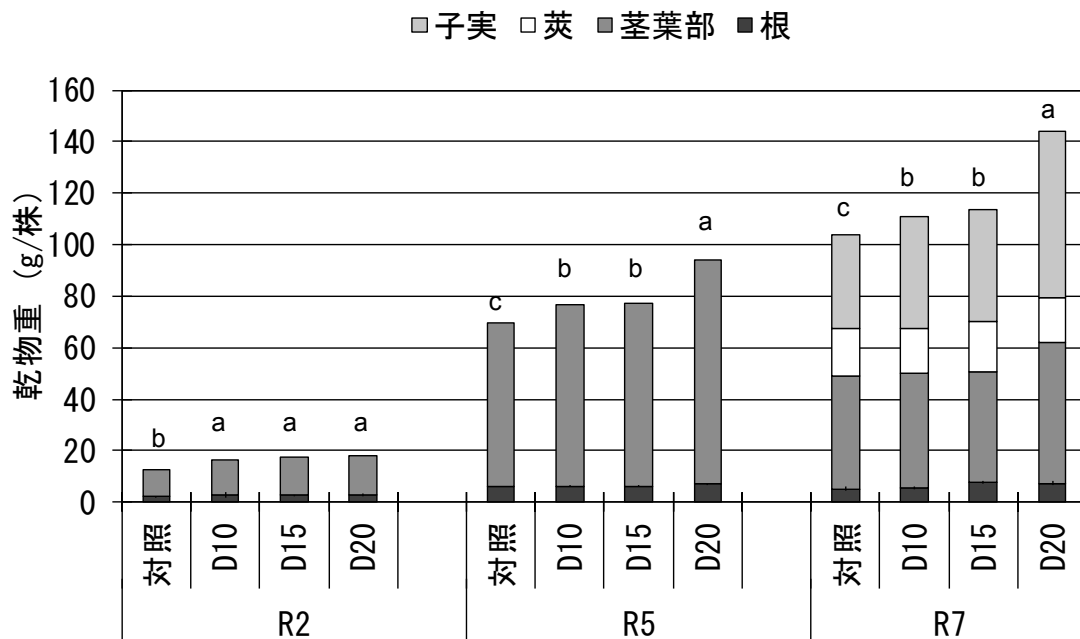


図 3-2-1 石灰窒素 (10 kgN/10a) の深度別施肥区の生育時期別乾物重の推移

処理区：対照；深層施肥なし．D10；深さ 10 cm に施肥．D15；深さ 15 cm に施肥．D20；深さ 20 cm に施肥．生育時期：R2；開花盛．R5；子実肥大始．R7；成熟始．
 図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す．

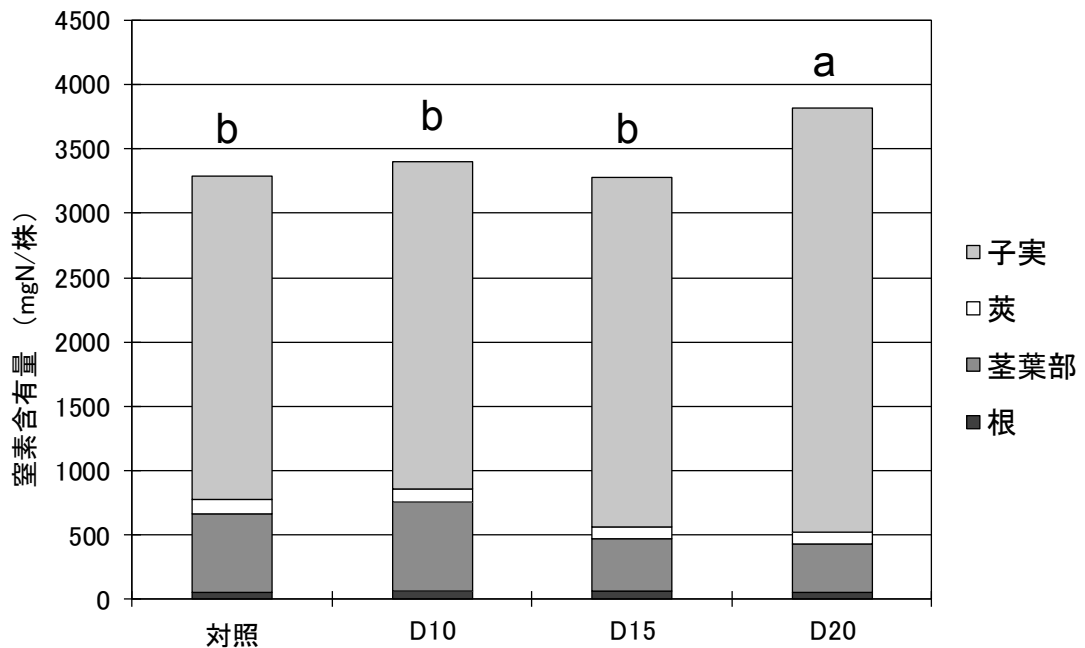


図 3-2-2 R7 期 (成熟始) における石灰窒素 (10 kgN/10a) の深度別施肥区における株あたり窒素含有量

処理区：対照；深層施肥なし．D10；深さ 10 cm に施肥．D15；深さ 15 cm に施肥．D20；深さ 20 cm に施肥．図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す

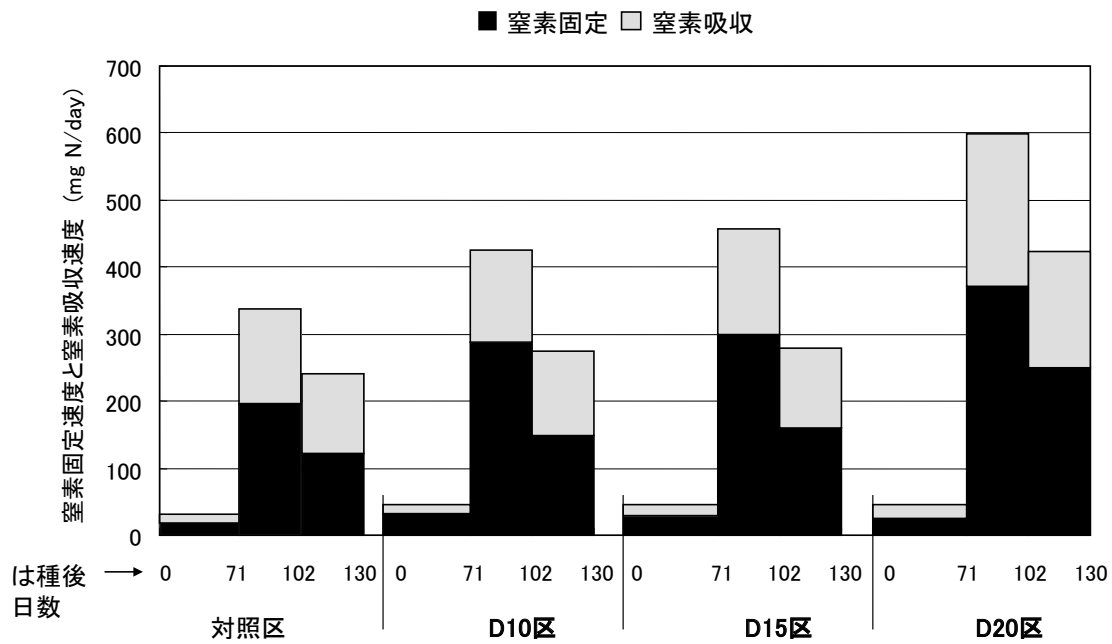


図 3-2-3 石灰窒素 (10 kgN/10a) の深度別施肥区の生育時期別窒素固定活性と窒素吸収速度の推移

処理区：対照；深層施肥なし．D10；深さ 10 cm に施肥．D15；深さ 15 cm に施肥．D20；深さ 20 cm に施肥．
生育時期：R2；(播種 71 日後) 開花盛，R5；(播種 102 日後) 子実肥大始，R7；(播種 130 日後) 成熟始．

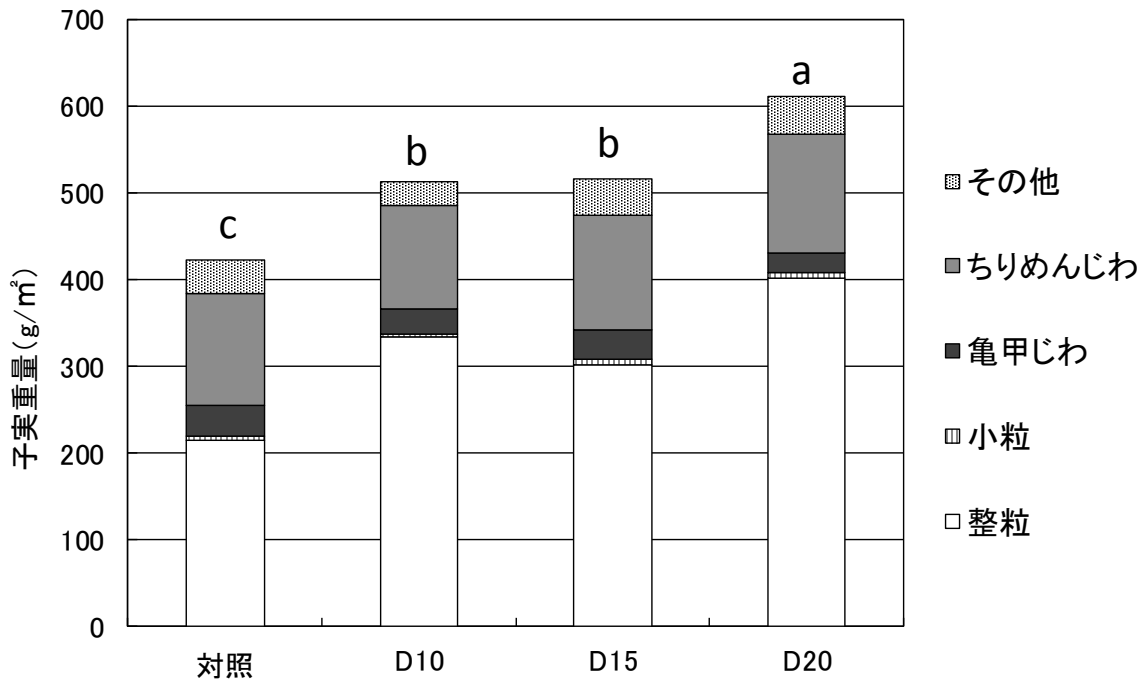


図 3-2-4 R8 期 (収穫期) における石灰窒素 (10 kgN/10a) の深度別施肥区の子実収量と品質

処理区：対照；深層施肥なし．D10；深さ 10 cm に施肥．D15；深さ 15 cm に施肥．D20；深さ 20 cm に施肥．
図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は < 5% の有意差があることを示す．

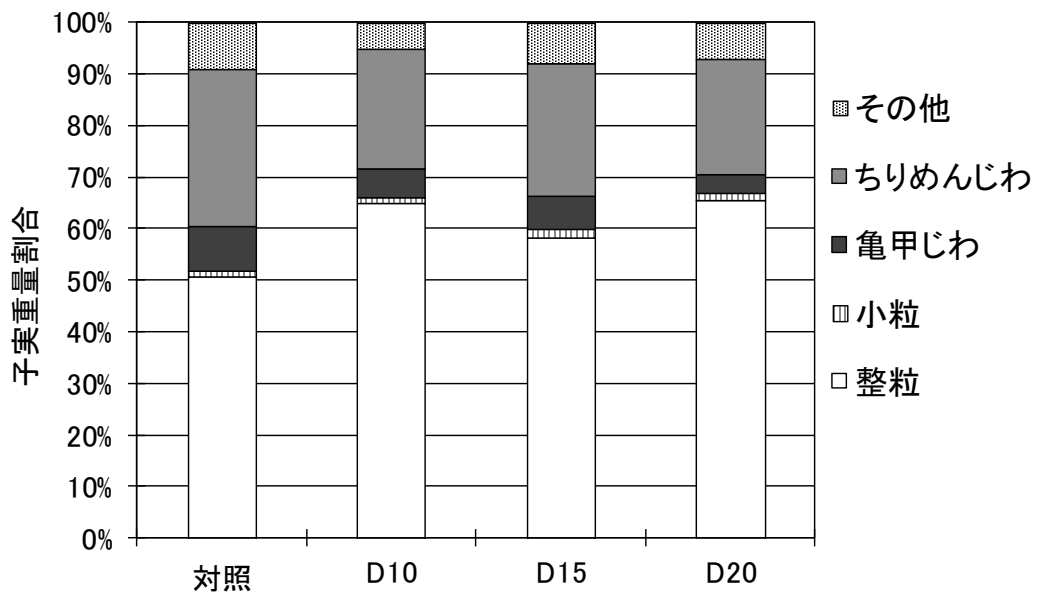


図 3-2-5 R8 期（収穫期）における石灰窒素（10 kgN/10a）の深度別施肥区の子実品質割合

処理区：対照；深層施肥なし．D10；深さ 10 cm に施肥．D15；深さ 15 cm に施肥．
D20；深さ 20 cm に施肥．

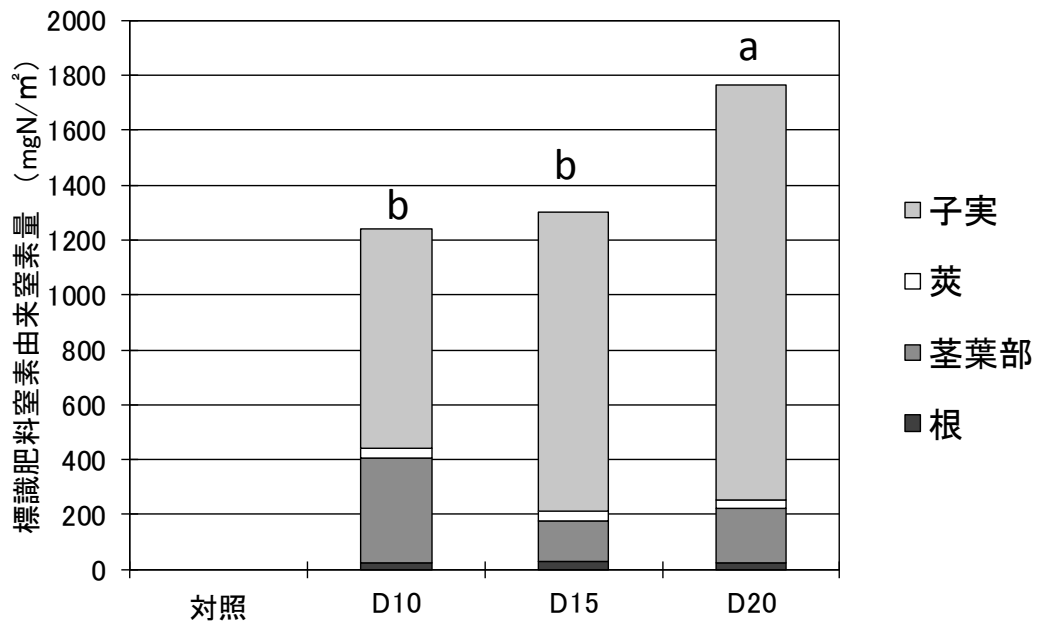


図 3-2-6 石灰窒素（10 kgN/10a）の深度別施肥区の部位別石灰窒素由来窒素量

処理区：対照；深層施肥なし．D10；深さ 10 cm に施肥．D15；深さ 15 cm に施肥．
D20；深さ 20 cm に施肥．

図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す

表 3-2-1 石灰窒素の施肥深度による黄葉期ダイズの生育に及ぼす影響

	子実重 g/株	子実数 個/株	100粒重 g	莢数 個/株	主茎長 cm	主茎節数 個/株	茎径 mm
対照	36.0	139	25.6	78	29.8	8.3	10.7
D10	43.5	154	28.2	78	43.8	10.3	10.3
D15	43.7	157	27.9	74	49.1	10.7	9.0
D20	64.7	213	29.5	96	51.0	11.7	10.8

対照：深層施肥なし。D10: 深さ 10 cm に施肥。D15: 深さ 15 cm に施肥。D20：深さ 20 cm に施肥。
(施肥量：10 kgN/10a, 播種密度 8.9 株/m²)

表 3-2-2 施肥深度による黄葉期におけるダイズの窒素固定、土壌、肥料由来窒素量の比較

窒素量 (gN/m ²)				
処理区	固定窒素	土壌窒素	肥料窒素	全窒素
対照	10.6	8.5	0	19.1
D10	15.1	7.3	1.2	23.6
D15	15.5	7.9	1.3	24.7
D20	20.4	11.4	1.8	33.6

対照：深層施肥なし。D10: 深さ 10 cm に施肥。D15: 深さ 15 cm に施肥。D20：深さ 20 cm に施肥。
(施肥量：10 kgN/10a, 播種密度 8.9 株/m²)

対照区と D10 区では茎葉部の窒素含有量が D15 区、D20 区より多く含まれたが、子実の窒素含有量は低かった。相対ウレイド法から推定した生育時期別一日あたり窒素固定活性と窒素吸収速度を図 3-2-3 に示す。D10 区では、窒素吸収速度は対照区と同様であったが、窒素固定活性が若干上昇した。D15 区では、窒素固定活性と、71 日から 102 日までの窒素吸収速度の増加が認められた。D20 区では、窒素固定活性も、窒素吸収速度も対照区に比べて顕著に増加した。

成熟期 (R8 期) に収穫したダイズの子実重量は、対照区、D10 区、D15 区、D20 区で、それぞれ、428 g/m²、507 g/m²、525 g/m²、614 g/m² となり、深さ 20 cm に施肥した区の収量が最高であった (図 3-2-4)。また、整粒重量も、対照区、D10 区、D15 区、D20 区で、それぞれ、214 g/m²、329 g/m²、294 g/m²、401 g/m² となり、深さ 20 cm に施肥した区の収量が最高であった (図 3-2-4)。収穫時の子実の整粒割合は、石灰窒素の施肥で 10-15% 高くなり、D20 区で最高値を示した (図 3-2-5)。整粒割合の増加は、亀甲じわ、ちりめんじわ粒の割合がともに低下したことによる。

¹⁵N 標識石灰窒素の利用量は、10 cm 区、15 cm 区、20 cm 区で、それぞれ、1240 mgN/m²、1310 mgN/m²、1760 mgN/m² となり、D10 区と D15 区はほぼ同程度であったが、D20 区では高い値を示した (図 3-2-6)。標識窒素分配率をみると、15 cm 区、20 cm 区では 80% 以上が子実に分配されていたが、10 cm 区では子実分配率は 65% 程度で茎葉部の割合が高かった。

表 3-2-2 に相対ウレイド値と ¹⁵N 分析値から求めた施肥深度別の窒素固定由来窒素、土壌由来窒素、肥料由来窒素の値を示す。窒素固定由来窒素については、対照区 10.6 gN/m² に対して、D10 区 15.1 gN/m²、D15 区 15.5 gN/m²、D20 区 20.4 gN/m² となり、深さ 20 cm に施肥した区では対照区の 2 倍にも達した。土壌由来窒素は、慣行区、D10 区、D15 区で差がなかったが、D20 区では高まった。肥料由来窒素も、D20 区で最高値を示した。全窒素含有量は、20 cm に施肥した区で 33.6 gN/m² となり、慣行区、D10 区、D15 区の 19.1 gN/m²、23.6 gN/m²、24.7 gN/m² を大きく上回った。

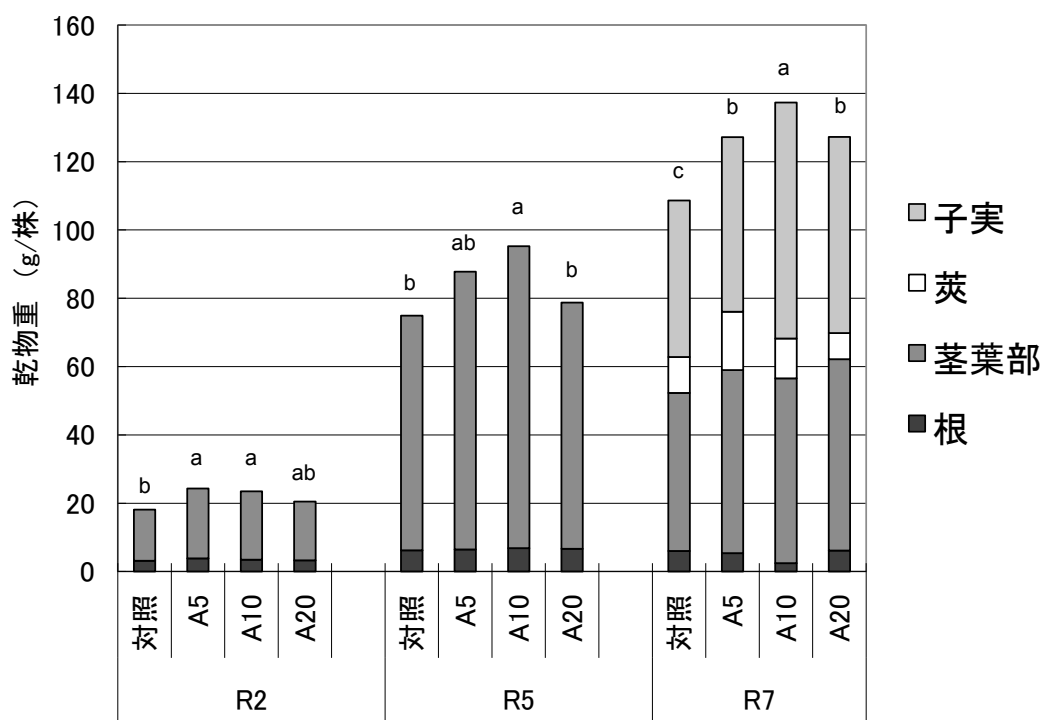


図 3-2-7 石灰窒素深層施肥（深さ 20 cm）の施用量別施肥区における生育時期別乾物重の推移

処理区：対照；深層施肥なし．A5；施用量 5 kgN/10a. A10；施肥量 10 kgN/10a.
A20；施肥量 20 kgN/10a.

生育時期：R2；開花盛．R5；子実肥大始．R7；成熟始．

図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す．

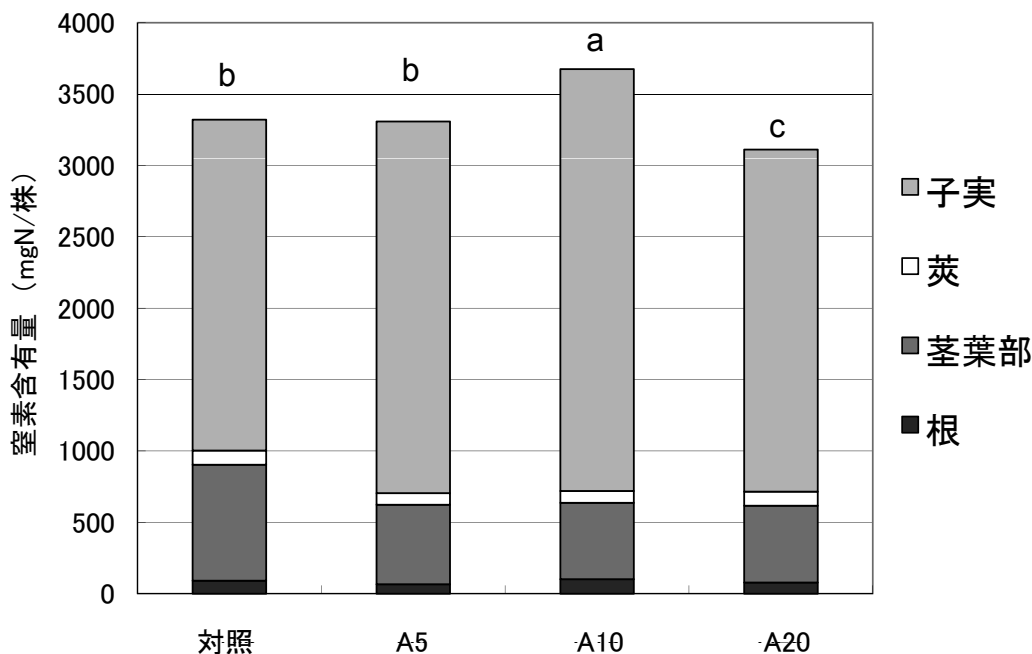


図 3-2-8 R7 期（成熟始）における石灰窒素深層施肥（深さ 20 cm）の施用量別施肥区における株あたり窒素含有量

処理区：対照；深層施肥なし．A5；施用量 5 kgN/10a. A10；施用量 10 kgN/10a.
A20；施用量 20 kgN/10a.

図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す．

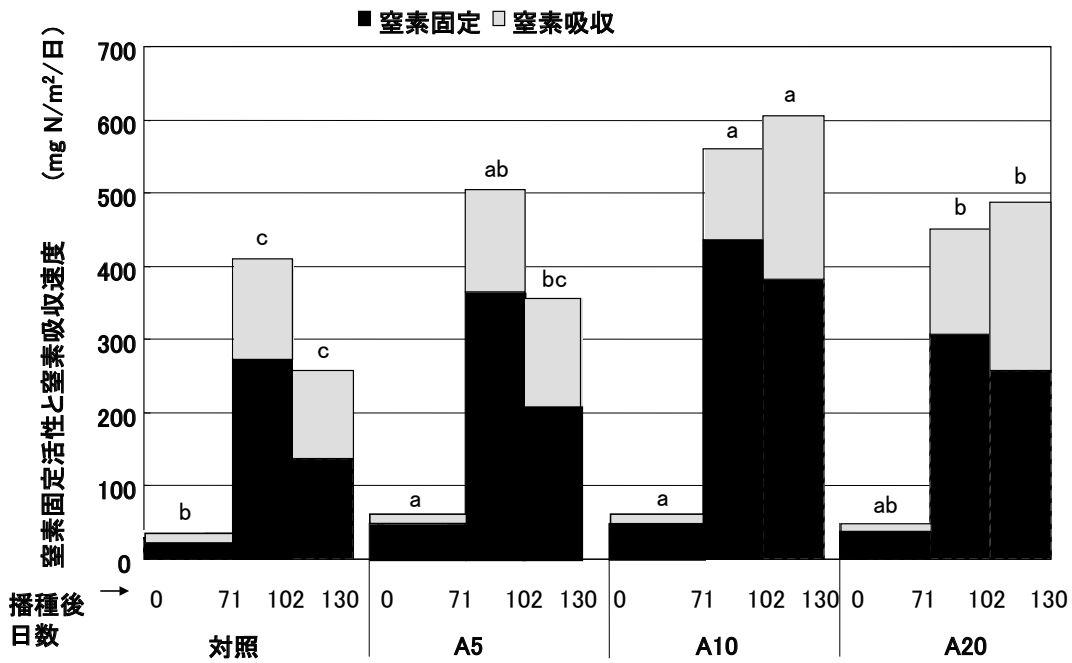


図 3-2-9 石灰窒素（深さ 20 cm）の施用量別施肥区の生育時期別窒素固定活性と窒素吸収速度の推移

処理区：対照；深層施肥なし．A5；施用量 5 kgN/10a. A10；施用量 10 kgN/10a. A20；施用量 20 kgN/10a.
 生育時期：R2；（播種 71 日後）開花盛，R5；（播種 102 日後）子実肥大始，R7；（播種 130 日後）成熟始．
 図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す．

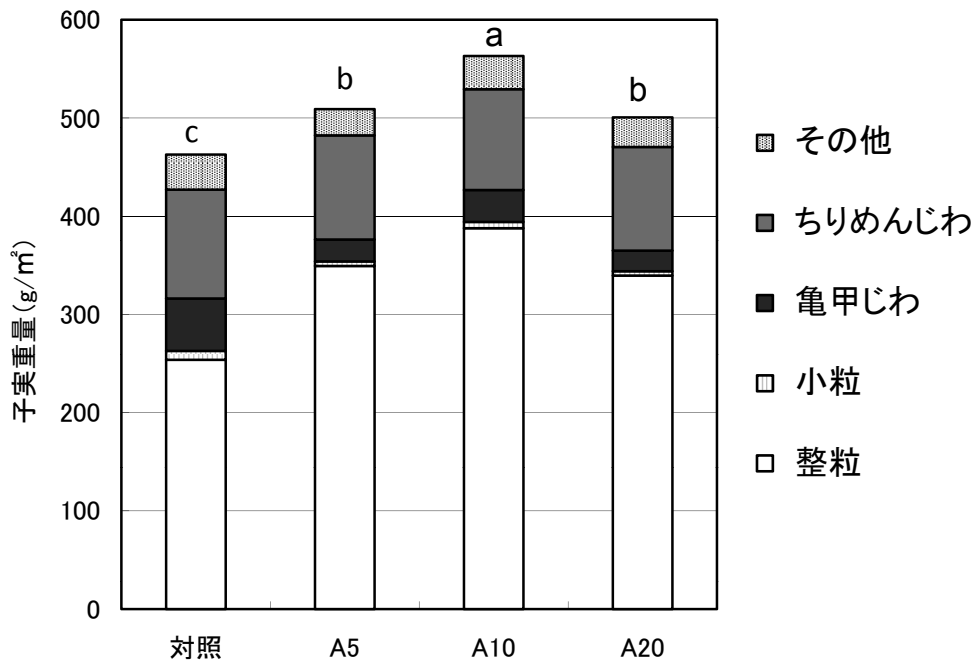


図 3-2-10 R8 期（収穫期）における，石灰窒素深層施肥（深さ 20 cm）の施用量別施肥区における子実収量と品質

処理区：対照；深層施肥なし．A5；施用量 5 kgN/10a. A10；施用量 10 kgN/10a. A20；施用量 20 kgN/10a.
 図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す．

(2) ダイズ子実収量および品質に及ぼす石灰窒素の施肥量の影響

長岡の水田転換畑において、播種時に石灰窒素 (5 kgN/10a, 10 kgN/10a, 20 kgN/10a) を、播種条直下、深さ 20 cm の位置に深層施肥した。あわせて深層施肥を行わない対照区 (0 kgN/10a) を設けた。図 3-2-7 に生育時期別乾物重の推移を示す。R2 期においては、全乾物重は、対照区が最も低く A5 区が最高値を示した。R5 期と R7 期においては、対照区が最も低く A10 区が最高値を示した。A20 区では多量の施肥をしたにもかかわらず、どの時期にも A10 区より全乾物重は低かった。表 3-2-3 に石灰窒素施肥量別の R7 期におけるダイズの生育状況を示す。株当たり子実重と子実数は、A10 区で対照区より著しく高まったが、A20 区ではむしろ A10 区よりも低下した。100 粒重、莢数、主茎長も同様の傾向を示した。ただし、主茎節数は、A20 区が最高値を示した。

図 3-2-8 に R7 期における処理区別窒素含有量を示す。全窒素含有量は、A10 区で最も高く、A20 区が最低であった。また、対照区では茎葉部への窒素の分配が多く、石灰窒素深層施肥では子実への分配が多かった。

相対ウレイド法から推定した生育時期別の一日あたり窒素固定活性と窒素吸収速度を図 3-2-9 に示す。深さ 20 cm に施肥した場合は、いずれの区でも、対照区より窒素固定と窒素吸収の促進が認められた。A5 区では、R2 期から R5 期の間比べて、R5 期 (102 日) 以降、窒素固定活性と窒素吸収速度の低下が見られたが、A10 区と A20 区では、R5 期から R7 期の間も R2 期から R5 期とほぼ同等の窒素固定活性を維持し、かつ高い窒素吸収速度を示した。

図 3-2-10 に示すように、子実収量は、対照区、A5 区、A10 区、A20 区で、それぞれ、485 g/m²、530 g/m²、585 g/m²、515 g/m² となり、10 kgN/10a 区で最高収量が得られた。種子品質割合については、石灰窒素の深層施肥でいずれの施肥量でも、整粒割合が対照区の 52% から 67% 前後に増加し、亀甲じわが半減し、ちりめんじわの割合も低下した (図 3-2-11)。

¹⁵N 標識石灰窒素の利用量は、A5 区、A10 区、A20 区で、それぞれ、345 mgN/m²、710 mgN/m²、1000 mgN/m² となり、A10 区では、A5 区のほぼ 2 倍の吸収量であったが、A20 区では A10 区より吸収量は増加したものの、1.4 倍に留まった (図 3-2-12)。標識窒素分配率をみると、A10 区と A20 区では標識窒素の約 75% が子実に分配されていたが、A5 区では子実分配率は 60% 程度で茎葉部の割合が高かった。

表 3-2-4 に R7 期における施肥深度別の窒素固定由来窒素、土壌由来窒素、肥料由来窒素の値を示す。窒素固定由来窒素については、対照区 14.4 gN/m² に対して、A5 区 20.1 gN/m²、A10 区 27.7 gN/m²、A20 区 19.4 gN/m² となり、10 kgN/10a に施肥した区で最高値を示した。土壌由来窒素は、慣行区 < A5 区 < A10 区 < A20 区であった。肥料由来窒素も同様であった。全窒素含有量は、A10 区で 38.5 gN/m² となり、対照区、A5 区、A20 区の 22.7 gN/m²、29.4 gN/m²、31.1 gN/m² を大きく上回った。

(3) 実験 3：深層施肥した石灰窒素と被覆尿素の時期別吸収と窒素固定、生育、収量、品質への影響

開花始期以降の株当たり乾物重の生育時期別変化を図 3-2-13 に示す。R3 期までは、対照区と被覆尿素及び石灰窒素の深層施肥区の生育に有意差が認められなかったが、R5 期と R7 期では、被覆尿素及び石灰窒素の深層施肥区で対照区より有意に高い乾物集積が認められた。図 3-2-14 に R7 期における根、茎葉部、莢、子実、各部位の株あたり乾物重を示す。被覆尿素または石灰窒素の深層施肥で、茎葉部と子実の乾物重が有意に増加したが、根と莢は増加が認められなかった。開花始期以降の株当たり全窒素含有量の生育時期別変化を図 3-2-15 に示す。被覆尿素と石灰窒素の深層施肥区的全窒素含有量は、開花始 (R1 期) から対照区より高く、最後まで高く推移した。R5 期以降、石灰窒素区が被覆尿素区を若干上回った。表 3-2-5 に被覆尿素と石灰窒素の深層施肥によるダイズの収量構成

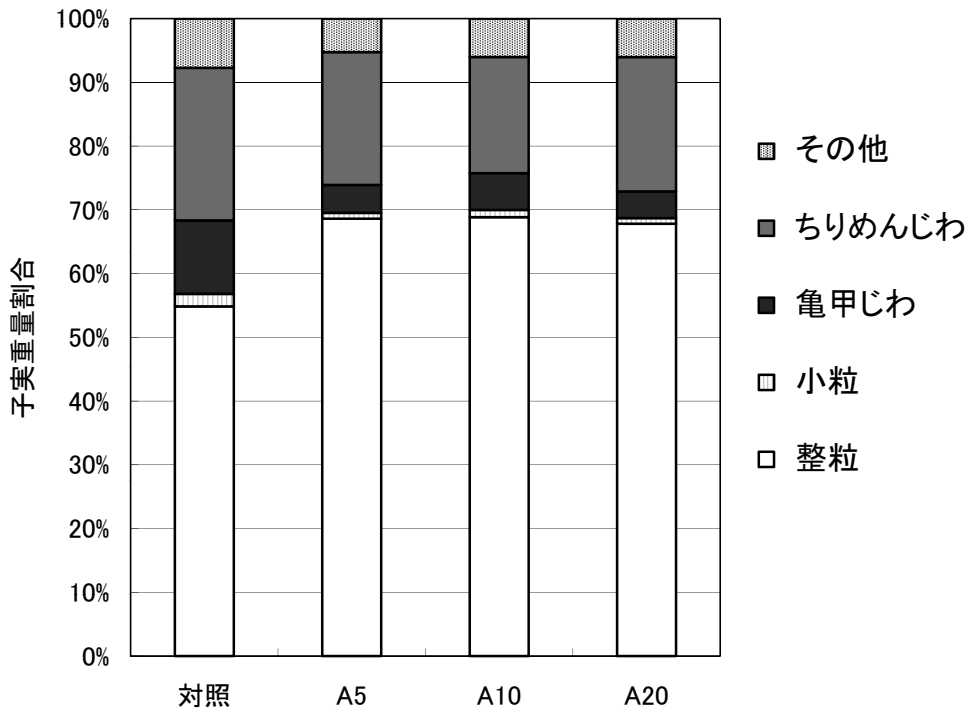


図 3-2-11 R8 期（収穫期）における石灰窒素深層施肥（深さ 20 cm）の施用量別施肥区における子実品質割合

処理区：対照；深層施肥なし．A5；施用量 5 kgN/10a.
A10；施用量 10 kgN/10a. A20；施用量 20 kgN/10a.

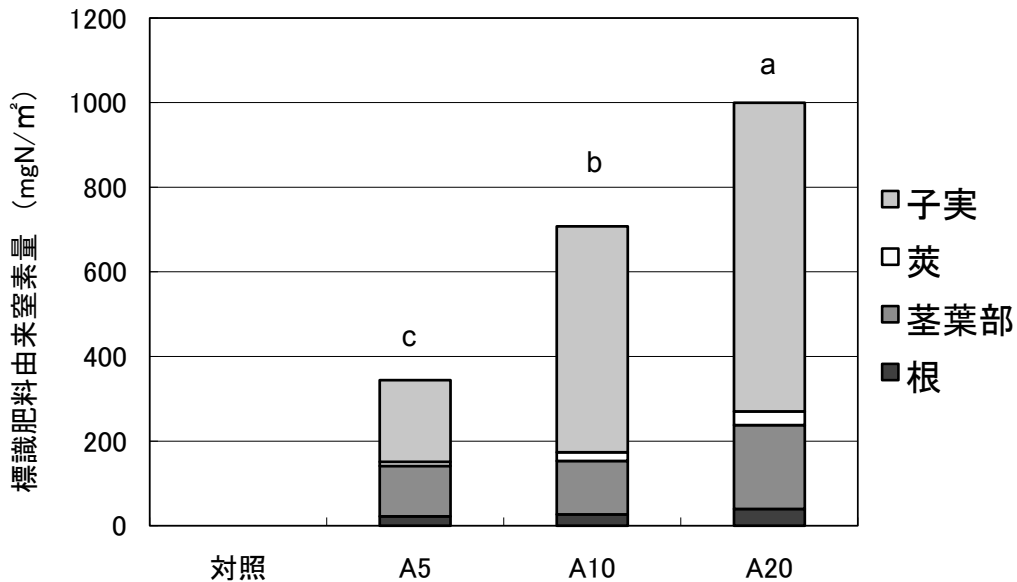


図 3-2-12 石灰窒素深層施肥（深さ 20 cm）の施用量別施肥区における部位別石灰窒素由来窒素量

処理区：対照；深層施肥なし．A5；施用量 5 kgN/10a.
A10；施用量 10 kgN/10a. A20；施用量 20 kgN/10a.

図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す。

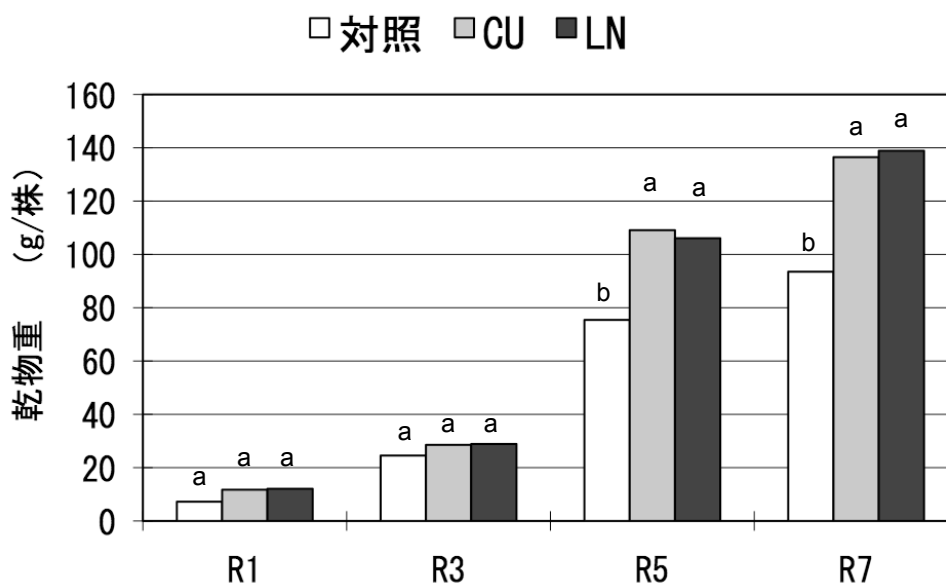


図 3-2-13 石灰窒素または被覆尿素有の深層施肥（深さ 20 cm）区および対照区における生育時期別乾物重の推移

処理区：対照；深層施肥なし．CU；被覆尿素（施用量 10 kgN/10a）．

LN；石灰窒素（施用量 10 kgN/10a）．

図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す．
生育時期：R1；開花始．R3；着莢始．R5；子実肥大始．R7；成熟始．

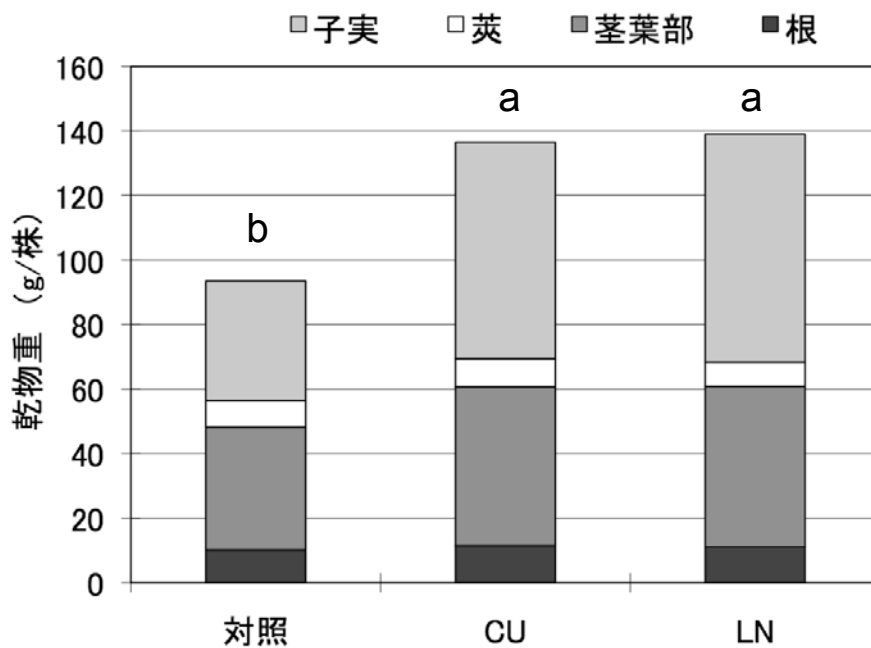


図 3-2-14 R7 期（成熟始）における石灰窒素または被覆尿素有の深層施肥（深さ 20 cm）区および対照区の部位別乾物重

処理区：対照；深層施肥なし．CU；被覆尿素（施用量 10 kgN/10a）

LN；石灰窒素（施用量 10 kgN/10a）．

図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す．

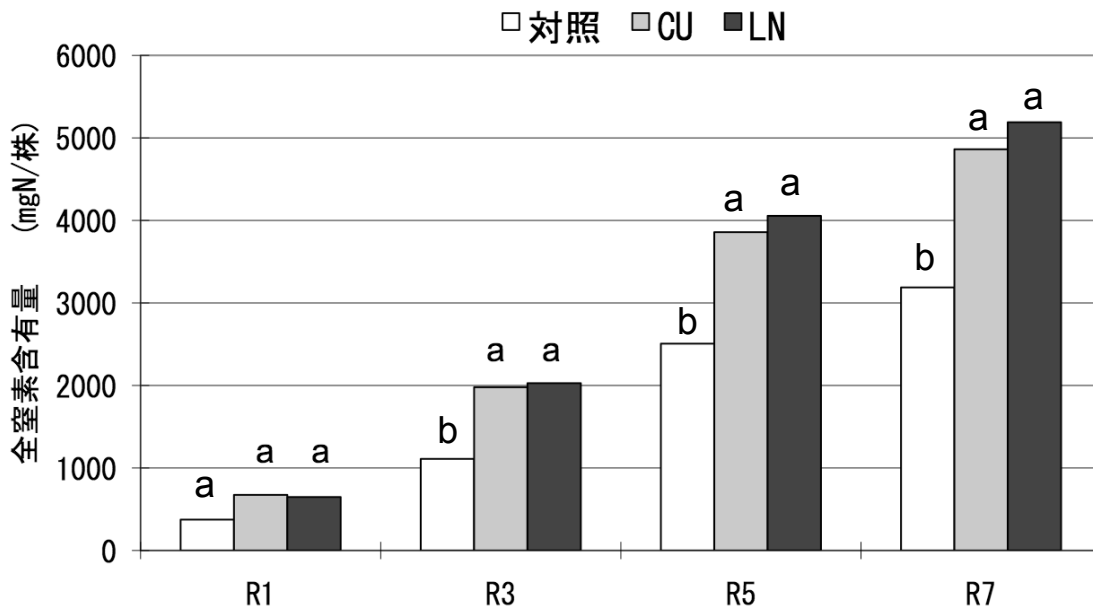


図 3-2-15 石灰窒素または被覆尿素の深層施肥（深さ 20 cm）区および対照区における生育時期別全窒素含有量の推移

処理区：対照；深層施肥なし．CU；被覆尿素（施用量 10 kgN/10a）

LN；石灰窒素（施用量 100 10 kgN/10a）．

生育時期：R1；開花始．R3；着莢始．R5；子実肥大始．R7；成熟始．

図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す．

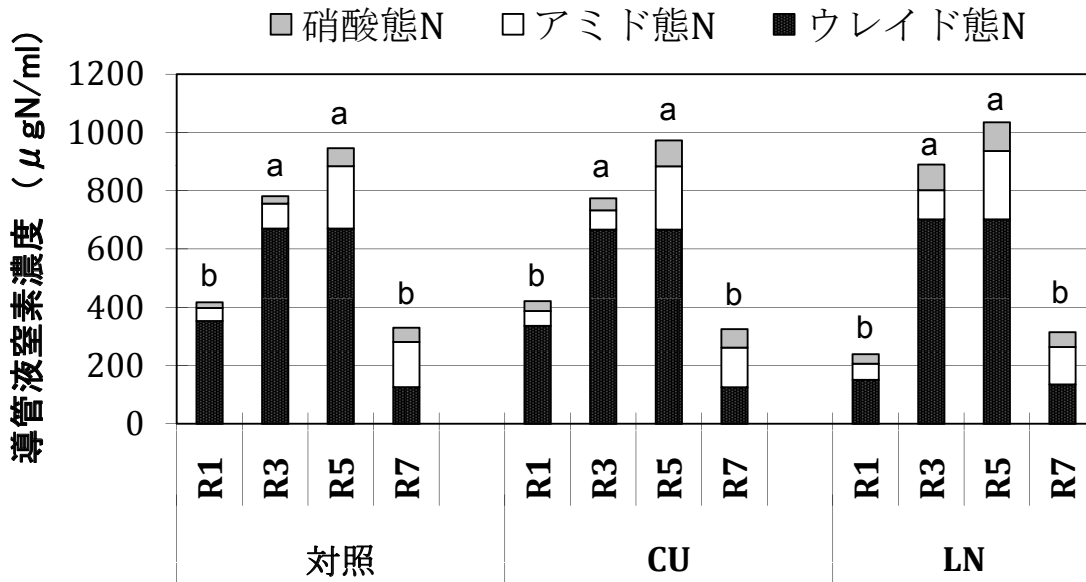


図 3-2-16 石灰窒素または被覆尿素の深層施肥（深さ 20 cm）区および対照区における生育時期別導管液窒素成分濃度の推移

処理区：対照；深層施肥なし．CU；被覆尿素（施用量 10 kgN/10a）

LN；石灰窒素（施用量 10 kgN/10a）．

図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す．

生育時期：R1；開花始．R3；着莢始．R5；子実肥大始．R7；成熟始．

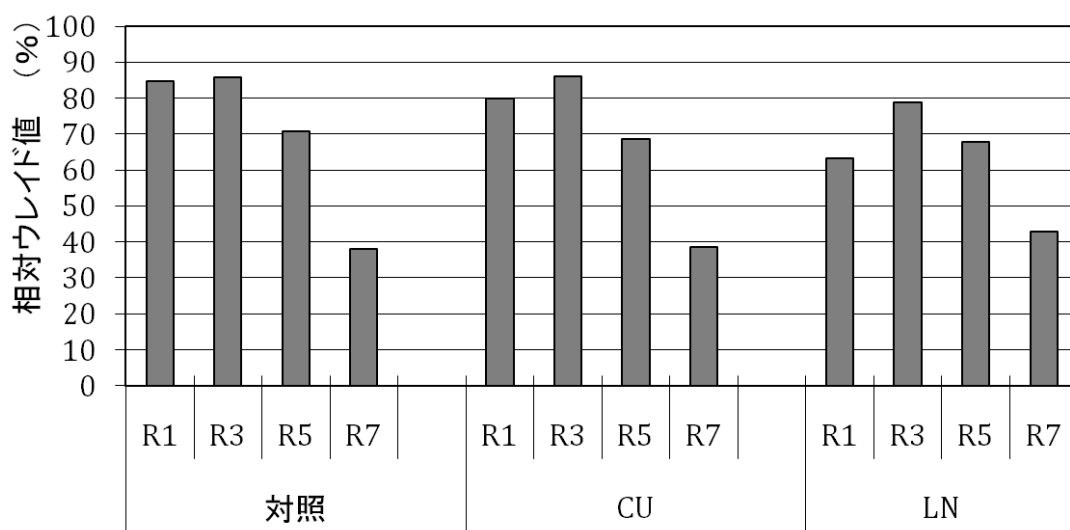


図 3-2-17 石灰窒素または被覆尿素の深層施肥（深さ 20 cm）区および対照区における生育時期別相対ウレイド値の推移

処理区：対照；深層施肥なし．CU；被覆尿素（施用量 10 kgN/10a）LN；石灰窒素（施用量 10 kgN/10a）．

生育時期：R1；開花始．R3；着莢始．R5；子実肥大始．R7；成熟始．

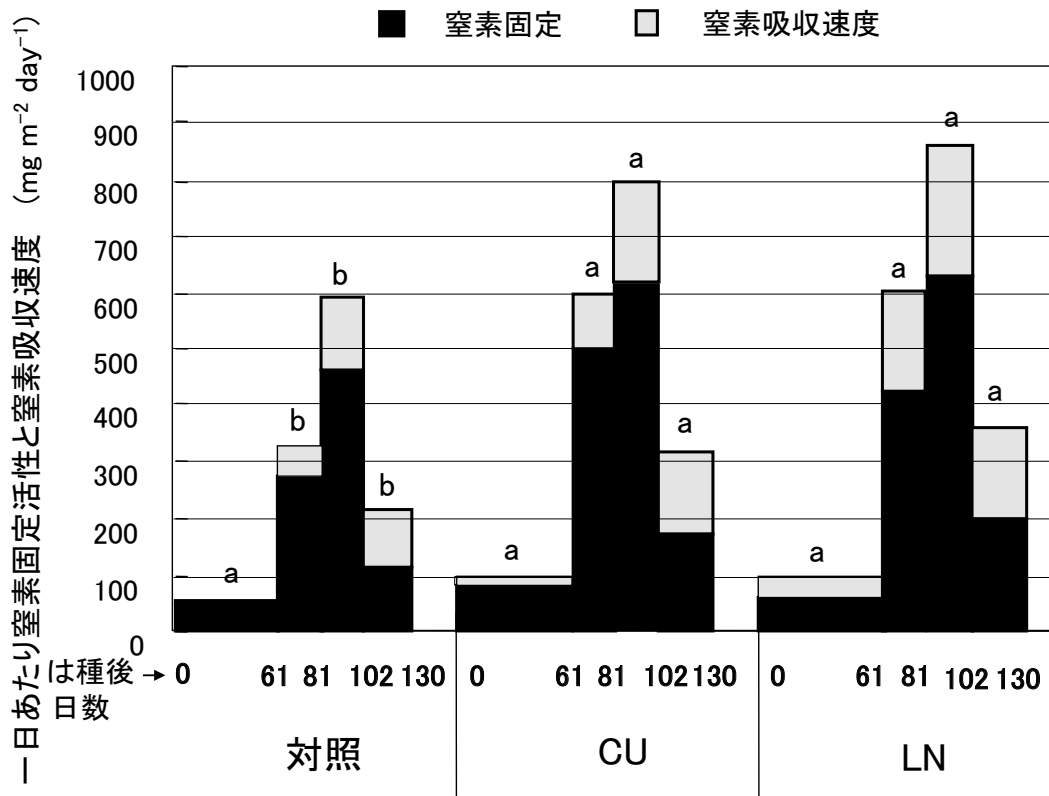


図 3-2-18 被覆尿素または石灰窒素深層施肥（深さ 20 cm）による施用量別施肥区の生育時期別窒素固定活性と窒素吸収速度の推移

処理区：対照；深層施肥なし．CU；被覆尿素（施用量 10 kgN/10a）．LN；石灰窒素（施用量 10 kgN/10a）．生育時期：R1；（播種 61 日後）開花始．R3；（播種 81 日後）着莢始．R5；（播種 102 日後）子実肥大始．R7；（播種 130 日後）成熟始．

図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は < 5% の有意差があることを示す．

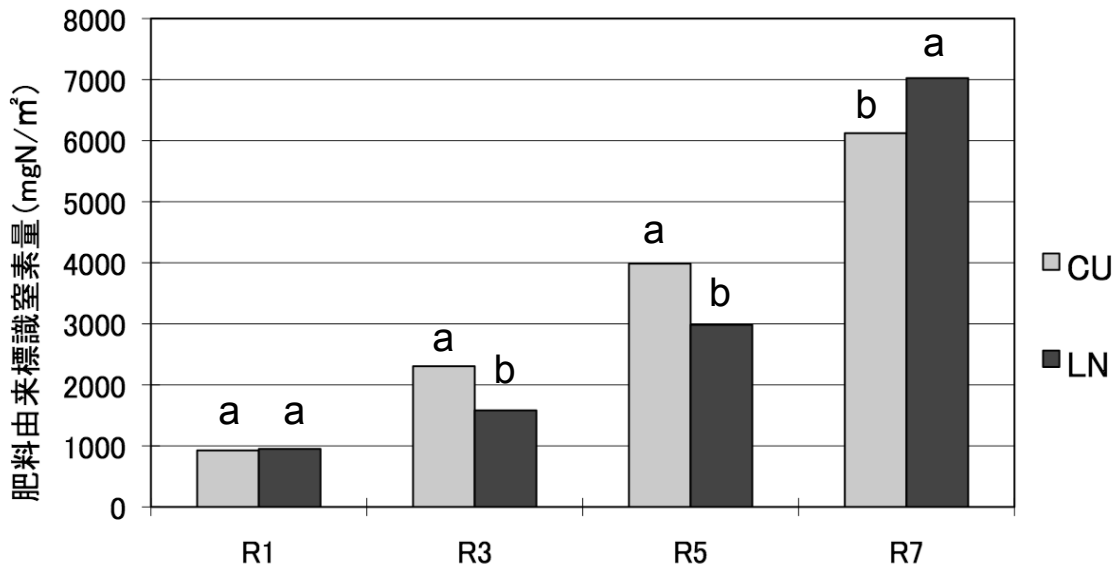


図 3-2-19 石灰窒素または被覆尿素の深層施肥（深さ 20 cm）区および対照区における生育時期別標識窒素吸収量の推移

処理区：対照；深層施肥なし．CU；被覆尿素（施用量 10 kgN/10a）．LN；石灰窒素（施用量 10 kgN/10a）．

生育時期：R1；開花始．R3；着莢始．R5；子実肥大始．R7；成熟始．

図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す．

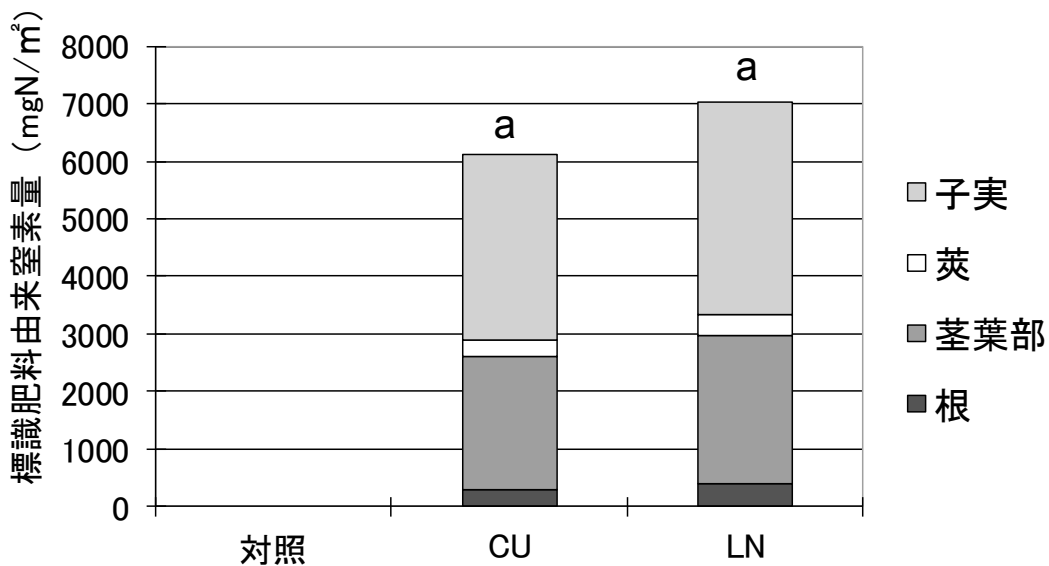


図 3-2-20 R7 期（成熟始）における石灰窒素または被覆尿素の深層施肥（深さ 20 cm）区の部位別標識窒素含有量

処理区：対照；深層施肥なし．CU；被覆尿素（施用量 10 kgN/10a）．LN；石灰窒素（施用量 10 kgN/10a）．

図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す．

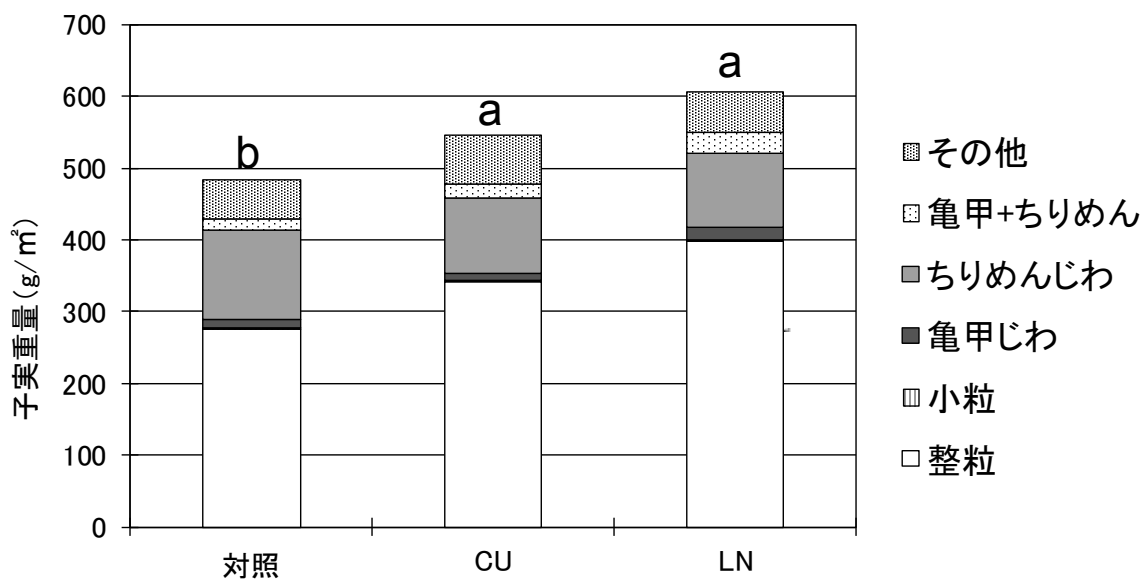


図 3-2-21 R8 期（収穫期）における石灰窒素または被覆尿素の深層施肥（深さ 20 cm）区および対照区の子実収量と品質

処理区：対照；深層施肥なし．CU；被覆尿素（施用量 10 kgN/10a）

LN；石灰窒素（施用量 10 kgN/10a）．

図棒グラフの上のアルファベットが異なる場合は< 5%の有意差があることを示す

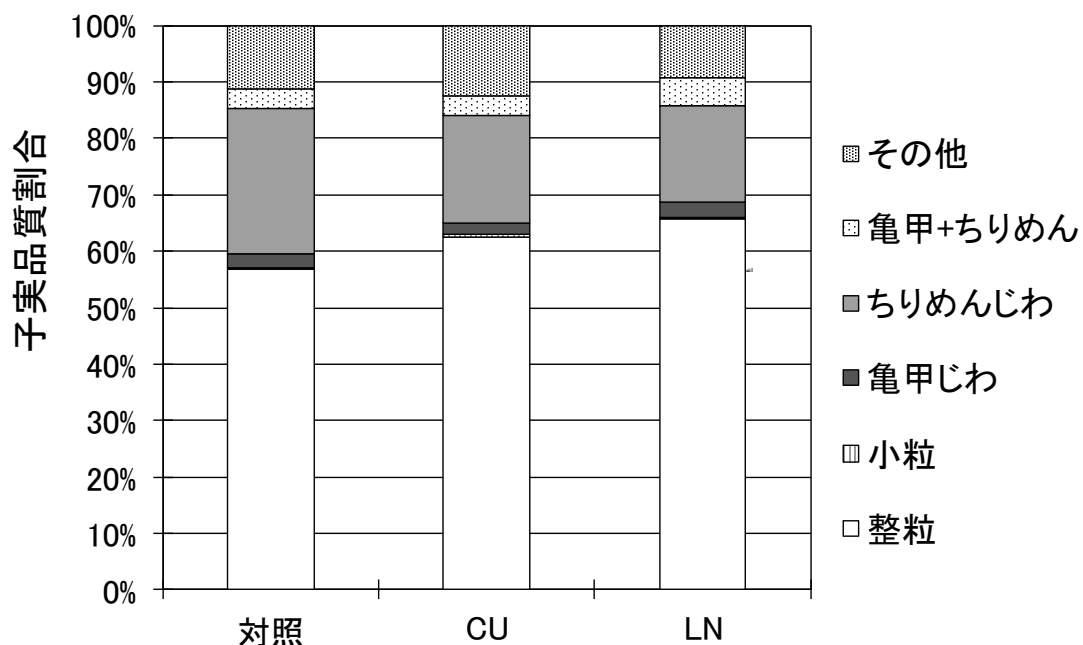


図 3-2-22 R8 期（収穫期）における石灰窒素または被覆尿素の深層施肥（深さ 20 cm）区および対照区の子実品質割合

処理区：対照；深層施肥なし．CU；被覆尿素（施用量 10 kgN/10a）

LN；石灰窒素（施用量 10 kgN/10a）

要素を示す。株当たり子実乾物重と子実数は、被覆尿素区と石灰窒素区で対照区より有意に高まり、両者に差はなかった。莢数、100粒重も同様の傾向を示した。主茎長は、対照区 48 cm に対し、被覆尿素区 53 cm、石灰窒素区 50 cm であった。

茎基部から採取した導管液中のウレイド濃度および全窒素濃度（ウレイド+アミド+硝酸）は、どの区でも R1 期から R3 期に高まり、R5 期から R7 期にかけて低下した（図 3-2-16）。相対ウレイド値（全窒素にしめるウレイド窒素の割合：窒素固定依存率）は、R1 期の石灰窒素区を除きどの区でも大差なかった（図 3-2-17）。

相対ウレイド値と株当たりの窒素集積量から、一日当たりの窒素固定活性と窒素吸収速度を算出した（図 3-2-18）。被覆尿素と石灰窒素はほぼ同様なパターンを示し、窒素固定活性はどの時期にも対照区よりも高く推移し、窒素固定活性の阻害は認められなかった。被覆尿素深層施肥区では、R3 期（播種後 81 日）までの窒素固定活性の促進効果が大きく、開花期以降窒素吸収も促進された。石灰窒素区では、R5 期以降の窒素固定活性と窒素吸収速度が、被覆尿素より高かった。

図 3-2-19 に生育時期別の被覆尿素と石灰窒素由来窒素吸収量の推移を示す。両者由来の窒素は、R1 期まではほぼ同等であるが、R3 期、R5 期には被覆尿素が石灰窒素を上回った。しかしながら、石灰窒素は、R5 期から R7 期にかけて多量に吸収され、R7 期の石灰窒素吸収量は被覆尿素吸収量を上回った。図 3-2-20 に R7 期の被覆尿素と石灰窒素由来窒素吸収量の部位別分配を示す。石灰窒素と被覆尿素的期間別分配率は、ほぼ同様であり、子実に約半分が分配された。

表 3-2-6 に、生育時期別の対照区、被覆尿素深層施肥区、石灰窒素深層施肥区の起源別由来窒素量（窒素固定由来窒素、肥料由来窒素、土壌由来窒素）を示す。R7 期における全窒素量は、対照区 28.4 gN/m² に対し、被覆尿素区 43.3 gN/m²、石灰窒素区 46.2 gN/m² と石灰窒素や被覆尿素的深層施肥で顕著に高まる事が確認された。さらに、窒素固定由来窒素量は、対照区 21.4 gN/m² に対し、被覆尿素区 32.1 gN/m²、石灰窒素区 31.1 gN/m² と石灰窒素または被覆尿素的深層施肥で窒素固定が促進されることが明確に示された。

子実の外観的品質収量（図 3-2-21）と品質割合（図 3-2-22）は、被覆尿素または石灰窒素の深層施肥で改善され、整粒割合は、対照区 57% に対し、被覆尿素区 62%、石灰窒素区 66% と増加した。同時にちりめんじわの割合が低下し、しわ粒低減に効果が見られた。

3) 考察

実験 1 において、石灰窒素の施肥深度の効果について、長岡の転換畑では、施肥深度 10 cm、15 cm と比べて 20 cm で高い増収効果が認められた。施肥深度 20 cm 区では、10 cm 区、15 cm 区と比較して、窒素固定活性の促進が著しく、かつ、肥料利用率、土壌窒素吸収も促進した。この理由として以下の点があげられる。①圃場の耕盤がちょうど 20 cm 下にあり、施肥した肥料が移動しにくいこと、②深い位置に施肥した石灰窒素は、尿素、アンモニアへの変換後、硝化されにくいこと、③地上部近傍に多く着生する根粒の生長や活性を阻害しにくいこと、④深い位置に施肥することにより、深部の根の発達を促し、土壌由来窒素も多く吸収したこと、などが考えられる。

実験 2 において、石灰窒素の施用量の影響については、施用量 20 kgN/10a では、収量は、10 kgN/10a よりも減収となった。これは、施肥窒素吸収量は増加したが、窒素固定の促進効果が 10 kgN/10a よりも低下したためである。Yashima ら⁽²⁹⁾ は、ダイズを上下二重のポットで栽培し、下部ポットの水耕液に硝酸を与えて、上部根の根粒形成と窒素固定に与える影響を調べた。その結果、下部ポットから、低濃度（1 mM/L）の硝酸を与えて栽培すると上部ポットの根粒形成と窒素固定を

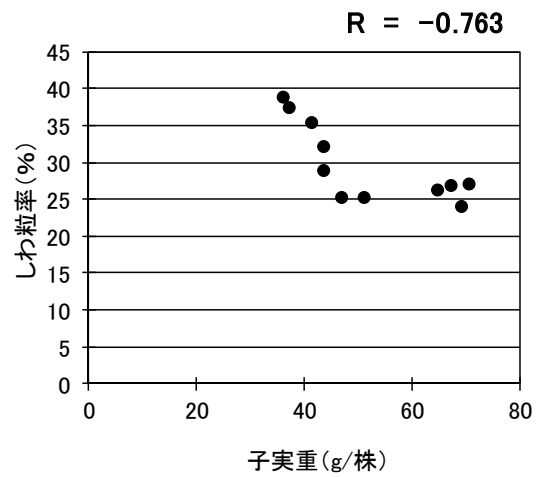
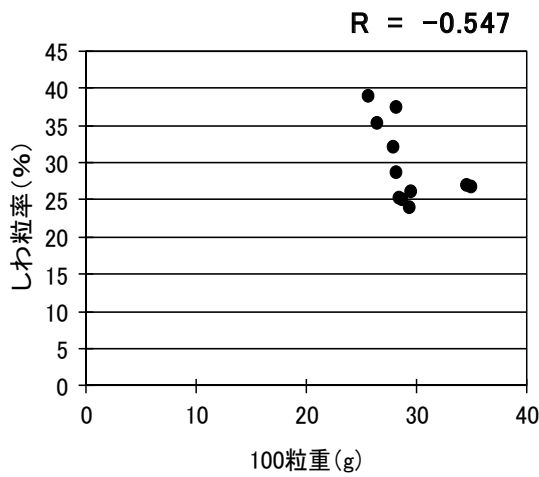


図 3-2-23 R8 期（収穫期）における子実重（100 粒重，株あたり子実重）と しわ粒（亀甲じわ+ちりめんじわ）率の関係

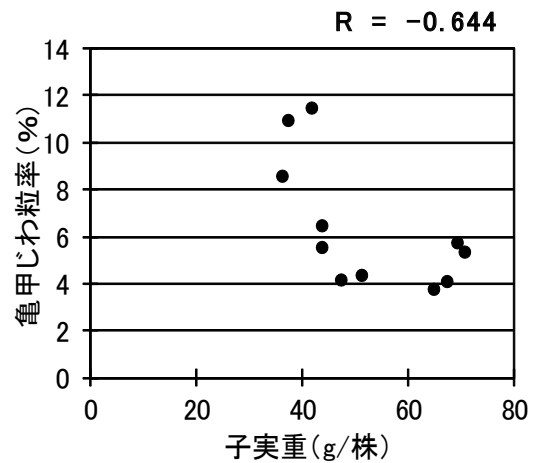
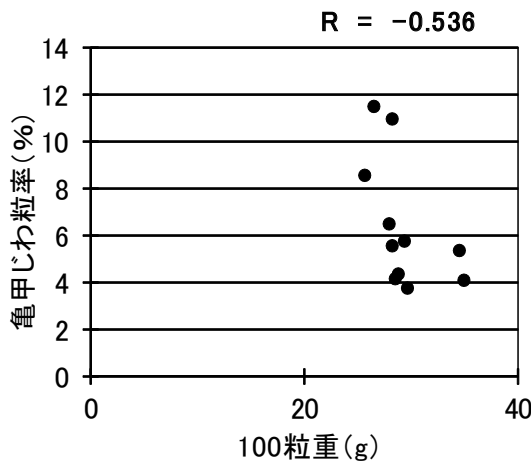


図 3-2-24 R8 期（収穫期）における子実重（100 粒重，株あたり子実重）と 亀甲じわ粒率の関係

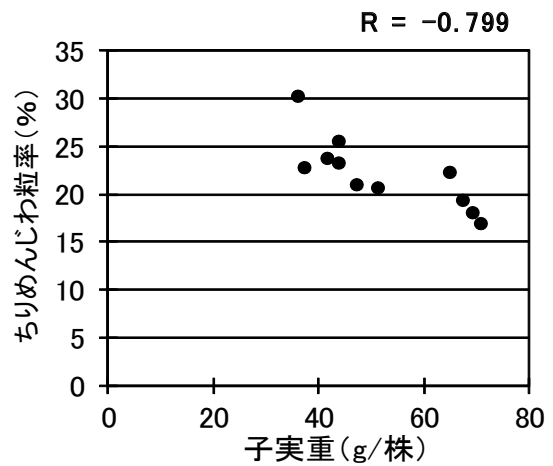
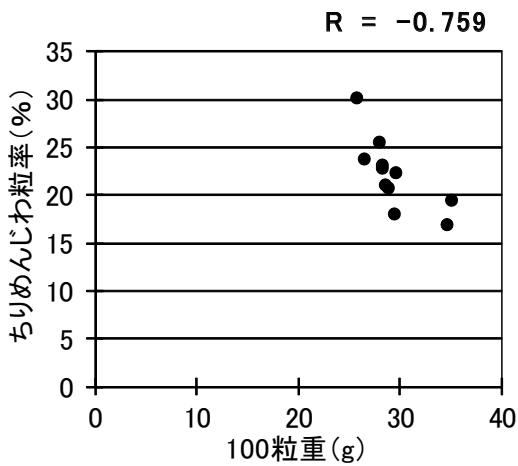


図 3-2-25 R8 期（収穫期）における子実重（100 粒重，株あたり子実重）と ちりめんじわ粒率の関係

促進するが、下部ポットに比較的高濃度（5 mM/L）硝酸を与えると、上部ポットの根粒生長も窒素固定活性も阻害された。たとえ根粒形成部位と離れた場所に与えた硝酸でも、高濃度の場合には、窒素要求量が吸収窒素で足りるため、根粒形成と窒素固定が抑制されると考えられる。施用量 20 kgN / 10a での窒素固定の阻害は同様な機構によると思われる。

石灰窒素と被覆尿素の比較については、これまで Tewari らの研究で、石灰窒素を深さ 20 cm の位置に 10 kgN / 10a 施肥することにより、被覆尿素と同等かそれ以上の増収効果が認められている⁽²¹⁻²⁸⁾。今回、石灰窒素と被覆尿素の吸収経過を生育時期を追って調べた結果、石灰窒素は、R1 期（開花始）までは被覆尿素の LP-100 とほぼ同様に吸収されるが、その後、被覆尿素より吸収が少なく、子実肥大始期（R5 期）から成熟始期（R7 期）までの子実が肥大しタンパク質を蓄える時期に大量の窒素を供給することが明らかとなった。このような窒素の供給パターンは、ダイズの窒素要求パターンと合致しており、窒素固定促進効果も高いものと考えられる。石灰窒素が、R5 期の施肥 100 日目以降に多量に吸収されることは、一般に考えられているよりもかなり遅い吸収とみられた。これは、石灰窒素を表土下 20 cm に施肥したため、硝化の遅れと、根が施肥位置に到達してから吸収されたことによるのではないかとと思われる。

被覆尿素と石灰窒素の深層施肥は、いずれもしわ粒割合を減じ、整粒割合を 10% 前後増加させ、ダイズの外観品質の向上に効果が認められた。表 3-2-7 に実験 1 から実験 3 までのしわ粒改善効果をまとめた。本実験結果では、石灰窒素の深層施肥でしわ粒を完全になくすることはできなかったが、一貫した軽減効果が確認された。ここで明らかのように、実験によらず約 10% のしわ粒率低下効果が見られ、亀甲じわ、ちりめんじわ両者ともに低減効果が認められた。これは、子実が肥大する時期に十分な量の窒素が供給されることにより、しわ粒の割合を減らすことができるためと考えられる。反対に生育後期に土壌条件や気象条件が悪く、窒素固定活性の早期の低落などにより窒素供給が不足すると、しわ粒割合が増し、品質が低下する恐れがある。しわ粒の発生率は裂皮粒率と高い相関がみられた^(10, 27) ことから、種皮の強度が弱くしわ粒が発生する恐れがある。石灰窒素に含まれるカルシウムが細胞壁を補強し、しわ粒の発生を防いだ可能性もある。

図 3-2-23、図 3-2-24、図 3-2-25 に実験 1, 2, 3 における、子実 100 粒重または、収量（子実重 / 株）としわ粒発生率の関係を示す。図 3-2-23 に見られるように、亀甲じわとちりめんじわを加えたしわ粒率と子実収量の間には、高い負の相関（ $R = -0.763$ ）が認められた。同様なしわ粒発生率と子実収量の関係は、亀甲じわ（図 3-2-24）、ちりめんじわ（図 3-2-25）でも認められた。100 粒重としわ粒発生率とも同様の負の関係が認められた。これらの結果から、後期栄養が十分充足し、100 粒重、収量が高くなる条件では、しわ粒発生率が低下することが確認された。

Tewari ら⁽²⁴⁾ の新潟市新通の転換畑における 2002 年の試験では、尿素または被覆尿素を、全層施肥または深層施肥を行った。この実験では、対照区も含めて、亀甲じわ 4-7%、ちりめんじわ 3-5% としわ粒の発生率は長岡における試験（対照区 35-40%）より低く、かつ施肥処理間に差が見られなかった。新通圃場は、地力が高く、後期の窒素発現が高かったことが原因と思われる。近年、地力の低下によるダイズ収量と品質の低下が問題となっているが、収量のみならず、しわ粒低下の面からも地力維持が求められる。

緩効性窒素肥料の深層施肥による増収効果については、次のように考えられる。高橋らの一連の研究で、被覆尿素（LP-100）の深層施肥による増収効果は、深層施肥した肥料が R1 期（開花始）以降に効率的に吸収されることと同時に、窒素肥料、特に阻害効果の強い硝酸態窒素が地表部近傍に多く着生する根粒と直接接触せず、窒素固定を阻害しないことが明らかにされている。また、被覆

表 3-2-3 石灰窒素の施肥量による黄葉期 (R7) ダイズの生育に及ぼす影響

	子実重 g/株	子実数 個/株	100粒重 g	莢数 個/株	主茎長 cm	主茎節数 個/株	茎径 mm
対照	41.5	157	26.4	68	35.2	8.5	11.2
A5	51.5	178	28.7	88	45.3	9.3	10.6
A10	69.1	236	29.3	113	48.3	9.3	11.8
A20	47.1	213	28.4	88	42.6	10.7	11.3

対照：深層施肥なし。 A5 :5 kgN/10a 施肥。 A10 :10 kgN/10a 施肥。 A20 :20 kgN/10a 施肥。
(深さ 20 cm, 播種密度 8.9 株 / m²)

表 3-2-4 施肥量による黄葉期 (R7) におけるダイズの窒素固定, 土壌, 肥料由来窒素量の比較

窒素量 (gN/m ²)				
処理区	固定窒素	土壌窒素	肥料窒素	全窒素
対照	14.4	8.3	0.0	22.7
A5	20.1	9.0	0.3	29.4
A10	27.7	10.1	0.7	38.5
A20	19.4	10.7	1.0	31.1

対照：深層施肥なし。 A5 :5 kgN/10a 施肥。 A10 :10 kgN/10a 施肥。 A20 :20 kgN/10a 施肥。
(深さ 20 cm, 播種密度 8.9 株 / m²)

表 3-2-5 被覆尿素 (CU) と石灰窒素 (LN) 深層施肥と対照区の収量構成要素

処理	主茎長 cm	主茎径 cm	株あたり総節数 個	株あたり莢数 個	株あたり子実数 個	株あたり子実重 g	100粒重 g
対照区	47.6b	10.9b	59.5b	66.5b	132.1b	37.1b	28.1b
CU区	52.9a	12.5ab	68.3a	81.5a	192.8a	67.2a	34.9a
LN区	50.0a	13.0a	66.0a	82.3a	204.8a	70.6a	34.5a

値の後の異なるアルファベットは処理区間の 5%水準の有意差を示す。

尿素の深層施肥により、施肥位置近辺の深根の発達を促し、土壌の深層部からの養水分吸収が確保される。さらに、生育後半に肥料窒素が継続的に供給されるため、葉面積が維持され、クロロフィル含量も保持されるため多量の光合成産物が終盤まで供給される。このことにより、慣行区では窒素固定が低下する9月上旬まで窒素固定活性が維持される。これらの結果、分枝数、節数、節当たり莢数が増加し、結果的に粒数が増加することが多収の要因である。

被覆尿素の深層施肥部近傍には被覆尿素から溶出した尿素から生じたアンモニアが集積していたが、根粒が多く着生した地表部近くには、無機態窒素（硝酸+アンモニア）が全く蓄積していなかった⁽¹⁵⁾。転換畑下層土では硝化能が低いいため、被覆尿素から溶出した尿素は分解後、アンモニアの形態でとどまり、流亡や脱窒が少なかったと考えられる。化合態窒素、特に硝酸による根粒肥大と活性の阻害は、直接硝酸と接触する部分で強くあらわれる。従って、根系上部で窒素固定を、根系

表 3-2-6 被覆尿素 (CU) と石灰窒素 (LN) 深層施肥と対照区の窒素固定由来窒素, 肥料由来窒素, 土壌由来窒素の推定値

生育時期	処理	全窒素含有量	窒素固定由来窒素	肥料由来窒素	土壌由来窒素
		gN/m ²	gN/m ² (%)	gN/m ² (%)	gN/m ² (%)
R1	対照区	3.3b	2.8c (85.2)	— (0)	0.5b (14.8)
	CU区	5.9a	4.8a (81.4)	0.9a (15.3)	0.3b (3.4)
	LN区	5.8a	3.6b (62.1)	1.0a (17.2)	1.2a (20.7)
R3	対照区	9.9b	8.4c (84.8)	— (0)	1.5b (15.2)
	CU区	17.6a	14.4a (81.8)	2.3a (13.1)	0.9c (5.1)
	LN区	18.1a	12.3b (68.0)	1.6a (8.8)	4.2a (23.2)
R5	対照区	22.3b	18.1b (81.2)	— (0)	4.2b (18.8)
	CU区	34.3a	27.3a (79.6)	4.0a (11.7)	3.0c (8.7)
	LN区	36.1a	25.5a (70.6)	3.0a (8.3)	7.6a (21.1)
R7	対照区	28.4b	21.4b (75.4)	— (0)	7.0ab (24.6)
	CU区	43.3a	32.1a (74.1)	6.1a (14.1)	5.1b (11.8)
	LN区	46.2a	31.1a (67.3)	7.0a (15.2)	8.1a (17.5)

値の後の異なるアルファベットは処理区間の 5%水準の有意差を示す。

表 3-2-7 R7 期における, 石灰窒素または, 被覆尿素的施肥によるしわ粒率低減効果 (まとめ)

年	圃場	処理	整粒 %	亀甲じわ %	ちりめんじわ %	亀甲+ちりめん %	しわ粒計 %	しわ粒改善率 %	子実窒素濃度 mgN/gDW	子実重 g/m ²	100粒重 g
2003	長岡転換畑	対照	50.6	8.6	30.3	* 1)	38.9	—	61.7	320	25.6
		D10	65.0	5.6	23.3	*	28.8	10.1	61.4	387	28.2
		D15	58.4	6.5	25.6	*	32.1	6.8	62.7	389	27.9
		D20	65.6	3.8	22.4	*	26.2	12.7	58.6	576	29.5
2003	長岡転換畑	対照	54.9	11.5	23.9	*	35.4	—	62.6	369	26.4
		A5	68.6	4.4	20.8	*	25.2	9.8	59.0	455	28.7
		A10	68.9	5.8	18.2	*	24.0	11.0	61.8	615	29.3
		A20	67.8	4.2	21.1	*	25.3	10.1	60.3	419	28.4
2005	長岡転換畑	対照	52.5	11.0	22.9	3.4	37.4	—	60.9	330	28.1
		CU	64.1	4.1	19.5	3.4	26.9	10.4	59.6	598	34.9
		LN	64.1	5.4	17.0	4.8	27.1	10.2	60.5	628	34.5

1) * は、計測せず。

下部では無機窒素吸収という役割分担をさせることにより, 窒素固定がむしろ促進されると予想された。

深層施肥した石灰窒素の土壌中の挙動についてはまだ十分調べられていない。石灰窒素の主成分であるシアナミドは, 尿素を経てアンモニアに変化し, 硝化作用を受けて硝酸となる。石灰窒素に含まれるまたは石灰窒素の分解中に生じるジシアンジアミドには硝酸化成抑制作用がある。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共に培地中の硝酸の存在により可逆的にかつ強く抑制されることが示された^(4, 7)。石灰窒素の深層施用により, 無施用の慣行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, 流亡や脱窒が抑制され窒素が施肥位置近傍に長くとどまり利用率が高まったことと, 硝酸が集積せず根粒肥大と窒素固定活性が抑制されなかったためと考えられる。また, 高

濃度の石灰窒素は植物と直接接触すると、発芽、発根等に対する阻害作用があるが、深層施肥では播種位置と施肥位置が離れているためにこれらの害作用が回避されたと思われる。

石灰窒素 (10 kgN/10a) の深層施肥により、被覆尿素 (10 kgN/10a) と同等の根粒の窒素固定を活用したダイズ増収と品質改善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、圃場条件や土壌型による石灰窒素の施用位置や施肥量の検討が必要である。

本報告で紹介したように、石灰窒素の施肥深度により効果は異なり、10 cm、15 cm と比べて、20 cm の深さで 10 kgN/10a 施肥した区が、子実増収効果が高かった。また、窒素固定の促進効果も 20 cm 区が他区を凌駕した。さらに、施肥量についても、10 kgN/10a が最高値を示し、20 kgN/10a では、むしろ減収となった。ただし、最適施肥深度や施肥量は圃場により異なることが予想されるため、それぞれの圃場で施肥量や施肥深度について最適値を検討する必要がある。一方で、深層施肥機が普及していない現在、シグモイド型の被覆尿素的側条施肥などの方法でも増収としわ粒の改善が可能である⁽²⁰⁾。

品質改善効果については、石灰窒素の施肥で、整粒重量と整粒割合が増加し、一貫した品質改善効果が認められた。これは、子実充実期に窒素栄養条件が改善されたことによる可能性がある、さらに、石灰窒素に含まれるカルシウムがしわ粒防止に役立った可能性もある。

石灰窒素や被覆尿素的深層施肥はダイズの安定多収と品質改善に効果的であるとともに、肥料利用率が高く、硝酸による地下水汚染防止等の環境保全にも役立つことから、ダイズだけでなく比較的生育期間の長い作物一般に適用できると思われる。さらに、トラクターに装着する汎用性のある深層施肥播種ユニットの量産と普及が望まれる。

4) 摘要

新潟県農業総合研究所 (長岡) の水田転換畑で試験を行った。石灰窒素の施肥深度に関しては、深さ 20 cm 施用で 10 cm、15 cm よりも高い収量が得られた。施肥窒素吸収量は、施肥深度による差は見られなかったため、収量の差は主に窒素固定の促進効果の違いによると考えられる。

石灰窒素の施肥量は、10 kgN/10a でもっとも高い収量が得られ、20 kgN/10a 区では、施肥窒素の吸収量は増えたが、収量は 10 kgN/10a より低かった。20 kgN/10a 区では、窒素固定の阻害が収量低減の原因と考えられる。

石灰窒素や被覆尿素的深層施肥により、亀甲じわやちりめんじわ割合の低減効果が見られた。これは、肥料由来窒素の供給と窒素固定の促進による子実肥大期間の窒素栄養の改善によると考えられる。

石灰窒素と、被覆尿素的の時期別吸収量を比較すると、開花期では、ほぼ同量であったが、その後 R5 期までは、石灰窒素の吸収の方が低く推移したが、R7 期には逆転し、石灰窒素の吸収量が被覆尿素的を上回った。石灰窒素の深層施肥は、被覆尿素的と同様なパターンで窒素をダイズに供給することから、生育、収量、子実品質にほぼ同様な効果を与えることが確認された。

5) 引用文献

1. Fujikake, H., H. Yashima, T. Sato, N. Ohtake, K. Sueyoshi, and T. Ohyama (2002) Rapid and reversible nitrate inhibition of nodule growth and N_2 fixation activity in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Soil Sci. Plant Nutr.*, 48, 211-217
2. 大山卓爾 (1990) “第 V 章 窒素化合物分析法”. 植物栄養実験法. (日本土壌肥料学会監修)

博友社, 174-203

3. 大山卓爾・高橋能彦・池主俊昭・中野富夫 (1992) 単純相対ウレイド法による圃場栽培ダイズの窒素固定活性と窒素吸収速度の評価. 農業および園芸, 67, 1157-1164
4. 大山卓爾 (2000) ダイズの特性と収量の考え方. 農業技術大系追録, 第22号, 農文協, 技3-
5. Ohyama, T., K. Tewari, T. Suganuma, H. Fujikake, A.L. Salwa, S. Ruamrungsri, N. Ohtake, K. Sueyoshi, T. Sato, and Y. Takahashi, (2004) Deep placement of N fertilizer promotes soybean growth and seed yield without depressing symbiotic nitrogen fixation. Trends in Soil Science, 3, 19-33
6. Ohyama, T., K. Tewari, A.L. Salwa, S. Ruamrungsri, S. Komiyama, S. Ito, A. Yamazaki, K. Sueyoshi, and N. Ohtake (2004) Direct analysis of ^{15}N abundance of Kheldahl digested solution by emission spectrometry. Bull. Facul. Agric. Niigata Univ., 57 (1), 33-40
7. 大山卓爾・伊藤小百合・大竹憲邦・末吉邦 (2006a) 硝酸イオンによるダイズ根粒の肥大生長と窒素固定活性の阻害機構. 化学と生物, 44, 752-759
8. 大山卓爾・ティワリ カウサル・高橋能彦 (2006b) ダイズ, 2つの問題点をクリアした2つの方法<深層施肥と根粒菌接種>. 石灰窒素だより, 141, 1-9
9. 大山卓爾・ティワリ カウサル・大竹憲邦・高橋能彦 (2006c) ダイズ根粒の窒素固定を活用する緩効性窒素肥料の深層施肥とペーパーポット移植栽培. 農業および園芸, 81, 696-705
10. 大山卓爾・ティワリ カウサル・大竹憲邦・末吉邦・高橋能彦 (2006d) ダイズの生育, 収量, 品質に及ぼす石灰窒素の施肥深度, 施肥量, 他成分の影響. 季刊雑誌「肥料」, 105, 56-67
11. 大山卓爾 (2006e) 根粒の窒素固定と調和した緩効性窒素肥料深層施肥によるダイズの多収栽培. 日作紀, 75, 386-390
12. Takahashi, Y., T. Chinushi, Y. Nagumo, T. Nakano and T. Ohyama (1991) 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
13. Takahashi, Y., T. Chinushi, T. Nakano and T. Ohyama (1992) Evaluation of N_2 fixation and N absorption activity by relative ureide method in field grown soybean plants with deep placement of coated urea. Soil Sci. Plant Nutr., 38, 699-708
14. 高橋能彦・池主俊昭・中野富夫・大山卓爾 (1993a) 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. 農業および園芸, 68, 282-288
15. 高橋能彦・池主俊昭・中野富夫・大山卓爾 (1993b) ダイズ栽培圃場において追肥または深層施肥した被覆尿素の土壤中における動態. 日本土壤肥料学雑誌, 64, 338-340
16. Takahashi, Y., T. Chinushi and T. Ohyama (1993c) Quantitative estimation of N_2 fixation and absorption rate in field grown soybean plants by relative ureide method. Bull. Fac. Agric. Niigata Univ., 45, 91-105
17. Takahashi, Y., T. Chinushi, T. Nakano and T. Ohyama (1994) Yield components of soybean plants with deep placement of N fertilizer, related to high productivity. J. Niigata Agric. Exp. Stn., 40, 7-15
18. Takahashi, Y. and T. Ohyama (1999) Technique for deep placement of coated urea fertilizer in soybean cultivation. JARQ, 33, 235-242

19. 高橋能彦 (2005) ダイズの窒素施肥と安定多収技術, 「ダイズの生産・品質向上と栄養生理」. 11-38, 博友社
20. Takahashi, Y., N. Ohtake, M. Hattori, Y. Nagumo and T. Ohyama (2006) Effect of basal side-dressing of various types of coated urea fertilizer on shoot growth, yield components and seed composition of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52, 264-273
21. Tewari, K., T. Sukanuma, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2002) Effect of deep placement of calcium cyanamide, coated urea, and urea on soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seed yield in relation to different inoculation methods. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 48, 855-863
22. Tewari, K.・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 (2003) 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. *日本土壤肥科学雑誌*, 74, 183-189
23. Tewari, K., T. Sukanuma, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2004a) Effect of deep placement of N fertilizers and different inoculation methods of bradyrhizobia on growth, N_2 fixation activity and N absorption rate of field grown soybean plants. *J. of Agronomy and Crop Science*, 190, 46-58
24. Tewari, K., M. Onda, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2004 b) Effect of placement of urea and coated urea on yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seed. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 50, 1245-1254
25. Tewari K., M. Onda, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2004) 14th International Congress on Nitrogen Fixation (Beijin)
26. Tewari, K., M. Onda, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2005a) ^{15}N analysis of promotive effect of deep placement of slow release N fertilizers on growth and seed yield of soybean. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 51, 501-512
27. Tewari, K., M. Onda, N. Sato, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama, (2005b) Comparison of the effects of application of deep placement of slow release N (lime nitrogen and coated urea), P and K fertilizers on yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seed. *Bull. Facul. Agric. Niigata Univ.*, 58, 45-53
28. Tewari, K., M. Onda, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi, Y. Nagumo, T. Tsuchida and T. Ohyama (2006a) Effect of deep placement of slow release fertilizer (lime nitrogen) applied at different rates on growth, N_2 fixation and yield of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.). *J. of Agronomy and Crop Science*, 192, 417-426
29. Yashima, H., H. Fujikake, A. Yamazaki, S. Ito, T. Sato, T. Kaushal, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2005) Long-term effect of nitrate application from lower part of roots on nodulation and N_2 fixation in upper part of roots of

soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in two-layered pot experiment. Soil Sci. Plant Nutr., 51, 981-990

謝辞：本研究は，農林水産省「先端技術を活用した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」により実施しました．関係各位には，深謝申し上げます．また，¹⁵N 標識石灰窒素をご提供頂いた石灰窒素工業会に深謝申し上げます．

第4章 北陸地域における優良生産地としわ粒多発地帯の比較に基づくしわ粒発生要因の解明

1. 北陸地域全体

○小原 洋¹・亀川健一²・新良力也³・大野智史⁴・関口哲生³

(¹農環研 農業環境インベントリーセンター ²元中央農研 北陸水田利用部

³中央農研 土壌肥料研究領域 ⁴中央農研 水田利用研究領域)

1) はじめに

北陸地域におけるしわ粒多発の原因として、収穫期の高温や降雨などの気象条件による急激な吸湿や乾燥によりしわ粒（ちりめんじわ、亀甲じわ）が発生するといわれていたが、現地予備調査から、しわ粒は生産地域に一律に発生するのではなく、生産組合間でも発生率に差が認められ、必ずしも気象条件のみがしわ粒発生要因とは限らないことが示唆された。従って、しわ粒発生機構の解明、防止技術を確立するためには、しわ粒の少ない優良生産栽培環境と多発する栽培環境を比較し、しわ粒発生要因を明らかにすることが重要であると考えられた。そこで、しわ粒発生率の異なる圃場について、圃場条件（土壌分類、土性、排水性、土壌肥沃度）、圃場管理（栽培履歴（連作年数、前作）、栽培条件、土壌改良、有機物施用）、大豆の生育収量・形質などの項目について調査し、しわ粒発生要因解析を行った。ここでは、3年間に北陸地域で行われた結果の概要と、上越地域で行った詳細な調査（特に2006年度）について示す。

2) 方法

(1) 北陸地域における3年間のしわ粒発生状況および要因

2カ年の北陸各県（延べ地点数、新潟：14、富山：50、福井：12）と3カ年の上越地区の現地調査および他の課題で出てきた結果を基に、北陸地域の大豆栽培圃場における、しわ粒発生状況と要因の関係を整理した。

(2) 上越地域の大豆品質（しわ粒）と圃場・土壌条件の関係

2004年度はしわ粒の多発する上越地域の現地3圃場B、C、D及び少発の北陸研究セ内2圃場A、Pについて、また2005年度は上越市内の栽培試験10圃場について、土壌改良資材（石灰窒素・溶りん・ケイ酸カリ）施用、熔成燐肥と被覆尿素施用、並びにグライ土など湿性の強い土壌タイプの分布率としわ粒の発生率の関係を調べた。

2006年度は、上越地域全域について、上記2年で認められた傾向を確認するため、上越地域の現地圃場（14地区28圃場、転換畑、品種：エンレイ）において、現地調査（坪刈り（3点/圃場）、しわ粒、土壌調査）とアンケート調査（圃場状態、管理、生育）を行い、ダイズのしわ粒など品質と圃場・土壌条件との関係を調べた。

土壌調査は口径約2cmのオーガーを用い、層位（褐色土層、斑鉄層、グライ層等）、斑紋の有無、土性等を調べた。土壌サンプルは、収穫調査時に各坪刈り区で作土（畝部分）を採取した。土壌の

分析は、土壤環境分析法⁽¹⁾によった。可給態窒素はpH 7.0リン酸緩衝液抽出法、可給態リン酸はブレイ第二法（準法）で測定した。

収量・品質調査は、坪刈り（畝方向に1mの調査区を設定）により地上部を採取し、整粒重、粒度分布、品質（ちりめんじわ、亀甲しわ、裂皮、その他変形粒など）を調査した。

3) 結果と考察

(1) 北陸地域における3年間のしわ粒発生状況および要因概要

3カ年の北陸各県の現地調査および他の課題で出てきた結果を基に、北陸地域の大豆栽培圃場における、しわ粒発生状況と要因の関係を整理をした。その主な結下記以下に示す。

- a. 気象要因は地域間、年次間の違いが大きく、北陸地域では、2004年は、7月の水害や台風が多数通過接近したため、強風・フェーン、水害など強いストレスの影響が大きかった。一方、2005、2006年には台風は少なく、一部で湿害と夏期の乾燥が見られ、蓄積する気象ストレスとしてしわ率に影響したと考えられた。
- b. 新潟、石川、福井の3県と北陸研究センターが実施した上越地区の2005年度の現地圃場調査結果では、図4-1-1、4-1-2に示すように、①成熟期が早い圃場で総しわ粒率が多い傾向、②莢数、収量が多いと総しわ率が低くなる傾向等が認められた。そのほか、主茎長、百粒重、pH等との間には明瞭な関係は認められなかった。
- c. 土壤肥沃度関係では、富山の砂質浅耕土では大豆の輪作を繰り返すことによる地力の低下が認められた。
- d. 連作圃場でしわ粒が多い傾向が各地で認められたが、一方で連作してもしわ粒率が増えない圃場もあり、全ての連作がしわ粒増加に繋がるとは断定は出来なかった。
- e. 土壤タイプでは、グライ土、灰色低地土などでしわ粒率が高い圃場が多い傾向が明瞭に認められた年度もあったが、多湿・乾燥、肥沃度等と相互に関連していると考えられ、3カ年通じての安定した傾向とはいえなかった。

(2) 上越地域における調査結果

上越地域の現地圃場及び北陸研究センター内圃場等について、圃場条件・圃場管理、土壤条件、土壤改良資材等の施用がしわ粒発生に及ぼす影響を調査、検討した。

a) 2004年、2005年度の結果

2004年度 しわ粒の多発する上越地域の現地圃場B、C、D及び少発の北陸研究セ内圃場A、Pについて検討した結果、しわ粒率は牛糞堆肥施用区でやや減少傾向が認められ、多発C、D圃場（黒ボク土）では、石灰窒素・溶りん・ケイ酸カリの資材の組み合わせでしわ粒減少効果が認められた。

2005年度 上越市内の栽培試験10圃場でしわ粒率を調査した。エンレイ栽培圃場では、湿性が弱い土壤で発生率が高くなった。また、収量、百粒重との対応関係をみると、両者が最低の試験地Yでしわ粒比率が最高となった。熔成燐肥と被覆尿素の増施による発生率の低下は見られず、また、収穫時のうね高さは発生率と関係がなかった。

b) 2006年度は、上越地域全域について、上記2年で認められた傾向を確認するため、多数の圃場を対象に総合的な調査を行った（小原ら⁽²⁾）。その結果について、次項にやや詳しく示す。

(i) 調査圃場の土壤

調査圃場の土壤タイプと作土の性質（平均値）を表4-1-1に示す。調査地点を土壤群でまとめると、グライ低地土12地点、灰色低地土11地点、褐色低地土2地点、低地水田土2地点、多湿黒ボク土1

表 4-1-1 調査圃場の土壌タイプと作土の性質（平均値）

No	土壌	圃場数	シルト %	粘土 %	炭素 %	pH		交換性塩基					ECEC	可吸態窒素 N mg / 100g	可給態リン酸 P ₂ O ₅ mg / 100g
						H ₂ O	KCl	Ca	Mg	K	Na	Al			
						cmolc / kg									
1	細粒質湿性褐色低地土(造成)	2	30.0	27.8	1.00	5.78	4.43	13.2	8.1	0.60	0.19	0.3	22.5	5.8	18.2
2	細粒質普通灰色低地土(造成)	3	36.2	41.4	2.47	5.16	3.87	7.7	6.5	0.56	0.23	3.0	16.1	9.9	21.2
3	細粒質表層灰色グライ低地土(造成)	1	34.3	44.6	1.56	5.63	3.97	10.0	9.2	0.80	0.21	2.1	15.5	7.0	25.3
4	細粒質斑鉄型グライ低地土(造成)	1	31.5	53.1	1.29	4.93	3.75	6.8	5.0	0.86	0.28	14.2	27.1	5.3	14.6
5	中粒質下層褐色低地水田土	1	27.2	22.0	2.42	5.10	4.23	5.4	2.0	0.66	0.13	0.9	9.2	8.0	139.9
6	細粒質普通灰色低地土	3	30.2	38.5	2.17	5.92	4.68	15.6	7.7	0.66	0.30	0.1	24.4	7.1	22.0
7	細粒質グライ化灰色低地土	5	32.8	40.3	2.93	5.33	4.23	11.6	6.4	0.53	0.27	1.3	20.1	8.9	22.7
8	細粒質表層灰色グライ低地土	7	34.1	44.7	2.94	5.32	4.14	12.8	7.0	0.60	0.23	2.0	21.8	8.4	18.4
9	細粒質斑鉄型グライ低地土	2	33.9	47.4	2.89	5.44	4.21	14.6	7.6	0.70	0.22	1.2	24.4	7.5	15.0
10	厚層多湿黒ボク土	1	21.8	24.1	5.81	5.88	5.20	9.5	2.0	0.53	0.14	0.1	12.3	10.1	78.4
	全平均	28	31.8	39.8	2.59	5.39	4.24	11.5	6.5	0.60	0.24	1.9	20.0	8.1	29.2

表 4-1-2 子実調査結果

子実調査項目	単位	サンプル数	平均	最小	最大	標準偏差
大粒率	%	89	45.2	3.5	80.5	18.6
中粒率	%	89	40.6	17.4	62.9	9.9
小粒率	%	89	13.4	2.0	52.3	11.4
粗蛋白	%	89	43.7	39.2	47.1	1.6
水分	%	89	9.6	8.7	11.0	0.5
油分	%	89	20.7	19.6	22.4	0.6
百粒重	g	89	28.9	21.8	32.9	2.8
稔実莢数	N/m ²	89	569	209	915	137
粗子実重	g/m ²	89	307	107	575	89
整粒重	g/m ²	89	288	102	566	93
完全	%	89	65	7	98	20
重ちり	%	89	3	0	32	6
軽ちり	%	89	15	0	51	12
総ちり	%	89	22	0	88	19
亀甲	%	89	10	0	34	9
裂皮	%	89	9	0	31	8

表 4-1-3 収量項目と品質項目の相関

	大粒率	中粒率	小粒率	粗蛋白	水分	油分	百粒重	稔実莢数	粗子実重	整粒重
完全粒%	.2420 *	-.1305	-.2648 *	-.0781	-.1876	-.2012	.1713	.2641 *	.2843 **	.3388 **
重ちり%	-.3635 ***	.3587 **	.2671 *	.1594	.1631	.0617	-.2220 *	-.3748 ***	-.3670 ***	-.4229 ***
軽ちり%	-.6606 ***	.4720 ***	.6611 ***	-.2726 **	.1236	.3635 ***	-.5944 ***	-.5053 ***	-.6132 ***	-.6288 ***
総ちり%	-.5864 ***	.4656 ***	.5383 ***	-.1262	.1166	.3086 **	-.4940 ***	-.4519 ***	-.5328 ***	-.5736 ***
亀甲%	.0730	-.0716	-.0765	.1421	.1068	.1084	.0777	.0469	.0392	-.0192
裂皮%	.6507 ***	-.6446 ***	-.5021 ***	.3796 ***	.1026	-.2144 *	.6131 ***	.3183 **	.4541 ***	.4397 ***

地点であった（農耕地土壌分類第3次改訂版⁽³⁾）。そのうちに造成客土した圃場（造成相）が7地点あったが、客土材は沖積物が使われた場所と山土が使われた場所があった。一般理化学性では、粘土含量は褐色低地土、低地水田土と黒ボク土では25%前後とやや低いが、そのほかの土壌タイプでは38.5～53.1%と重粘であった。pHは造成相の一部と低地水田土で低いが、そのほかは5.3以上であった。交換性塩基では、低地水田土、黒ボク土、造成相の一部でCa、Mgが低く、また交換性アルミニウムは4番の造成相が高い値を示した。可給態窒素は造成相1,4が5 mg/100g程度とやや低いがそのほかは7～10 mg/100gの範囲にあった。可給態リン酸は、低地水田土と黒ボク土が高かったが、その他は14.5～25.3 mg/100gの範囲にあった。

(ii) 大豆の収量と品質

大豆収量と品質関係の平均値を表4-1-2に示した。2006年度の上越地区調査では、全体的には、粒径は大粒と中粒中心で、坪刈り収量は288 kg/10aと平年並みかやや良く、重度のちりめんじわは3%、軽度のちりめんじわが15%程度と少なめで、亀甲じわが10%、裂皮が9%とやや多い傾向だった。

しわなどの品質項目と粒大、成分等間の相関を表4-1-3に示す。重度のちりめんじわは大粒率、稔実莢数、粗子実重、整粒重と負、中粒率と正の相関を示し、生育が良く粒が大きく多収な圃場では重度のちりめんじわが少ない傾向にあった。軽度のちりめんじわも重度のちりめんじわと同様の相関を示したが、相関係数の絶対値は重度ちりめんじわより大きく、より明瞭な関係を示した。一方、亀甲じわと相関を示す項目はなく、亀甲じわは生育状態とは別の要因により発生していることを示すものと考えられる。また、裂皮はちりめんじわと同じ収量調査項目で逆の相関を示した。このこと2006年度上越地区の大豆栽培（品種：エンレイ、ほぼ同一の栽培法、気象条件）において、図4-1-3に示したように裂皮の発生とちりめんじわの発生が種子形成のバランスの中で対局にある現象、すなわち生育が良く大粒が多いとちりめんじわは少なく裂皮が多くなり、生育が悪く小粒が多いとちりめんじわが増え裂皮が見られないという事を示唆していると考えられる。

(iii) 圃場条件とちりめんじわの関係

ちりめんじわの発生原因の一つに、早期の落葉が指摘されているため、同一生産組合内で早期落葉した圃場がある場合について比較したところ、図4-1-4に示したように早期落葉圃場でちりめんじわの割合が高い傾向だった。また、図4-1-5に示したように連作年数が長いほど、ちりめんじわの高い傾向があった。連作年数がかさんだ圃場でちりめんじわが増加した理由としては、連作に伴う肥沃度低下、雑草害などの増加も影響していると考えられるが、単に連作のみでしわ粒が多発したかどうかは確認できていない。その圃場の元々持っている土壌条件（造成地、低肥沃度等）が、連作回数とともに複合的に大豆品質に影響していると考えられる。

(iv) 土壌条件とちりめんじわ・収量の関係

ちりめんじわと土壌の関係では、図4-1-6に示したようにグライ低地土、灰色低地土でしわ率の高い圃場が多く、乾田タイプの褐色低地土、低地水田土、多湿黒ボク土ではしわ率の高い圃場は少なかった。また、図4-1-7に示すように、造成で客土が入った圃場では、小粒で莢数も少なく収量が低く、ちりめんじわが高い傾向が認められた。一方、作土の性質を炭素含量と交換性アルミニウムの含量でプロットすると、図4-1-8に示したように沖積性の低地土の作土は、炭素含量が増えるに従って交換性アルミニウムが増える傾向にあるが、沖積堆積物を客土したところでは単に炭素含量が少ないだけで通常の沖積土壌の系列上にあるが、赤黄色の山土を客土した場合は大きく沖積土の傾向から外れて高い交換性アルミニウム含量を示した。また、黒ボク土では高炭素含量にも関わらず交換性アルミニウムは低かった。客土圃場の中でも極端な生育不良が認められた圃場は、高い

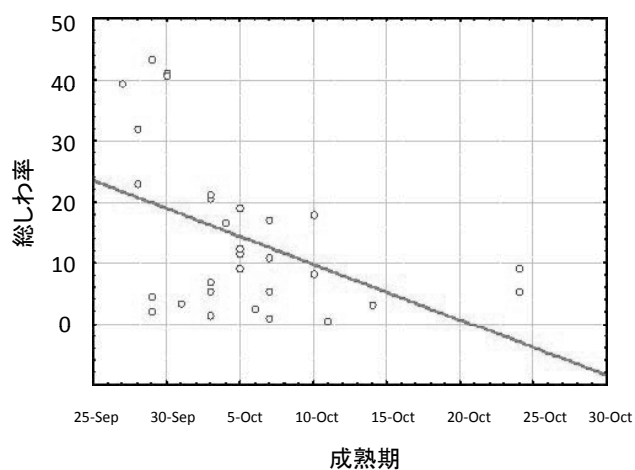


図 4-1-1 成熟期と総しわ率 (2005 年, 北陸現地調査)
 $r=-0.454$, $p=0.010$

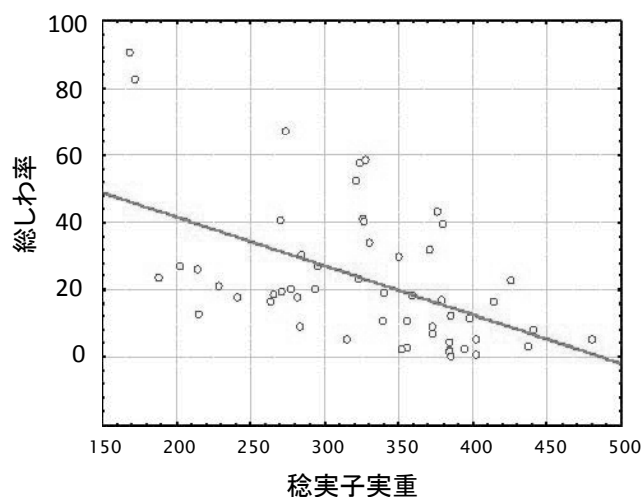
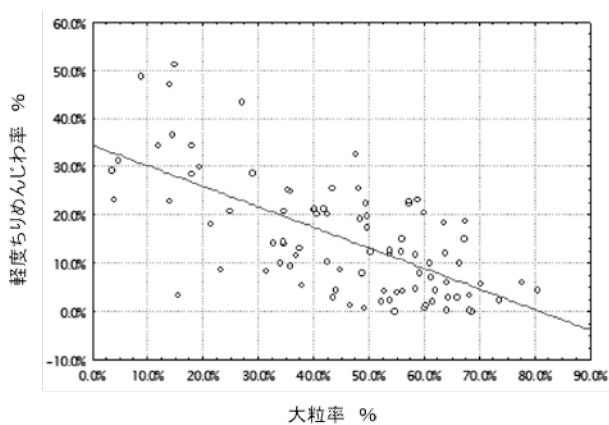
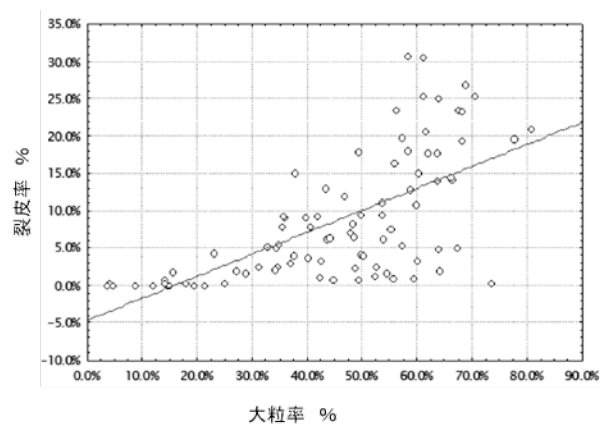


図 4-1-2 子実重と総しわ率 (2005 年, 北陸現地調査)
 $r=-0.513$, $p=0.000$



A



B

表 4-1-3 大豆収量調査項目と品質項目の関係
 (A: 大粒率 vs. 軽度縮緬じわ, $r=-0.660$, $p=0.000$, B: 大粒率 vs. 裂皮率, $r=0.651$, $p=0.000$)

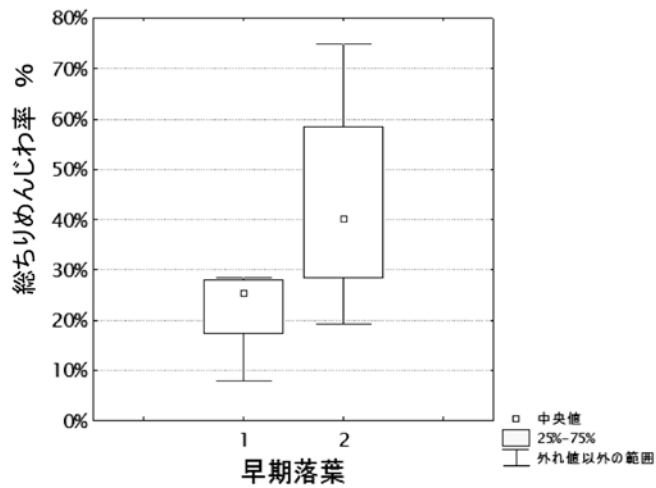


図 4-1-4 早期落葉とちりめんじわ率

注, 1: 早期落葉無し (6 圃場), 2: 早期落葉あり (4 圃場)

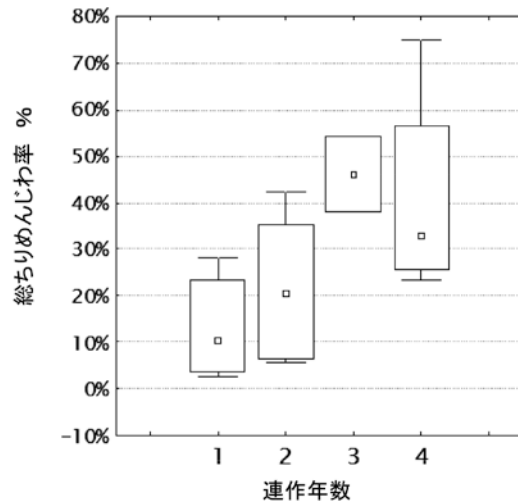


図 4-1-5 連作年数とちりめんじわ率

棒の下の数字は連作年数, ただし 4 は 4 年以上

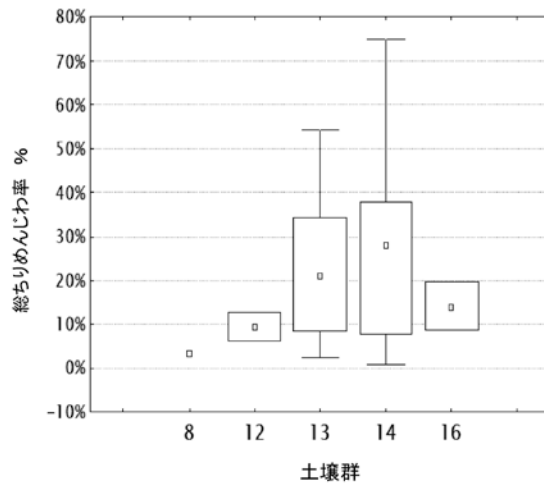


図 4-1-6 土壌タイプとちりめんじわ率

注, 土壌タイプは左から, 8: 多湿黒ボク土, 12: 低地水田土, 13: グライ低地土, 14: 灰色低地土, 16: 褐色低地土

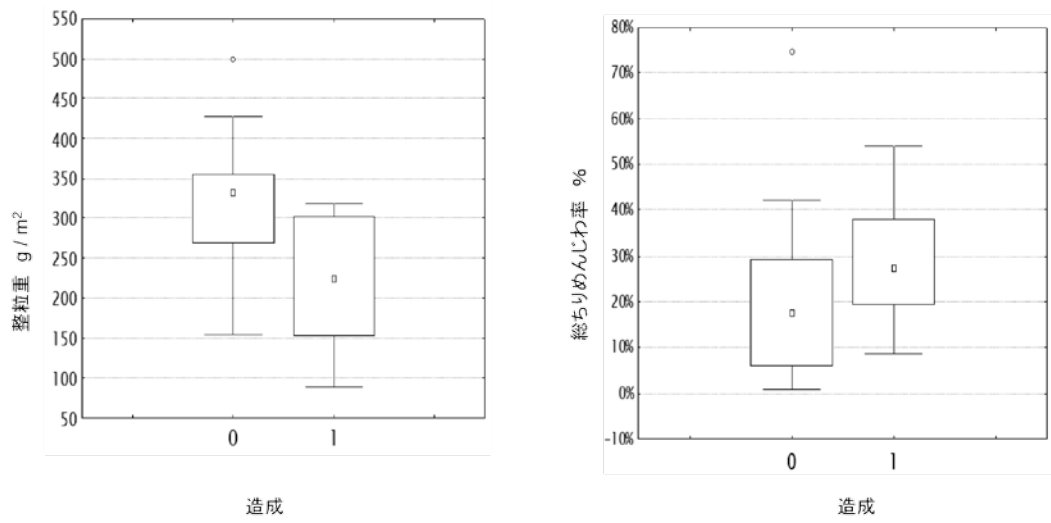


図 4-1-7 盛土造成と整粒重 (A) ちりめんじわ率 (B)
注, 0: 盛土なし, 1: 盛土あり.

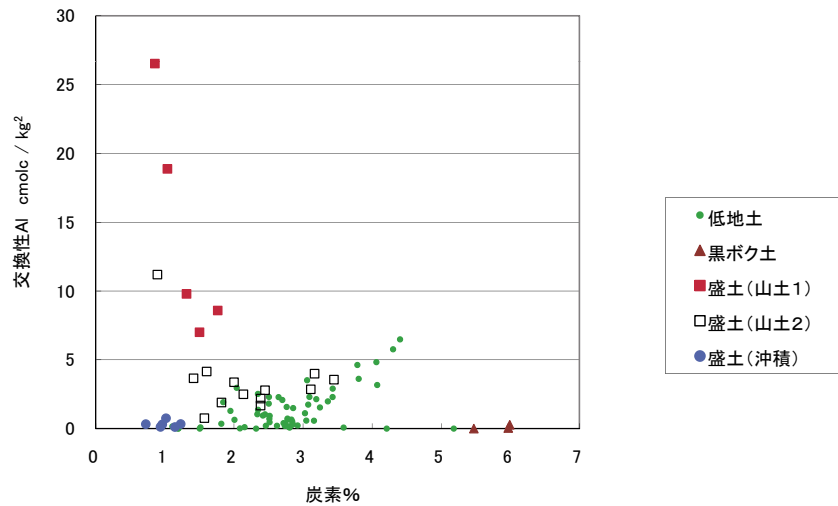


図 4-1-8 盛土とその他土壌の交換性 Al と炭素含量

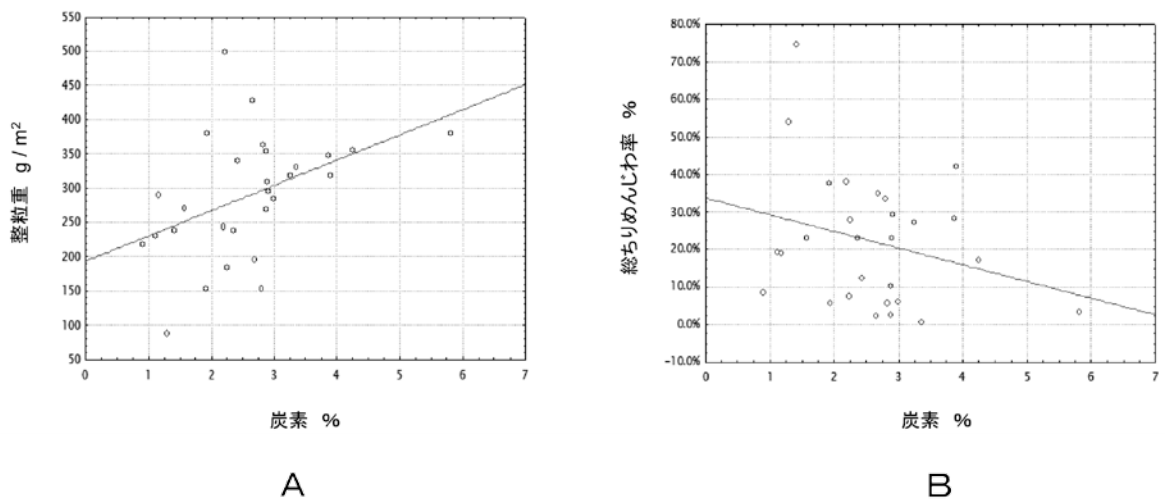


図 4-1-9 全炭素含量と収量 (A)・ちりめんじわ率 (B) との関係
A: 炭素 vs. 整粒重, $r=0.437$, $p=0.02$ B: 炭素 vs ちりめんじわ率 $r=-0.272$, $p=0.162$

交換性アルミニウムを示していたことから、強い酸性が大豆生育とちりめんじわ多発に影響したと考えられる。作土の分析値では大豆品質と明瞭な相関を示す項目は少なかったが、図 4-1-9 に示したように全炭素含量は弱いながら収量で正、ちりめんじわ率で負の相関を示した。

4) 摘要

北陸3県における調査結果

北陸地域における3年間のしわ粒発生状況および要因について検討した。気象要因は地域間、年次間の違いが大きく、強風・フェーン、水害、湿害と夏期の乾燥などが蓄積する気象ストレスとしてしわ率に影響したと考えられた。新潟、石川、福井の3県の調査結果では、①成熟期が早い圃場で総しわ粒率が多い傾向、②莢数、収量が多いと総しわ率が低くなる傾向等が認められた。土壌肥沃度関係では、富山の砂質浅耕土では大豆の輪作を繰り返すことによる地力の低下からくる生育不良によるしわ粒の多発が認められた。連作圃場でしわ粒が多い傾向が各地で認められたが、一方で連作してもしわ粒率が増えない圃場もあり、全ての連作がしわ粒増加に繋がるとは断定は出来なかった。土壌タイプでは、グライ土、灰色低地土などでしわ粒率が高い圃場が多い傾向が明瞭に認められた年度もあったが、多湿・乾燥、肥沃度等と相互に関連していると考えられ、3カ年通じての安定した傾向とはいえなかった。

上越地域における調査結果

a) 2004年度および2005年度は、しわ粒の多発する上越地域の現地圃場及び少発の北陸研究センター内圃場について検討した。その結果、2004年度にはしわ粒率は牛糞堆肥施用区でやや減少傾向が認められ、多発圃場（黒ボク土）では、石灰窒素・溶りん・ケイ酸カリの資材の組み合わせでしわ粒減少効果が認められた。2005年度には、熔成燐肥と被覆尿素の増施による発生率の低下は認められなかった。

b) 2006年度は全体的には（特に乾田タイプでは）ちりめんじわが少なかったが、酸性の台地土壌を客土した圃場では生育不良でちりめんじわが多発した。収量調査項目としわ率の関係では、ちりめんじわとは大粒率・百粒重が負、小粒率が正の相関を示し生育状態の良否がちりめんじわ率に影響していた。一方、亀甲しわと相関を示す項目はなく、生育状態と関係なく亀甲じわは発生した。同一生産組合内で早期落葉した圃場がある場合について比較したところ、早期落葉圃場でちりめんじわの割合が高い傾向が認められた。また、連作年数が長いほど、ちりめんじわの高い傾向も認められた。圃場単位にまとめたちりめんじわと土壌の関係では、湿性の強いグライ低地土、灰色低地土でしわ率の高い圃場が多く、湿性の弱い褐色低地土、低地水田土、黒ボク土ではしわ率の高い圃場は少なかった。また、造成で客土が入った圃場では、小粒で莢数も少なく収量が低くちりめんじわが高い傾向が認められた。さらに、土壌炭素含量は収量で正、しわ率で負の相関が見られ、土壌の酸性、有機物含量がダイズ品質・収量への寄与の可能性が示唆された。

5) 引用文献

1. 土壌環境分析法編集委員会編（1997）土壌環境分析法。博友社 東京
2. 小原 洋・関口哲生・大野智史（2007）2006年新潟県上越地域の大豆品質（しわ粒）と圃場・土壌条件の関係。新潟アグロノミー，第43号，52-59
3. 農耕地土壌分類委員会（1995）農耕地土壌分類 第3次改訂版 農業環境技術研究所資料 第17号

2. 新潟県の事例

○南雲芳文¹・土田 徹²

(¹ 新潟県農総研 作物研 ² 新潟県農総研 佐渡農技)

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⁽¹²⁾。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⁽¹⁰⁾が、その発生機構は十分には解明されていない。県内の代表的な大豆団地において土壌及び生育調査を行い、しわ粒の発生要因を検討した。

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⁽⁸⁾が、窒素栄養がちりめんじわ発生にどのように関わっているのか不明である。被覆尿素の施用により窒素集積量と子実収量を増加させる技術^(14, 15)や耕うん同時畝立播種機⁽⁶⁾により初期生育の阻害を回避し、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⁽¹³⁾。そこで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検討した。なお本項目において窒素集積量とは植物体地上部の空中窒素固定量と根からの窒素吸収量の和を示す。

2) 材料と方法

(1) 土壌条件としわ粒発生の解明

2ヶ年にわたり以下の県内のダイズ（品種「エンレイ」）団地圃場について土壌条件としわ粒の発生について調査した。調査圃場は2004年は朝日村（中粗粒灰色低地土）、新発田市（中粗粒灰色低地土）、燕市（中粗粒グライ土）、三条市（細粒グライ土）、長岡市（細粒灰色低地土）および上越市（細粒グライ土）で、2005年は朝日村（礫質褐色低地土）、新発田市（中粗粒グライ土）、新潟市（中粗粒灰色低地土）、三条市（細粒灰色低地土）、長岡市（細粒灰色低地土）および上越市（細粒グライ土）であった。各圃場とも2～3カ所について、検土杖による断面調査、作土土壌養分、子実成分、生育収量および子実のしわ粒発生率を測定した。

(2) 窒素集積量とちりめんじわ粒発生率の検討

地上部窒素集積量とちりめんじわ粒発生程度の検討を行うため、第7章で述べる現地実証圃場および気象条件が同様と考えられる長岡市内3圃場でダイズ（「エンレイ」）の施肥試験を行った。

a) 七日市圃場（7章の現地実証圃場、細粒グライ土、長岡市）

①慣行区：新潟県慣行の平畝播種、基肥は市販の大豆用肥料 N-P₂O₅-K₂O:3.2-12-16 kg/10a、石灰質肥料現物 60 kg/10a、追肥無し。②畝立播種区：新潟県内で初期の湿害回避のため普及している耕うん同時畝立播種⁽⁶⁾、基肥は慣行区と同様、追肥なし。③畝立+ CUS60 追肥区：播種・基肥は畝立播種区と同様、追肥は2回目培土期（7月上旬）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）（現ジェイカムアグリ（株））社製 LPコート S60、以下 CUS60）を 6 kg-N/10a 施用。

④畝立+ CUS120 基肥区：播種は耕うん同時畝立播種機使用，基肥（追肥分も含む）はシグモイド型溶出被覆尿素（チッソ旭肥料（株）（現ジェイカムアグリ（株））社製LPコートS120，以下CUS120）配合大豆用基肥一発肥料 $N-P_2O_5-K_2O$:7.6-6-6.4 kg/10a（含むCUS120 6 kg-N/10a）を設けた。

b) 雁島圃場（中粗粒灰色低地土），川袋圃場（細粒グライ土），長倉圃場（細粒グライ土）

播種は新潟県慣行の平畝播種で①慣行区：追肥なし，② CUS60 追肥区：CUS60 培土期追肥 6kg-N/10a，③ CUS120 基肥区：上記大豆用基肥一発肥料 $N-P_2O_5-K_2O$:7.6-6-6.4kg/10a（含むCUS120 6kg-N/10a）を設けた。

c) 窒素集積量，収量及びダイズ品質調査

大豆の生育がR1期（開花期），R3期（着莢始）およびR7期（成熟始）において平均的な生育を示す作物体2～5株について地際で切断し，70℃で通風乾燥後の重量を測定し，地上部乾物重とした。試料は乾燥後粉碎し，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.*⁽⁵⁾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，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に従った。

3) 結果と考察

(1) 土壌条件としわ粒発生解明

しわ粒発生率と収穫期の生育・収量の関係について表4-2-1に示した。2年間を通じて明確な傾向は認められなかったが，2004年は度重なる大雨・台風に見舞われており，水害・湿害により作柄は不良であった。これに比べ，気象災害の比較的少なかった2005年度の主茎長および茎太については，負の相関があったことから，生育量との関係が示唆された。

しわ粒率と土壌条件との関係について表4-2-2に示した。これについても明確な傾向は見出せなかったが，pH (H_2O, KCl) とちりめんじわ粒率については2カ年にわたり負の相関関係がみられた。

しわ粒率と子実成分との関係については2ヶ年にわたり，表4-2-3に示すようにちりめんじわ粒率がカリウム含有率と，亀甲じわ粒率がカルシウム含有率と負の相関が高かった。市川ら⁽⁷⁾は，ちりめんじわ粒・亀甲じわ粒における子葉のカルシウムおよびカリウムの含有率について調べ，整粒に比べて含有率が低いことを報告しており，相澤ら⁽²⁾はカルシウム施用によりしわ粒発生率が低減したことを報告している。前述の土壌pHとちりめんじわ粒率に負の相関が示唆されていることから，本試験においても何らかの関係があると思われるが，土壌交換性のカルシウム・カリウム含有率との関係は見出せなかった。さらに，子実成分の圃場毎の違いをみると，表4-2-4に示すように窒素・カルシウム・ホウ素については有意差が認められ，これらの変動係数については窒素が2～3%，カルシウムが7～10%なのに対し，ホウ素は25～36%と大きかった。これらの変動と大豆品質の関係については今後検討が必要である。

(2) 窒素集積量とちりめんじわ粒発生率の検討

畝立播種試験を行った七日市圃場についての窒素集積量，収量及びしわ粒発生率を表4-2-5に示した。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%となり，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。生育時期別の地上部窒素集積量は，R1期（開花期）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（着莢始）になると

表 4-2-1 しわ粒発生率と収穫期の生育・収量との関係 (相関係数)

年度		主茎長	茎太	総莢数	百粒重	子実重
2004 (n=6)	ちりめんじわ	0.442	0.152	0.457	0.290	0.656
	亀甲じわ	0.873*	0.752	0.064	0.799	0.867*
2005 (n=6)	ちりめんじわ	-0.784	-0.955**	-0.558	-0.517	-0.488
	亀甲じわ	-0.932**	-0.495	-0.030	-0.585	0.115

相関係数に付した記号はそれぞれ*:5%, **:1%水準で有意であることを示す。

表 4-2-2 しわ粒発生率と土壌条件との関係 (相関係数)

年度	グライ層 の位置	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	有効態リ ン酸	熱水可溶 性ホウ素	水田状態 地力窒素	交換性 Ca	交換性 Mg	交換性K	
2004 (n=6)	ちりめんじわ	-0.739	-0.851*	-0.845*	-0.493	0.406	0.677	0.137	-0.074	0.367
	亀甲じわ	-0.196	-0.424	-0.438	0.115	-0.312	0.022	0.273	0.140	0.320
2005 (n=6)	ちりめんじわ	0.397	-0.510	-0.681	-0.902*	0.696	0.765	0.902*	0.972**	0.972**
	亀甲じわ	-0.541	-0.114	0.029	-0.044	0.505	0.361	0.551	0.468	0.243

相関係数に付した記号はそれぞれ*:5%, **:1%水準で有意であることを示す。

表 4-2-3 しわ粒発生率と子実成分との関係 (相関係数)

年度		N	Ca	Mg	K	B	P
2004 (n=6)	ちりめんじわ	0.797	-0.416	-0.710	-0.837*	0.407	
	亀甲じわ	0.756	-0.835*	-0.688	-0.295	-0.028	
2005 (n=6)	ちりめんじわ	-0.464	-0.220	0.348	-0.853*	0.903*	-0.310
	亀甲じわ	-0.117	-0.827*	0.169	-0.401	0.198	-0.126

相関係数に付した記号はそれぞれ*:5%, **:1%水準で有意であることを示す。

表 4-2-4 子実成分の変動

年度		N (g / kg)	Ca (g / kg)	Mg (g / kg)	K (g / kg)	B (mg / kg)	P (g / kg)
2004 (6ほ場、 n=18)	平均	67.4	2.02	2.36	21.4	34.5	—
	変動係数 (%)	3.3	10.8	3.5	4.1	25.5	—
	分散分析 (圃場間)	*	**	*	**	**	
2005 (12ほ場、 n=32)	平均	69.6	2.02	2.45	21.2	30.5	6.62
	変動係数 (%)	2.2	7.0	2.2	14.0	36.5	8.7
	分散分析 (圃場間)	*	**	n. s.	n. s.	**	*

注)H17年度は6圃場に加え、場内、現地の施肥試験の分析データも加味した。

**, *はそれぞれ1, 5%水準で有意を表す。

表 4-2-5 畝立播種試験圃場の窒素集積量, 収量及びしわ粒発生率(七日市ほ場)

区名	地上部窒素集積量 (g / m ²)			収量 (g / m ²)	ちりめんじわ粒発生率 (%)	亀甲じわ粒発生率 (%)
	R1 期	R3 期	R7 期			
慣行区	2.1 a	5.3 a	16.7 a	349 a	12.2 a	4.7 a
畦立播種区	3.1 b	7.9ab	20.4 a	386ab	6.0 b	2.5 b
畦立+CUS60 追肥区	3.0 b	9.7 b	28.3 b	423 b	3.8 b	3.0 b
畦立+CUS120 基肥区	3.3 b	9.1 b	32.1 b	415 b	4.8 b	3.2ab
分散分析	*	*	**	*	**	*

注) **, *はそれぞれ 1, 5%水準で有意. 同一英文字間には 5%水準 (L. S. D.) で差なし

表 4-2-6 施肥法と窒素集積量, 収量, 品質(雁島, 川袋, 長倉圃場)

区名	窒素集積量 (g / m ²)	収量 (g / m ²)	ちりめんじわ (%)	亀甲じわ (%)
CUS60 追肥区	29.5	405	1.9 b	2.5
CUS120 基肥区	27.5	386	1.7 b	2.8
分散分析				
圃場	**	**	**	**
処理	n. s.	△	*	n. s.

注) **, *, △はそれぞれ 1, 5, 10%水準で有意. 同一英文字間には 5%水準 (L. S. D.) で差なし

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. 阿江・仁紫⁽¹⁾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いる. また Takahashi *et al.*⁽¹³⁾は畝立栽培において R1 期のダイズ根圏は平畝播種栽培より高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おり, 本試験においても畝立播種により湿害を回避し, 窒素固定能の低下を防ぐことができたかと推察される. 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, 主に湿害回避による窒素固定の促進によると考えられ, 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たと考えられた.

平畝播種栽培圃場において, 実証圃場と同様の基肥一発肥料 (CUS120 配合) 及び CUS60 の培土期追肥を実施した結果を表 4-2-6 に示す. 窒素集積量については有意な差は認められなかったが, CUS の施用により収量の増加, ちりめんじわ粒発生率の減少が確認された.

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 4-2-1 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⁽⁸⁾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

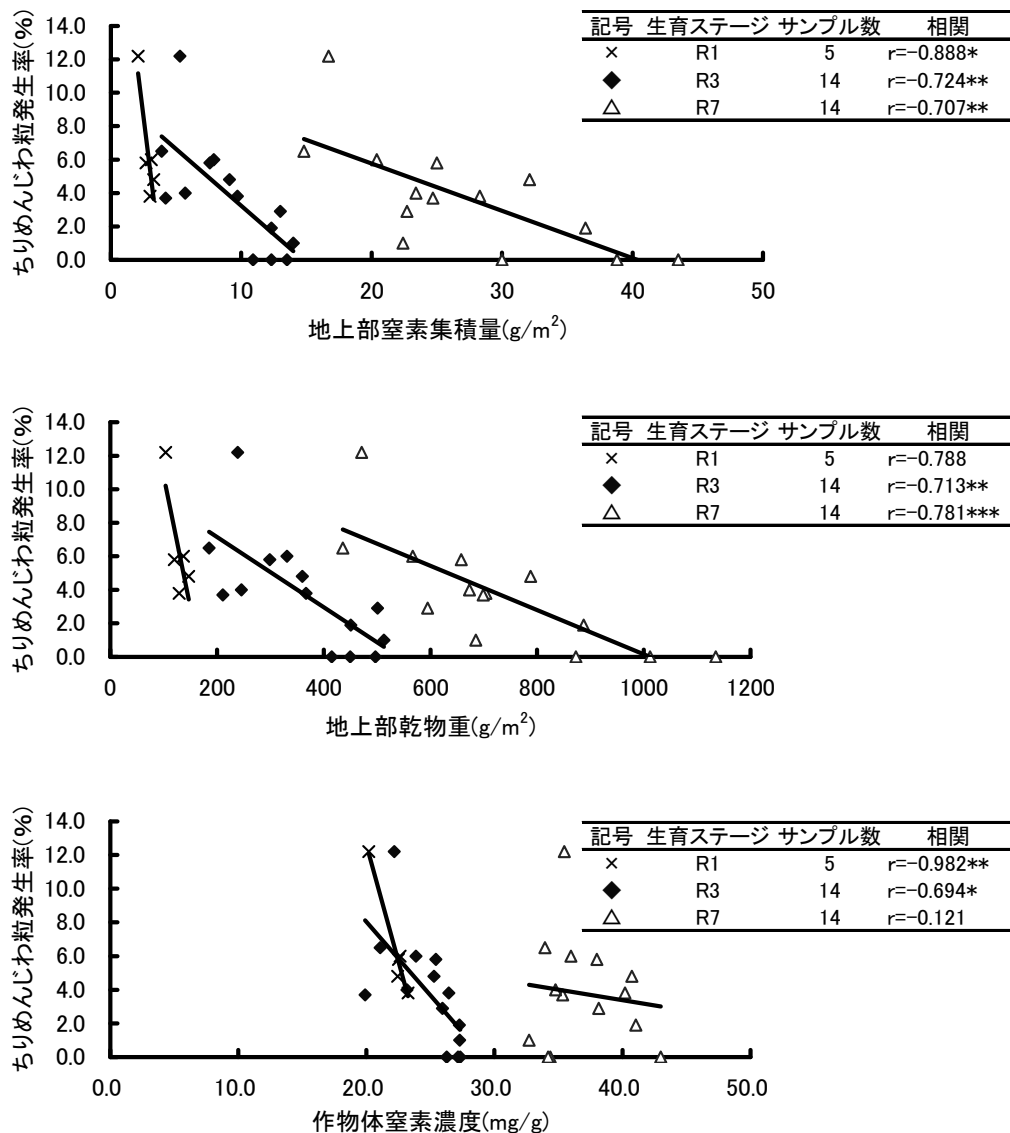


図 4-2-1 窒素集積量，地上部乾物重，作物体窒素濃度とちりめんじわ粒率
 (七日市圃場，川袋圃場，雁島圃場，長倉圃場。ただし R1 は七日市圃場のみ。
 相関係数に付した記号はそれぞれ *.5%, **.1%, ***.0.1% 水準で有意であることを示す。)

われる。新潟県のダイズ子実収量目標は 240 g/m² であり，この収量を得るには約 20 g/m² 以上の窒素集積が必要である⁽¹⁶⁾。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（表 4-2-5）。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きいことが示唆された。

ちりめんじわ粒発生率は，表 4-2-5，表 4-2-6 および図 4-2-1 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⁽³⁾が指摘しているように，ダイズは初期生育の良否，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，窒素固定活性は土壤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壤水分範囲は光合成のそれと比べて狭い⁽¹¹⁾。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、その後の乾物生産に影響したと考えられる。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。さらにCUS施用により窒素集積量の増加が可能で、収量・品質の向上を図る上で重要な技術であると考えられる⁽⁹⁾。

残されたしわ粒発生の要因として、光合成産物の転流⁽¹⁰⁾や先に述べた土壌中の多量要素・微量元素⁽⁴⁾なども考えられるため、引き続き解析が必要である。

4) 摘要

新潟県のダイズ生産においては近年、しわ粒の発生が等級低下の大きな原因となっているが、その発生機構は十分には解明されていない。県内の代表的なダイズ団地において土壌及び生育調査を行いしわ粒の発生要因を検討した。また、しわ粒のなかでも「ちりめんじわ」は子実肥大期の養水分ストレスが関係していると考えられている。そこで出芽時の湿害回避のために考案された耕うん同時畝立播種栽培と被覆尿素施用により窒素集積量を増大させ、これがちりめんじわ粒発生に及ぼす影響を現地圃場にて検討した。この結果、畝立播種及びCUS60追肥またはCUS120基肥施用によりちりめんじわ粒率が慣行区の半減以下に減少した。また、窒素集積量および地上部乾物重とちりめんじわ粒率とは有意な負の相関が認められた。

5) 引用文献

1. 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
2. 相澤直樹・島田信二・鈴木雅光（2004）カルシウム施用と登熟期栽培条件がダイズしわ粒発生に及ぼす影響。日作紀，73（別1），78-79
3. 有原文二（2000）ダイズ安定多収の革新技術，農文協，東京，26-86.
4. 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
5. Fehr, W. R., C. E. Caviness, D. T. Burmood and J. S. Pennington (1971) Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. Crop Sci., 11, 929-931
6. 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
7. 市川岳史・服部 誠・浅野英明・田村良浩（2005）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
8. 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
9. 南雲芳文・佐藤 徹・服部 誠・土田 徹・細川寿・高橋能彦・大山卓爾（2010）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。土肥誌，81，360-366
10. 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、摘莢処理の影響。土肥誌，79，81-85
11. 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
12. 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

13. Takahashi, T., H. Hosokawa and M. Matsuzaki (2006) N_2 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
14. 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
15. 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
16. 高橋能彦 (2005) *ダイズの生産・品質向上と栄養生理*, 博友社, 東京, 11-38.

3. 富山県の事例

○岡山清司

(元富山県農技センター 農業試験場)

1) はじめに

2003年度の富山県産ダイズ「エンレイ」の約80%は3等や特定加工用ダイズで、この品質低下の主な原因は立毛中に発生する「ちりめんじわ」にあった。この傾向は長年続いており、防止対策が緊急の課題となっているが、その発生機構は明らかになっていない。そこで、富山県(砂質浅耕土地帯)における現地圃場及び富山県農業技術センター農業試験場(現富山県農林水産総合技術センター農業研究所)において、栽培管理やダイズ子実成分含有率等としわ粒発生との関係を検討し、発生の要因解析を行った。

2) 材料と方法

(1) 現地調査

2004年、2005年に富山県ダイズ生育観測圃(11カ所)、高生産性ダイズ生産運動事業実証圃(8カ所)及び農業試験場(礫質灰色低地土SL)で調査した。ダイズ生育観測圃及び高生産性ダイズ生産運動事業実証圃の調査場所及び土性は表4-3-1のとおりである。生育観測圃は、県下のダイズの生育状況を把握する圃場であり、高生産性ダイズ生産運動事業実証圃は、ダイズの高位安定生産を目的として、緑肥や堆肥等の試験を実施し、慣行栽培との生育を比較検討している圃場である。

調査は、ダイズの生育、収量、しわ粒の発生等について行い、また、子実を酸分解し、常法により、窒素、リン酸、カリウム、カルシウム、マグネシウム、マンガン、ホウ素、モリブデン含有率を求め、しわ粒発生との関係を検討した。

しわ粒は、ちりめんじわのみ調査し、独)作物研究所作成のしわ粒分級基準を参考にし、被害状態に応じて甚、中(基準の多と中)、小とし、表示方法は、各被害の割合(%)で $甚 \times 3 + 中 \times 2 + 少 \times 1$ を計算し、被害度とした。

(2) 作付け履歴の異なる圃場でのしわ粒発生の要因調査

富山県農業技術センター農業試験場内の管理方法や作付け履歴の異なる圃場の土壌を供試し、表4-3-2のように試験区を設定した。試験区は、地力の影響を把握するために堆肥の連用の有無との比較、長期水稲連作後ダイズ作(ダイズ初作2圃場及び10年前ダイズ作後水稲連作1圃場)と輪作との比較、ダイズの2年連作と水稲-ダイズの輪作との比較検討を目的に設定した。また、これにホウ素の施用の効果、さらに、長年、カリウム無施用で栽培管理した圃場の土壌を組み合わせで検討した。ホウ素は細胞構成成分であるペクチン、リグニンの形成に関与するとともに、子実の結実にも重要なはたらきがあることが広く知られており、子実のホウ素含有率が低い場合に子実表面にしわが生じる事例⁽¹⁾が報告されている。また、カリウムは細胞膜を厚くし、細胞の膨圧を保つはたらきがあることが知られており、これら元素の不足がちりめんじわ粒発生に関与する可能性があると考えられることから試験区として設定した。

試験は、気象や水管理を一定にするためにポット試験(1/2000aのワグネルポット)で実施した。

供試土壌は農業試験場内の同一土壌タイプとした。また、ダイズの生育、収量を調査するとともに、開花期において茎を切断し、溢泌液を脱脂綿で採集し、そのウレイド態窒素を測定した。また、同時に根粒量の測定を行った。また、常法により子実を酸分解し、窒素は蒸留法、リン酸、カリウム、カルシウム、マグネシウムは原子吸光法、ホウ素はICP分析によって含有量を測定した。ウレイド態窒素の測定はYOUNG-CONWAY法に従って行った。地力窒素の無機化量は、生土を30℃、10週間湛水インキュベーションによって無機化する窒素量を測定した。

施肥量は、N-2、P₂O₅-7.2、K₂O-8 kg/10a、石灰資材200 kg/10aを施用した。供試ダイズ品種はエンレイで、5月26日播種（1本/ポット）、開花期は7月7日であった。また、ホウ素施用区についてはダイズ-水稲-ダイズ-ダイズのダイズ連作土壌にホウ素含有資材（く溶性ホウ素15%）を4kg/10a施用した。

ダイズの落葉日の調査は、観察で葉が約70%以上落葉した時点を落葉日とした。

3) 結果と考察

(1) 現地調査

現地調査においては、沖積や黒ボク土等幅広い土壌タイプでの調査であったが、2005年度の現地調査で、図4-3-1に示すようにダイズ百粒重が増加するに従ってちりめんじわ粒の被害が減少する傾向がみられた。また、明確な関係ではなかったものの、図4-3-2に示すようにダイズの黄葉から落葉までの期間が長いとちりめんじわ粒が少ない傾向がみられ、このことから、ダイズ子実の生育後期の充実がちりめんじわ粒の発生に関係することが示唆された。子実の窒素、リン酸、カリウム、カルシウム、マグネシウム、マンガン、モリブデン含有率とちりめんじわ粒との関係は、認められなかった。一方、図4-3-3に示すように、ホウ素含有率が高くなるとしわ粒被害度がやや低下する傾向が見られたが、相関関係としては明確なものではなく（ $R^2 = 0.14$ ）、子実のホウ素含有率が2mg/100g以下でちりめんじわ粒が増加する傾向がみられる程度であった。

(2) 作付け歴の異なる圃場でのしわ粒発生の原因調査

現地試験において、黄葉からの落葉までの期間が長いほど、ちりめんじわの発生が少ない傾向があったことから、ちりめんじわ粒発生の原因の一つにダイズの生育後期における栄養凋落が考えられた。そこで、ダイズの生育に影響を及ぼすと考えられる地力の差、堆肥の施用の有無、長期水稲連作後ダイズと輪作等についてポット試験で調査した。

開花期では、図4-3-4に示すように、開花期の茎葉乾物重は作付け歴に関係なく、地力窒素の無機化量が多い所で多くなる傾向がみられた。また、ウレイド態窒素生成量と地力窒素無機化量とは、図4-3-5に示すように地力窒素無機化量が多いほどウレイド態窒素生成量が多くなる傾向がみられた。また、図4-3-6に示すように、開花期のウレイド態窒素生成量は根粒重が多いと多い関係が認められた。また、図4-3-7、図4-3-8に示すように、開花期のウレイド態窒素生成量が多いほど茎葉の乾物重は増加し、子実重も多くなる傾向がみとめられた。従ってダイズの開花期では地力窒素の無機化量が多いところで根粒が多く付き、ウレイド態窒素生成量は増加し、茎葉の乾物重が増加し、成熟期には子実重の増加に結びついていると推察された。

しかしながら、開花期のウレイド態窒素生成量とちりめんじわ粒被害度との関係は、図4-3-9に示すように明確には認められなかった。

この要因として図4-3-10に示すとおり、開花期のウレイド態窒素生成量が多いことは、百粒重の増加に必ずしも結びつかなかったことが考えられた。すなわち、開花期のウレイド態窒素生成量が

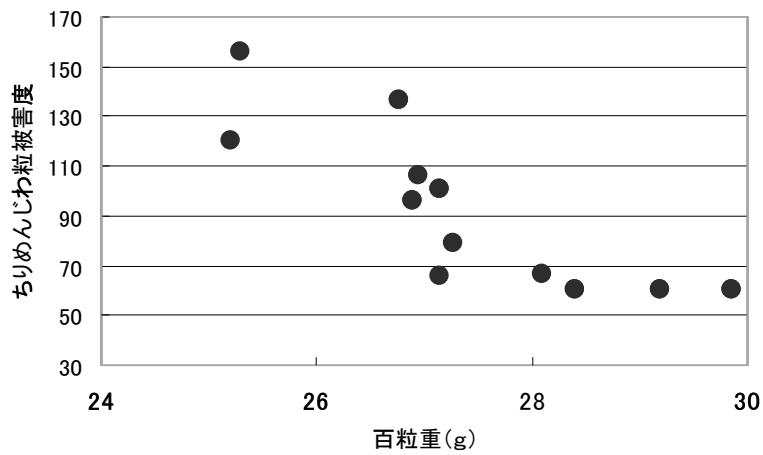


図 4-3-1 2005 年度 現地調査における百粒重とちりめんじわ粒被害度との関係
 $R^2=0.69$

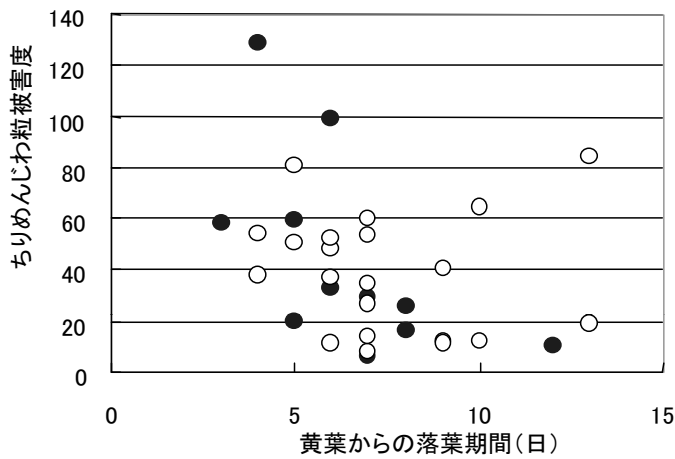


図 4-3-2 黄葉からの落葉期間とちりめんじわ粒被害度との関係 (ダイズ生育観測圃場等)
 ● 2005 年度 ($R^2=0.34$), ○ 2004 年度

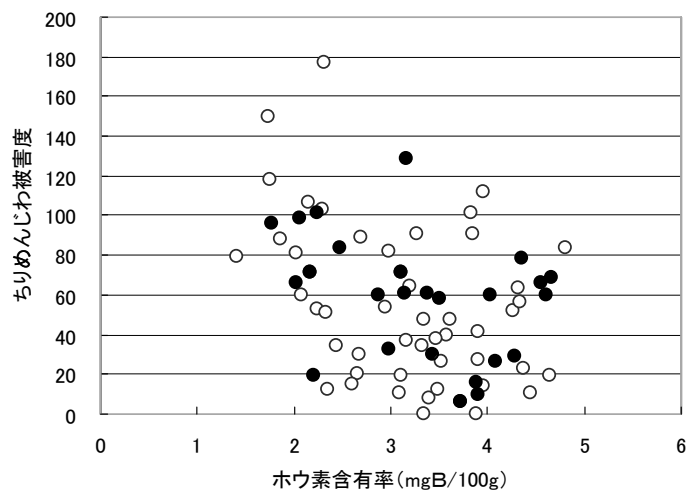


図 4-3-3 現地調査における子実ホウ素含有率とちりめんじわ粒被害度との関係 (ダイズ生観測圃場等)
 ● 2005 年度, ○ 2004 年度, $R^2 = 0.14$

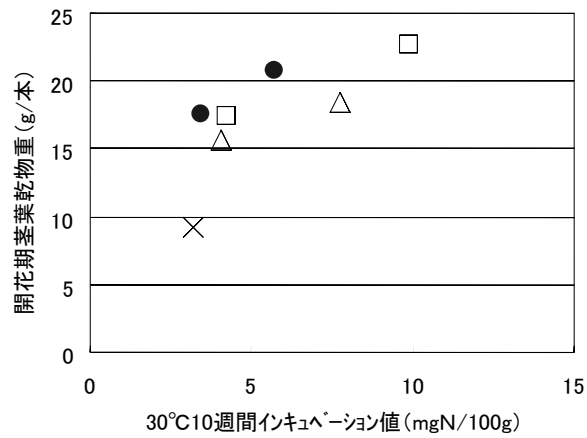


図 4-3-4 地力窒素無機化量と開花期のダイズ茎葉乾物重との関係

●長期水稲連作後 □輪作 △連作 ×無カリウム, $R^2=0.54$

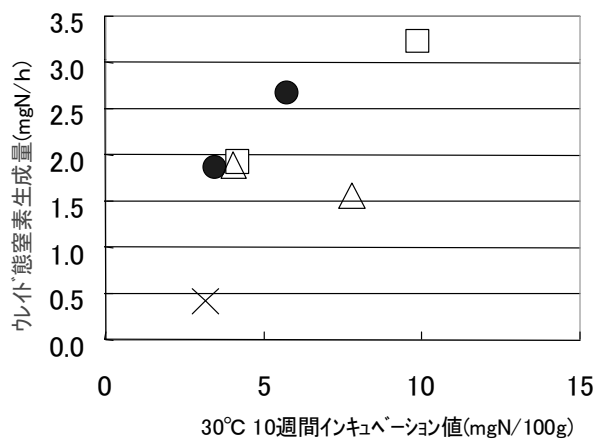


図 4-3-5 地力窒素の無機化量と開花期ウレイド態窒素生成量との関係

●長期水稲連作後 □輪作 △連作 ×無カリウム, $R^2=0.43$

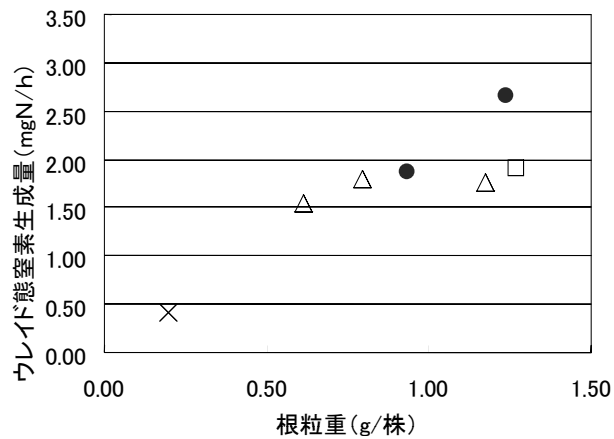


図 4-3-6 開花期における根粒重とウレイド態窒素生成量との関係

●長期水稲連作後 □輪作 △連作 ×無カリウム, $R^2=0.54$

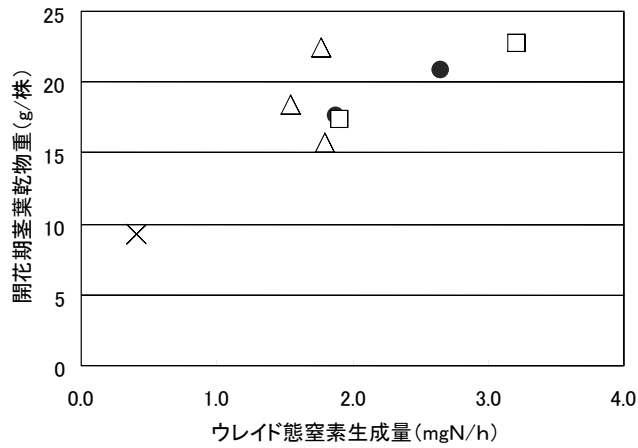


図 4-3-7 ウレイド態窒素生成量と開花期乾物重との関係

●長期水稲連作後 □輪作 △連作 ×無カリウム, $R^2=0.70$

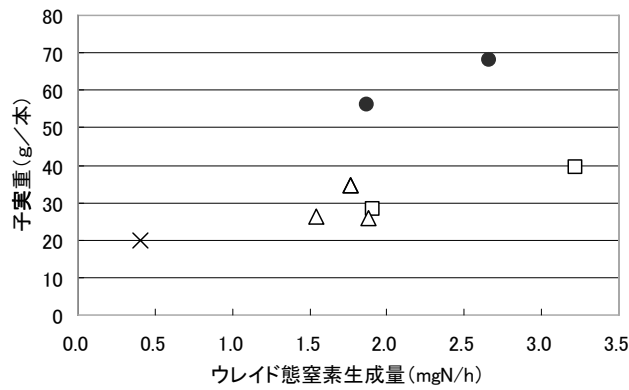


図 4-3-8 開花期のウレイド態窒素生成量と子実重との関係

●長期水稲連作後 □輪作 △連作 ×無カリウム, $R^2=0.34$

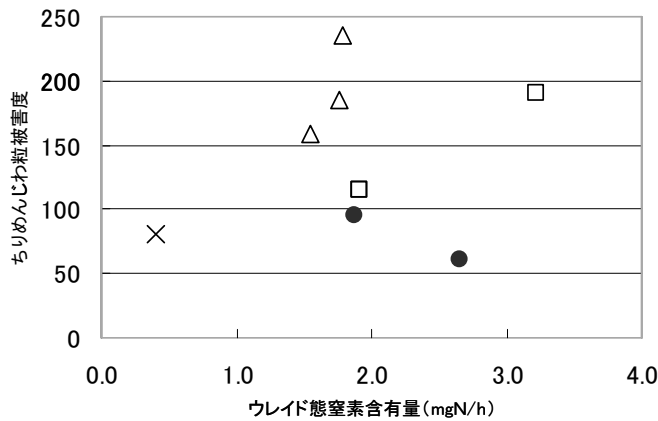


図 4-3-9 開花期のウレイド態窒素生成量とちりめんじわ粒被害度との関係

●長期水稲連作後 □輪作 △連作 ×無カリウム, $R^2=0.04$

多いことは、ダイズの開花期の乾物重を増加させ、着粒数の増加に結びつき、子実重の増加に貢献するかもしれないが、着粒数の増加は着粒した子実の全てを充実させることに結びつかなかった可能性があるかと推察された。

また、地力窒素の無機化量とちりめんじわ粒被害度との関係についても、図4-3-11にみられるとおり、無機化量が少なくても長期水稻連作後ダイズのようにちりめんじわの発生が少なくなっており、湛水培養10週間で発現する地力窒素の無機化量の大小は、必ずしもちりめんじわ発生の指標に結びつかないのではないかと考えられた。

むしろ図4-3-12に示すようにダイズの落葉時日とちりめんじわ粒の発生が関係するとみられた。落葉日は、ダイズの作付け歴に関係するとみられ、長期水稻連作後ダイズや無カリウム（初作）で落葉が遅くなり、このことがちりめんじわ粒の減少に結びついたと考えられた。また、図4-3-13に示すように百粒重が増加するにしたがって、ちりめんじわ粒の発生が抑制された。

これらの傾向は、現地試験の結果と一致しており、ダイズの生育後期に落葉が遅くなり、生育が維持されたことは、百粒重の増加に結びついているとみられ、百粒重が重くなるにしたがって、ちりめんじわ粒の発生が抑制されると考えられた。

そこで落葉時期が早くしわ粒被害度が高かった連作ダイズ（水稻連作-ダイズ-ダイズ）と落葉時期が遅くしわ粒被害度が低かった長期水稻連作後ダイズ（初作）において、ダイズの窒素吸収に大きな役割を果たす根粒による窒素固定の推移について、生育期間中の溢泌液のウレイド態窒素の生成量を調査した。図4-3-14に示すように、ウレイド態窒素の生成量は、長期水稻連作後ダイズが連作ダイズより、初期から多くなっており、特に生育の後期、連作ダイズの落葉期においても長期水稻連作ダイズはウレイド態窒素の生成量が高く維持されていることが認められ、このことが落葉の遅れと、百粒重の増加に貢献し、ちりめんじわ粒の抑制に結びついたと考えられた。

この試験では、長期水稻連作後ダイズの根粒は白くかつ大きいのが、連作ダイズの根粒は、生育初期には根粒は小さく、褐変し、生育後期の子実を充実させなければならない時期に、腐敗している状態が観察され、ウレイド態窒素生成量の測定結果を裏付けるものと考えられた。このことについてダイズを連作することによってダイズの根粒に雑菌がつくという報告があり⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾、この可能性が推察された。しかし、細菌の特定については今後の課題として残された。

そのため、開花期頃の高い根粒活性をダイズの生育後半まで維持する対策は、しわ粒軽減に重要でないかと考えられた。この現象を栽培的に解消するには、水稻-水稻-ダイズの体系のなかで、ダイズの連作の解消、すなわち、ダイズの作付け間隔を長く隔てるのが、重要な手段の一つになりうると考えられた。

今回の試験では併せて、しわの発生に関与する可能性があるホウ素とカリウムの影響について検討を行ったが、ダイズ連作土壌におけるホウ素施用による明確な効果は認められなかった。

また、無カリウム（初作）の土壌においては、開花期まで根粒がほとんど着生しなかったことから（表4-3-3）、土壌中の置換性カリウムと開花期のウレイド態窒素生成量との関係を検討した。

図4-3-15に示すように、土壌中の置換性カリウムと開花期のウレイド態窒素生成量は、関連があるとみられ、置換性カリウム含有量が約15mg/100g以上存在すれば、開花期のウレイド態窒素生成量に支障を及ぼさないとみられたが、ポット試験の結果であり、今後の検討が必要と考えられた。

以上結果から、ちりめんじわの発生の大きな原因の一つとしては、ダイズ連作及び輪作回数が増加によって、生育後期の根粒活性が低下し、落葉が早くなり、百粒重の減少に結びつき、子実の肥大が抑制されるために発生するとみられた。

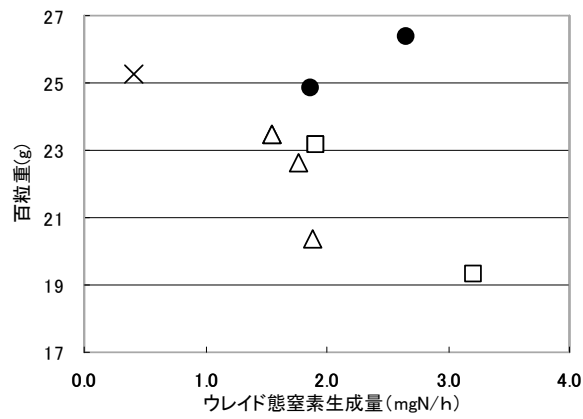


図 4-3-10 開花期のウレイド態窒素生成量と百粒重との関係

●長期水稲連作後 □輪作 △連作 ×無カリウム, $R^2=0.18$

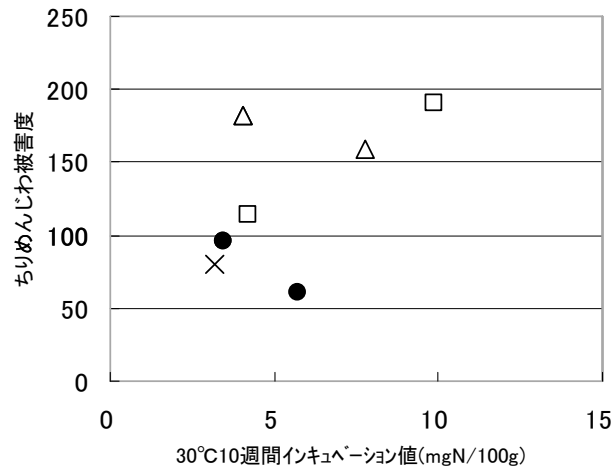


図 4-3-11 地力窒素無機化量とちりめんじわ被害度との関係

●長期水稲連作後、□輪作、△連作、×無カリウム, $R^2=0.33$

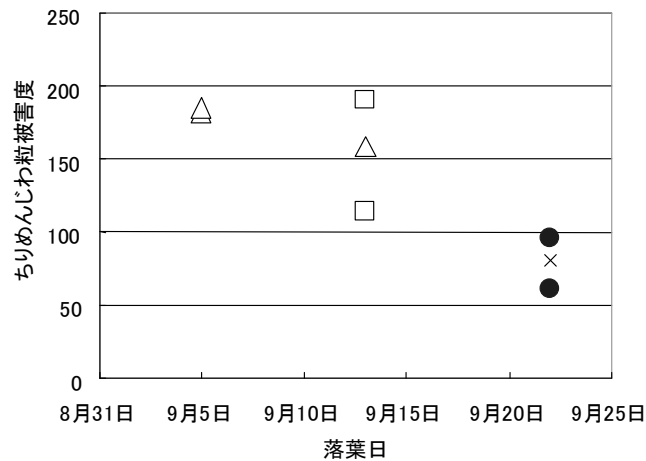


図 4-3-12 落葉日とちりめんじわ粒被害度との関係

●長期水稲連作後 □輪作 △連作 ×無カリウム, $R^2=0.77$

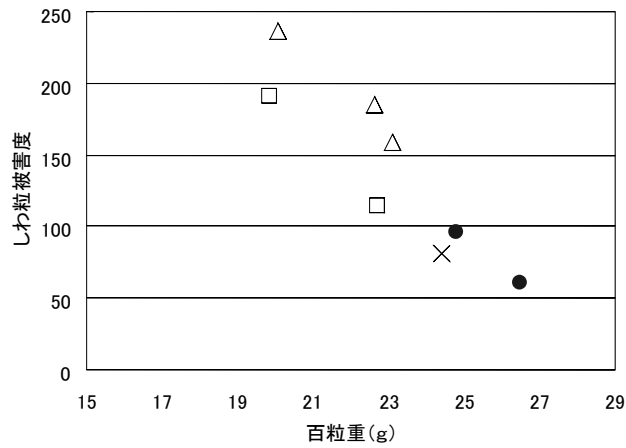


図 4-3-13 百粒重としわ粒被害度との関係

●長期水稲連作後 □輪作 △連作 ×無カリウム, $R^2=0.82$

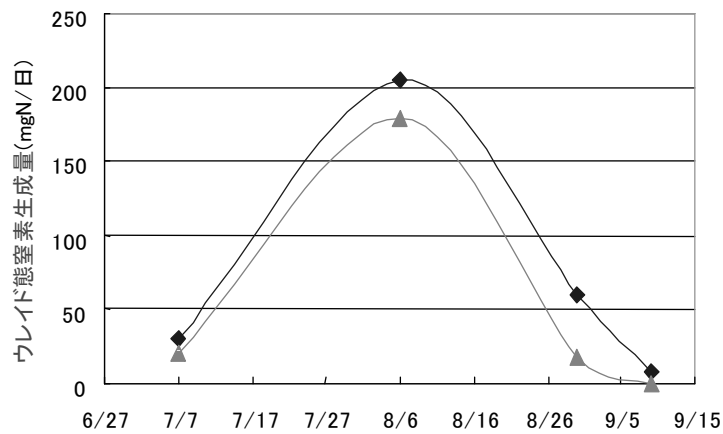


図 4-3-14 滲出液のウレイド態窒素生成量の推移

◆ 長期水稲連作後ダイズ ▲連作ダイズ(水稲連作-ダイズ-ダイズ)

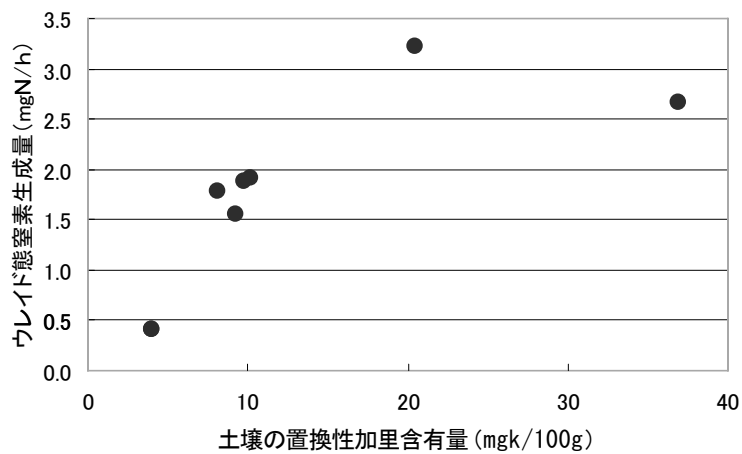


図 4-3-15 土壤の置換性カリウム含量と開花期のウレイド態窒素生成量との関係

表 4-3-1 たいす生育観測圃及び高生産性たいす生産運動事業実証圃の土壌型・土性

たいす生育観測圃		高生産性たいす生産運動事業実証圃		
試験地	土壌型・土性	試験地	土壌型・土性	改善処理
朝日	洪積・黒ボク・CL	魚津	洪積・黒ボク・CL	エンバク
魚津	洪積・黒ボク・CL	滑川	沖積・L	エンバク
立山	洪積・黒ボク・L	新湊	沖積・CL	エンバク
八尾	洪積・黒ボク・CL	八尾	洪積・黒ボク・CL	レンゲ
城端	洪積・乾田黒ボク・CL	氷見	沖積・半湿・CL	ヘアリーベッチ
下村	沖積・CL	魚津	洪積・黒ボク・CL	堆肥
高岡	沖積・L	庄川	沖積・CL	堆肥
氷見	沖積・半湿・L	城端	洪積・乾田黒ボク・CL	堆肥
福岡	沖積・乾田・L			
砺波	沖積・L			
富山	沖積・CL			

表 4-3-2 農業試験場ポット試験の区の設定

試験区	特徴	地力窒素無機化量 ¹⁾
長期水稲連作後たいす(堆肥連用)	長期水稲作・堆肥	5.7
長期水稲連作後たいす(初作無窒素水稲連作)	初作	3.5
長期水稲連作後たいす(初作無カリウム水稲連作)	初作・無カリウム	3.2
輪作(水稲-水稲-たいす)	輪作	4.2
輪作(水稲-水稲-大豆)(堆肥 4t/10a 施用)	輪作・堆肥	9.9
水稲連作-たいす-たいす	たいす-たいす	7.7
たいす-水稲-たいす-たいす	たいす-水稲-たいす-たいす	4.0
上区同十ホウ素4kg/10a	ホウ素施用	4.0

1)30℃湛水10週インキュベーション値(mgN/100g)

表 4-3-3 たいすの作付け歴と生育 (1/2000a ポット試験)

試験区	開花期(7/21)				成熟期	
	乾物重		根粒		莢 (個/本)	子実重 (g/本)
	莖葉 (g/本)	根重 (g/本)	(g/本)	(個/本)		
長期水稲連作後たいす(堆肥連用)	20.8	3.5	1.24	326	142	68.0
長期水稲連作後たいす(初作無窒素水稲連作)	17.5	2.9	0.94	141	134	56.3
長期水稲連作後たいす(初作無カリウム水稲連作)	9.2	1.8	0.20	30	52	20.0
輪作(水稲-水稲-たいす)	17.4	3.8	1.27	430	87	28.4
輪作(水稲-水稲-大豆)(堆肥 4t/10a 施用)	22.7	3.3	1.01	226	116	39.6
水稲連作-たいす-たいす	18.5	2.9	0.62	228	74	26.3
たいす-水稲-たいす-たいす	15.7	2.9	0.80	230	79	25.9
上区同十ホウ素4kg/10a	16.2	2.8	0.76	158	86	34.5

4) 摘要

(1) ダイズちりめんじわ粒の発生は、黄葉から落葉までの期間が短い場合や、落葉時期の早いダイズで多かった。

(2) ダイズちりめんじわ粒の発生は、百粒重の小さいダイズで多くなっていた。

(3) ダイズ連作及び輪作回数が増加によって、根粒活性が早い段階で低下すると落葉も早くなり、子実の肥大が抑制されるためにちりめんじわ粒が発生するとみられた。そのため、生育後期の活性を高め、栄養凋落を防ぐことが重要と考えられた。

5) 引用文献

1. 高尾計介・江口亨 (1987) ホウ素が大豆子実の性質に及ぼす影響. 土肥要旨集, 33, 79
2. 高橋能彦・池主俊昭・南雲芳文・中野富夫・大山卓爾 (1991) ダイズ根粒着生に関する同質遺伝子系統の導管液中のウレイド態窒素の含有率. 土肥誌, 62, 431-433
3. 前波健二郎ほか (1986) 転換畑における大豆の連作障害回避対策について. 栃木農試研報, 32, 65-74
4. 今野周ほか (1985) 転換畑大豆の連作障害と冬期湛水効果. 山形農試研報, 19, 73-82
5. 松本静治・吉川正巳 (2010) 転換畑における黒ダイズの連作にともなう収量および土壌の化学性の変化. 日作紀, 79 (3), 268-274

4. 福井県の事例

○ 笈田豊彦・井上健一
(福井県農業試験場)

1) はじめに

福井県のダイズ検査等級低下の大きな要因はしわ粒によるものであり、毎年のようにどこかの検査ロットで問題になる。しかし、その発生要因が推察できるような明確な傾向は見出されていない。また、2001年から2004年までの現地調査(表4-4-1)でも、平均値では特異的に多発していた地帯が見受けられたものの変動が大きく、場所によって発生量が異なることの説明がつかなかった。そこで、過去にしわ粒が多発したところと、あまり問題にならなかったところのダイズについて栽培管理と生育とを追跡しながら、最終的なしわ粒発生率と対比することで、しわ粒の発生に関わる生育の特徴、ひいては発生要因を明らかにしようとした。

表 4-4-1 福井県内における完全粒としわ粒発生率の地域間差 (2001～2004)

地域	場所数 (延べ数)	完全粒(%)			しわ粒(%)		
		発生率	標準偏差	変動係数	発生率	標準偏差	変動係数
坂井北部	11	76.0	11.0	14.5	6.2	4.8	77.8
坂井南部	6	69.2	8.0	11.6	9.3	6.3	67.5
福井市	5	77.9	5.1	6.6	6.0	3.7	62.8
丹生郡	4	65.1	13.7	21.1	19.1	8.1	42.5
南越	5	76.2	9.6	12.6	6.2	3.6	58.2

なお、しわ粒は“ちりめんじわ”と“亀甲じわ”に区分されるが、福井県ではちりめんじわの発生が多い。よって特に断らない限り、ここでいうしわ粒はすべてちりめんじわである。

2) 材料と方法

福井県内のダイズ栽培地域である福井、坂井、丹南地区の現地圃場および試験場内の慣行栽培に最も近い管理法による1試験区を加えて、2004年は7ヶ所、2005年、2006年は各5ヶ所の地点を選び生育と収量・品質の調査を行った。地点の選定は、各農林総合事務所の意見を参考に、過去のしわ粒発生の経緯を踏まえながら、それぞれの地域をおよそ代表し、初歩的な管理ミスの心配がない生産者の圃場とした。

いずれの地点でも品種は「エンレイ」とした。オオムギ収穫後の転換畑で、播種期は6月第2半旬から第4半旬、条間は75～80cmの範囲であった。平均株間は9cm前後のところが多かった。その他の管理は生産者の慣行に委ねた。

生育調査は、培土期、開花期、(莢伸張期)、子実肥大期(1ないし2回)、成熟期に、各地点の生育中庸な5～7個体をサンプリングし、莖、葉柄、葉身、莢の乾物重、完全展開上位第1葉の葉色(SPAD)、根粒着生数を調べた。収量は2m×3条を刈り取り、しわ粒調査もそのサンプルを用いて測定した。しわ粒発生程度は(独)作物研究所の分類基準による中程度以上の粒数割合とした。

なお、2006年には、より広く現地の品質の実態を明らかにするため、県下の任意に選んだ一般圃場21点の大豆を収穫時に収集して百粒重としわ粒発生率を調べた。

3) 結果と考察

調査地点でのしわ粒の発生程度は、2004年には3～18%の範囲、2005年、2006年には5～30%の範囲で、2004年はやや低い傾向にあった。2004年、2005年には9月上旬に強風があり、圃場の風当たりによって強制落葉した部分でしわ粒が多発したので、収量、品質調査に当たってはその影響ができるだけ小さい部分を選んだ。また、2005年は播種後の乾燥により出芽から初期生育にかけての圃場間差が大きく、出芽が大幅に遅れた3地点でしわ粒が多発した。2006年は一般の生育は比較的順調な年次だったが、しわ粒が多発した2圃場の生育は蔓化気味だった。

2004年から2006年に生育収量を調査した計17圃場で比べると、図4-4-1に示すように、しわ粒の発生率は百粒重と負の関係が認められたが、2004年では2005年、2006年より小粒でもしわ粒発生率が少ない圃場が認められた。また、2006年に多くの一般圃場からのサンプルを供試して比較した調査では図4-4-1bに示すように、小粒で必ずしわ粒が多発するという結果ではなかったものの、しわ粒発生率は百粒重が小さいほどばらつきが大きい傾向が伺えた。このことから、より大粒のサイズになるよう栽培することがより安定してしわ粒低減につながると考えられた。

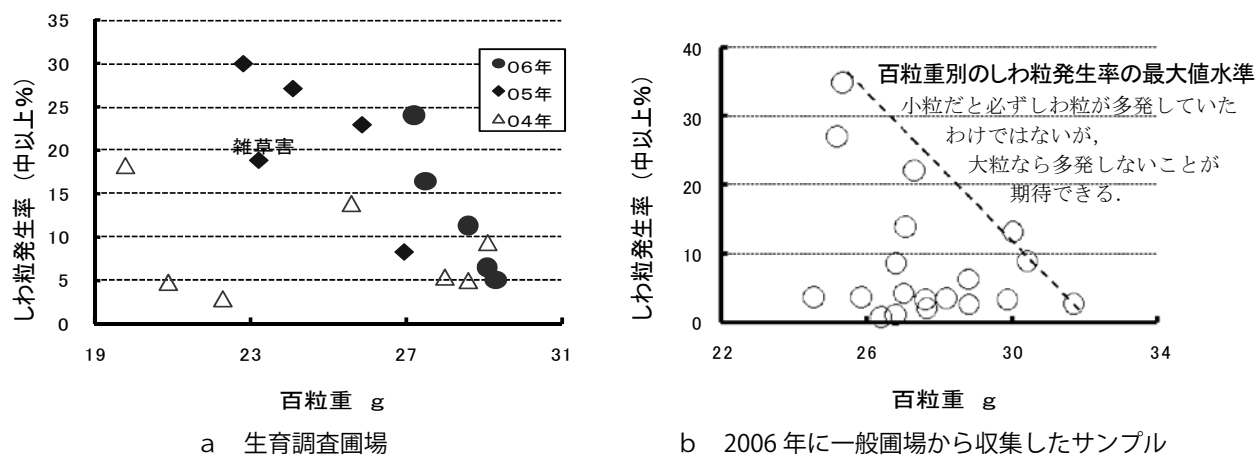


図 4-4-1 百粒重としわ粒発生率との関係

2006年の生育調査5地点における生育経過としわ粒発生率との関連をみると、図4-4-2に示すように、子実肥大期(9月14日)の葉色が濃いほどしわ粒が少ない関係がうかがわれ、このことは、落葉が早かった圃場や強制落葉があった圃場でしわ粒が多いという観察結果とも符合した。

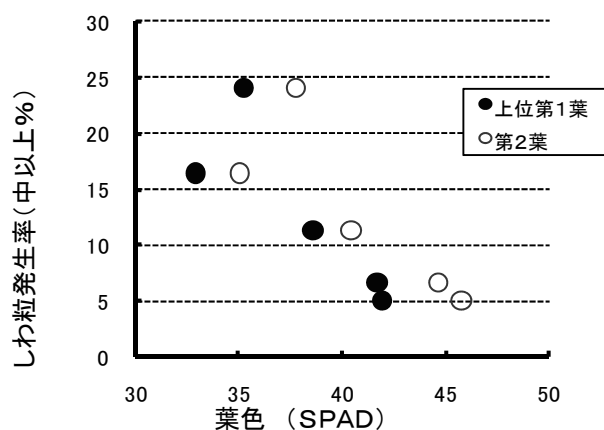


図 4-4-2 子実肥大期(9月14日)の葉色 (SPAD) としわ粒率との関係 (2006)

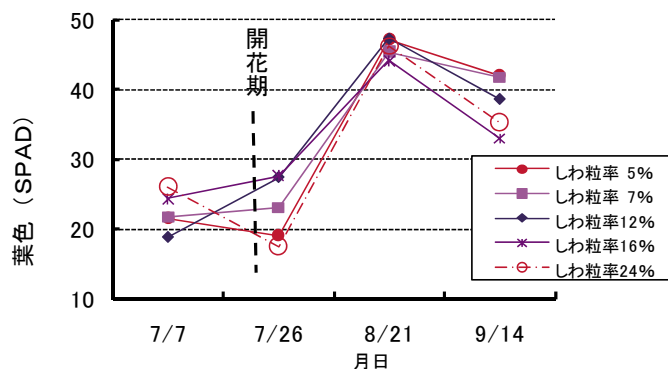


図 4-4-3 調査地点別の葉色 (上位第1葉) の推移 (2006)

そこでそれぞれの圃場の培土期からの葉色の推移を比較すると、図4-4-3に示すように、葉色は、開花期以降急激に濃くなり、8月下旬には圃場間の差が見られなくなった後、子実肥大期の9月中旬頃には黄化を前に低下して圃場差が拡大した。開花期以前の葉色は子実肥大期における葉色の地点間の傾向とは異なっており、8月下旬以前の葉色ではしわ粒の発生率と一定の関係は認められなかった。すなわち、培土期以降の葉色で収穫期のしわ粒発生と関係が深い時期は子実肥大期であった。2004年や2005年にも葉色の測定は実施したものの、2006年のようなしわ粒発生率との関係が認められなかった。これは調査時期が2004年は8月25日、2005年は8月29～31日と早すぎていずれの地点でも葉色が最高値に近い段階にあったため、葉色の低下程度を把握できなかった可能性がある。

次に、作物体に占める莢とのバランスの視点から子実肥大期の莢重/茎重を指標として、しわ粒発生率との関係を調べた。図4-4-4に示すように2005年では茎重に対する莢重の比が大きい場合にしわ粒発生率が高い傾向が認められた。2006年では、莢重/茎重としわ粒発生率の関係は、子実肥大前期の8/21と後期の9/14とも明確ではなかった。但し、しわ粒が多発した2地点では生育が蔓化気味で粒の肥大が鈍かったことを考慮してこの2点を除けば、莢重/茎重の値が大きいほどしわ粒発生率は高くなる傾向が伺えた。このことは、茎重に対して莢重が重いほど、登熟に要する負担が増大し、しわ粒になる危険が増すことを示唆し、莢重/茎重の値を過大にしない栽培条件はしわ粒発生率低下に有効と考えられた。

莢重/茎重の値は図4-4-4に示したように、子実肥大期には粒が急激に肥大するので調査時点がわずかに違うだけで莢重/茎重の値は大きく変動するものの、莢重/茎重の値としわ粒発生率の傾向は、8/21と9/14で保たれていた。このため同一年次では、圃場間の相対的な比較はある程度は可能と思われた。

従って、蔓化のような生育異常を除けば、子実肥大期の莢重/茎重の値をしわ粒発生率の指標とすることができる可能性はあるが、複数年でも成り立つより汎用性の高い指標を提示するには、調査時期や、複数年次間の変動、蔓化の判断基準等についてさらに検討する必要がある。

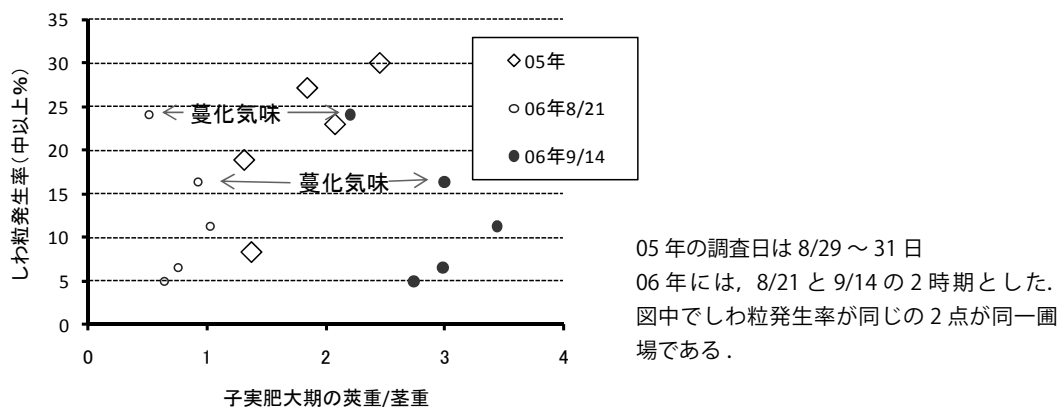


図4-4-4 子実肥大期の莢重/茎重としわ粒との関係

発芽から生育がスムーズであるとダイズが良質多収になることは、しばしば経験するところである。発芽からの生育の良否は、ダイズの窒素吸収に重要な働きを担っている根粒着生にも関与し、最終的な収量、品質にも影響があることが予想される。そこで、培土期および開花期の根粒数を調べ、しわ粒発生率との関連を検討した。図4-4-5に示すように2005年は、培土期では出芽が遅れた3地点は根粒数が少なく、しわ粒発生率も高く、他の2地点を含め、根粒数が少ないほどしわ粒発生率が

高まっていた。一方、開花期では、根粒数としわ粒発生率の関係は明確ではなかった。2006年の場合は、培土期、開花期とも根粒数が少ないほどしわ粒発生率が高い傾向が認められた。また、2006年の場合は根粒数が多いほど9月14日の葉色も濃い関係にあった。2006年には前述したようにしわ粒発生率の高い2点で蔓化気味であったが、この2点を除いても根粒数が少ないほどしわ粒発生率が高い傾向が認められた。開花期では、まだ株自体小さく、成熟までの2ヶ月余りの間にさまざまな要因が影響すると見込まれる。また、開花期以降の根粒数や葉色などの推移が開花期の根粒数と密接に連動していた状況は確認できなかったため、培土期や開花期以前の根粒数だけが成熟期の収量、品質を決定する要因とまでは考えにくい。現地のダイズ生育を診断する目安として初期の根粒数は重要で、根粒着生を阻害させない栽培条件は、しわ粒対策の手段としても必要と考えられる。

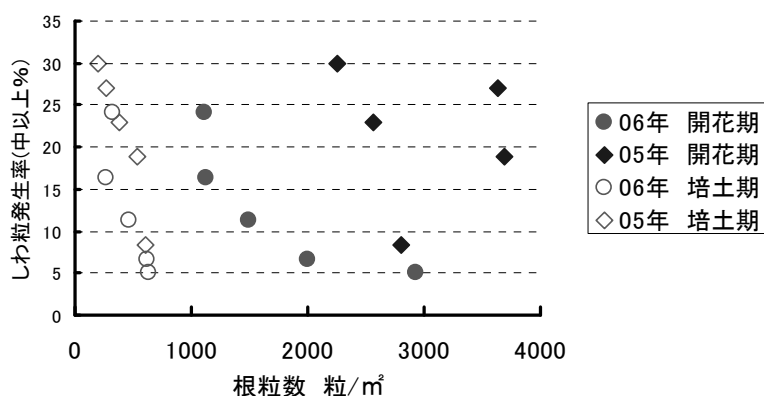


図 4-4-5 培土期、開花期の根粒数としわ粒との関係

4) 摘要

2004年～2006年に、福井県内において17ヶ所の圃場を対象とし圃場間でのダイズの生育としわ粒の関係を比較し、しわ粒の発生を低減させる要因と技術的な対応策を明らかにしようとした。しわ粒は大粒で少なく、葉色が低下の遅い場合に少なかった。子実肥大期の莢重/茎重の値は蔓化などの影響がなければ、大きいほどしわ粒が多発する傾向が見られた。また、培土期の根粒数は少ないほど多発する傾向が認められた。従ってしわ粒発生率を低減させるには、子実肥大期の葉色低下を遅らせ、莢重/茎重は大きくなり過ぎないこと。根粒着生が阻害されないような栽培管理が重要であることが示唆された。

II 編

大豆しわ粒発生防止技術の開発

第5章 しわ粒発生防止栽培管理技術の開発

1. しわ粒発生防止のための施肥管理技術の開発

○ 関口哲生¹・小原 洋²・新良力也¹

(¹ 中央農研 土壌肥料研究領域 ² 農環研 農業環境インベントリーセンター)

1) はじめに

北陸地域のダイズは、収量の低迷とともに主としてしわ粒に起因する上位等級比率の低迷が問題となっており、しわ粒低減のための栽培管理技術が早急に求められている。本課題では、生産現地での試験を通して、施肥の面からちりめんじわ粒率を軽減させるための管理技術の開発を行なうことを目的とした。

これまでに、ちりめんじわ粒の発生率は、ダイズ子実肥大期の葉色が濃く、窒素含量が高い場合に低下すること⁽⁸⁾、落葉時期が早いほどちりめんじわが増加すること⁽⁹⁾、子実肥大後期のソース不足がちりめんじわ粒の発生を促す条件の一つであること⁽¹³⁾等が報告されており、生育後期の栄養条件を高め、早期の落葉を防ぐことが有用と考えられ、石灰窒素、被覆尿素の深層施肥^(10, 16)や緩効性窒素の施用⁽¹¹⁾による生育後半の窒素栄養条件の改善によるちりめんじわ軽減事例が報告されている。

微量元素がダイズの栄養に及ぼす影響に関し、モリブデンは根粒形成に、ホウ素は細胞壁や花粉・花芽などの形成、タンパク質代謝活性の増進などに関与していることが知られており⁽¹⁵⁾、微量元素がちりめんじわの形成にも関与している可能性がある。これまでもホウ素の場合、欠乏土壌でダイズを栽培すると不稔莢の増加、しわ粒が発生して不完全な子実が多く、収量が低下すること^(3, 4)が報告されている。江口が報告しているしわ粒は外観上ちりめんじわ粒と異なるようである⁽⁴⁾が、ホウ素は子実肥大にも関与している⁽¹⁵⁾ことから、欠乏条件ではちりめんじわ形成に対しても何らかの影響がある可能性はある。しかるに、これまで微量元素の栄養条件とちりめんじわ粒発生との関係を調査した事例はほとんどない。

そこで本課題の試験1では、可給態微量元素含量が少ないと予想される生産現地の砂壤土及び造成盛り土をした圃場を選定して、熔成微量元素複合肥料 (FTE) (B₂O₃ 9%, Mn 19%, Mo, Cu, Zn 0.2 ~ 0.4%含有) の施用が収量及びしわ粒発生率に及ぼす影響を検証することを目的とした。

一方、ダイズは過湿ストレスに弱いため、過湿対策が重要である。北陸地域では排水性が悪い圃場が多く、湿害を受け易い出芽時や花芽分化期にかけての過湿により、苗立ちやその後の生育が低迷し、収量低迷の要因となってきた。アップカットロータリーを使った耕うん同時畝立て播種技術が開発され、碎土率の向上と畝立てにより、出芽苗立ちの安定、梅雨時期の湿害軽減が図られ、収量の向上が報告されてきている^(6, 7)。畝立て栽培によるちりめんじわ粒発生率への影響については南雲らの報告⁽¹¹⁾はあるものの、現象の把握とともに問題があれば対応策を明らかにする必要がある。

そこで、試験2では、排水性の悪い生産現地の圃場で、平畝、中畝、高畝の3段階に畝の高さを変えて栽培した場合のちりめんじわ粒発生率への影響を検証すること、生育後半の窒素等の栄養条件を改善するために、開花期追肥(NまたはNPK)のちりめんじわ粒発生率軽減効果を明らかにすることを目的とした。

2) 材料及び方法

(1) 試験1 FTE 施肥の有無が生育量、葉色値、収量構成要素及びちりめんじわ粒率に及ぼす影響

i) 栽培概要

栽培試験は2006年に新潟県下越地区のN生産組合のS圃場(粗粒質還元型グライ低地土、砂壤土)、及び新潟県上越地区のA生産組合のT圃場(細粒質表層灰色グライ低地土(造成)、ダイズ連作4年目)の一面で行なった。S、T圃場では、生産組合の慣行栽培に準じた対照区と、慣行栽培にさらに微量要素複合肥料(FTE) (B_2O_3 9%, Mn 19%, Mo, Cu, Zn 0.2~0.4%含有)を施用したFTE区を設定した。各圃場の一面に、縦(畝方向)10 m、横6~8 mのFTE区と対照区をそれぞれ2区画ずつ試験区として設定した。試験区及び圃場内の残りの部分は、FTE施用の有無以外は生産組合により資材、肥料の施肥、中耕培土、防除などの管理が区別なく行なわれた。

施肥については、S圃場では石灰肥料(G-ライム)が80 kg/10a、ダイズ用配合肥料(N, P_2O_5 , K_2O , MgOとして4, 15, 20, 3%含有)が40 kg /10a相当施用された。T圃場では石灰肥料(G-ライム)が60kg/10a、土壌改良資材(アルカリ分80%, P_2O_5 6%, MgO 8%)が80kg/10a、ダイズ用配合肥料(N, P_2O_5 , K_2O , B_2O_3 として8, 20, 30, 0.7%含有)20kg/10a相当が施用された。また、T圃場では生産組合の慣行として開花前に窒素肥料(尿素)6 kg-N/10a相当の追肥が行なわれた。FTEの施用量は土壌中の可給態ホウ素含量を考慮してS圃場でやや多めとし、S、T圃場で各々8kg, 6kg/10a施用した。T圃場での窒素追肥を除いて、肥料、資材はいずれも全面全層施用とした。品種は北陸地域の主要品種の「エンレイ」とした。播種日はS圃場で6月第1週、T圃場で5/26であった。収穫は10月中旬(播種後19週目)に行なった。

ii) 生育及び収量調査

S圃場は開花期(7/26)に、T圃場は開花盛り(8/3)及び子実肥大後期(9/12)に、各区で11~12個体について主茎長、節数、分枝数の生育調査を行なった。さらに7/26のS圃場及び9/12のT圃場の調査は、各区の生育中庸な8個体を抜き取り、葉身、葉柄、茎の各器官別の乾物重及びN, P, K, Ca, Mg, B, Mn, Zn濃度を測定した。

葉色値は、S圃場は開花期前(7/14)から黄葉期(9/20)に、T圃場は8/3から黄葉期(9/26)に葉緑素計(SPAD-502)を用い、最上位展開葉節から3節目の本葉中央の葉身を基本として、各区で11~12個体測定した。S圃場の9/20は黄葉期にあたり、より黄化の遅い上位から2節目の葉身も測定した。収穫調査は、各区から異なる畝を4畝選び、連続株として1 m分をそれぞれ刈り取った。作物体地上部は風乾後、収量構成要素(収量、稔実莢数、百粒重)、地上部形質(主茎長、主茎節数、

分枝節数, 分枝数, 莖重, 莢重), 子実のミネラル元素濃度を測定した. ちりめんじわ粒は目視判別とし, 裂皮, 亀甲じわを併発しているものも, ちりめんじわとして計測した. ちりめんじわ率は全整粒重に占めるしわ粒重の割合とした.

iii) 地上部の各成分元素の測定法

子実の窒素濃度は粉碎せずに近赤外分光法 (Infratec1241, ダイズ用検量線 S0128111 検量線) で測定した. ミネラル元素濃度 (P, K, Ca, B, Mn, Mo, Fe, Zn) は粉碎物を 1mol/L 塩酸 (1:50) で抽出し, 適当な濃度に希釈して ICP 発光分析法で測定した. 塩酸抽出の場合は, 葉, 葉柄, 莖は 70°C で, 子実は 105°C で乾燥して粉碎した.

iv) 土壌の化学分析

土壌中の可給態ホウ素の分析は熱水抽出法⁽¹⁸⁾, pH は定法で行なった.

(2) 試験 2 畝の高さ, 追肥の有無の違いが, 生育, 収量構成要素, ちりめんじわ粒率に及ぼす影響

i) 栽培概要

栽培試験は新潟県上越市内の B 生産組合の隣接する P, Q 圃場 (細粒質表層灰色グライ低地土) で 2005 年に行なった. P 圃場は生産農家が独自に改良を加えた畝立て機で, 図 5-1-1 に示した 13 cm の高畝 (H) とやや低い 9 cm の高さの畝 (M) が交互に形成され, 畝立て栽培が行なわれた. 畝立て区の対照としての Q 圃場は平畝 (L) で栽培が行なわれた. 追肥の有無以外は, 生産農家により基肥施用, 中耕培土, 防除などの管理が区別なく行なわれた. 基肥は, 生産組合の慣行施用であるダイズ用配合肥料 (N, P₂O₅, K₂O, B₂O₃ として 8, 20, 30, 0.3% 含有) 20kg/10a, 土壌改良資材 (アルカリ分 80%, P₂O₅ 6%, MgO 8%) が 80 kg/10a 施用された. 追肥区は, 緩効性窒素追肥区 (N), 緩効性窒素+リン酸+加里追肥区 (NPK) を設定した. 追肥区は H, M, L の各畝に 1 m の追肥区 (N, NPK) を設定し, 異なる畝で 2 反復の試験とした. 追肥は 7 月中旬の開花期前の培土時に緩効性窒素 (50 日 S 字タイプ), リン酸 (過石), カリ (塩化カリ) を 各成分 N, P₂O₅, K₂O として 5 kg/10a 相当を株元に施用した. 栽培品種は, 「エンレイ」であった.

ii) 生育及び収量調査

葉色値は, P, Q 圃場では開花期の 7/25 から黄葉期の 9/20 にかけて各区で 12 本測定した. 収量調査は各試験区から連続株で 1 m を刈り取り. 試験 1 と同様に行なった.

3) 結果

(1) 試験 1

i) S 圃場における FTE 施肥の有無が生育量, 葉色値, 収量構成要素及びちりめんじわ粒率に及ぼす影響

表 5-1-1 に, S 圃場の開花期の地上部生育量を示した. 主莖長, 主莖節数, 分枝節数, 分枝数にはいずれも有意な差は認められなかったが, FTE 施用により分枝節数が増加する傾向が認められた. 地上部の葉身, 葉柄, 莖の各乾物重には有意な差は認められなかった. 開花期の地上部の各器官のミネラル成分濃度を表 5-1-2 に示した. ホウ素濃度は, 葉身, 葉柄で FTE 施用により有意に高まった. 他の元素に関しては有意な差は認められなかった. 図 5-1-2 に生育途中の葉色値の変化を示した. FTE 施用区では, 開花期の測定では対照区より若干下がったものの, 他の時期ではいずれも高い傾向を示していた. 9/20 の葉色値は, 最上位主莖節から 3 番目の本葉の方が 2 番目より黄化と落葉が進行していた. 第 2, 第 3 のいずれの節位の葉色値も FTE 区の方が高い傾向を示していた. 表 5-1-3 に収穫調査におけるダイズ地上部の形質を示した. 分枝数, 分枝節数は有意に増加し, また, 主莖長, 主莖節数, 莖重, 莢重は, いずれも FTE 区では高まる傾向を示した.

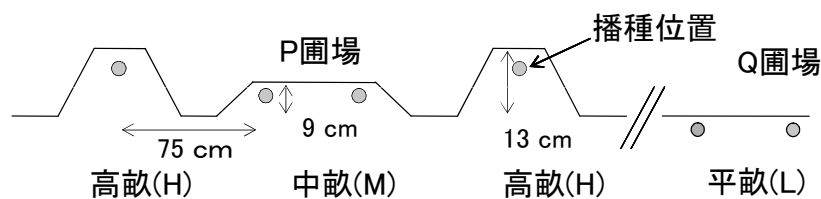


図 5-1-1 P, Q 圃場の畝の形状

表 5-1-1 S 圃場での熔成微量元素複合肥料の施用が開花期の生育量に及ぼす影響

試験区	主茎長 cm/plant	主茎節数 個/plant	分枝節数 個/plant	分枝数 個/plant	乾物重			
					葉身 g/plant	葉柄 g/plant	茎 g/plant	全地上部 g/plant
対照	43.4 (0.2)	11.8 (0.4)	1.0 (1.1)	0.1 (0.2)	3.4 (0.1)	1.2 (0.0)	2.5 (0.1)	7.1 (0.0)
FTE	42.4 (0.3)	11.9 (0.2)	1.9 (2.7)	0.4 (0.5)	3.5 (1.1)	1.1 (0.3)	2.4 (0.5)	7.1 (1.9)

() 内は標準偏差を表す

表 5-1-2 S 圃場での熔成微量元素複合肥料の施用が開花期のミネラル元素濃度に及ぼす影響

部位	区	N %	P g/kg	K g/kg	Ca g/kg	Mg g/kg	B mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Mo mg/kg	Zn mg/kg
葉身	対照	3.0	2.6	11.4	9.5	2.8	21.4	217	242	1.5	94.1
	FTE	3.0	2.7	12.0	9.6	2.8	45.5	216	210	1.9	93.2
t-検定		*									
葉柄	対照	0.82	3.0	18.8	10.1	2.5	16.1	107	37.4	2.6	43.8
	FTE	0.83	2.8	18.7	10.3	2.5	26.1	120	35.1	3.5	45.1
t-検定		**									
茎	対照	0.98	2.5	13.0	3.7	2.5	8.8	42.5	65.5	17.2	17.0
	FTE	0.58	2.3	12.9	3.4	2.3	13.9	46.1	98.7	16.6	17.9
t-検定											

*, ** はそれぞれ 5%, 1% 危険率で有意

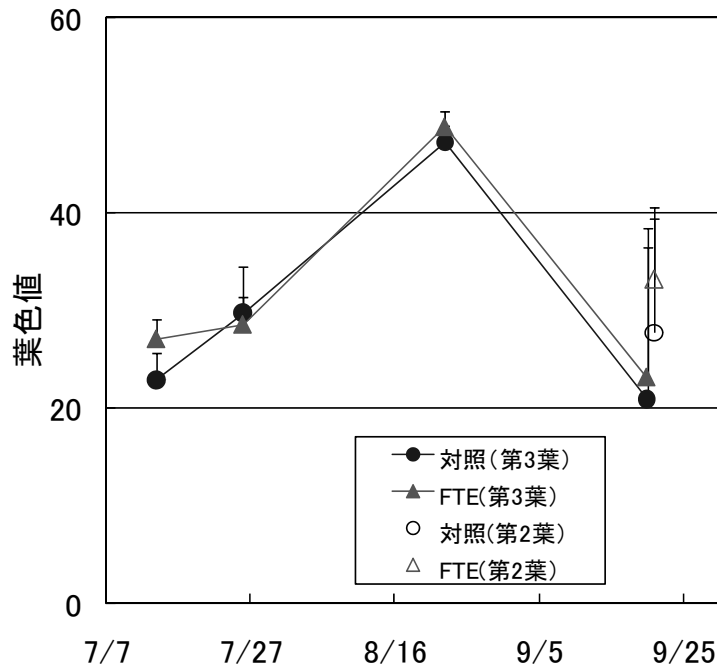


図 5-1-2 S 圃場での FTE 施用が各時期の葉色値に及ぼす影響

表 5-1-3 S 圃場の熔成微量元素複合肥料の施用が収穫時のダイズ地上部の形質に及ぼす影響

区	主茎長 cm/plant	主茎節数 個/m ²	分枝数 個/m ²	分枝節数 個/m ²	茎重 g/m ²	莢重 g/m ²
対照	54.6	160	27.2	146	69.6	84.8
FTE	57.0	168	39.7	209	87.7	100.9
t-検定			*	**		

*, ** はそれぞれ 5%, 1% 危険率で有意

表 5-1-4 S 圃場での微量元素複合肥料 (FTE) の施用が
ちりめんじわ率及び収量構成要素生育量に及ぼす影響

施肥区	ちりめんじわ発生率 %	整粒重 g/m ²	稔実莢数 個/m ²	百粒重 g
対照	11	279	603	24.4
FTE	4	334	713	25.0
有意差(t検定)	*		†	

*, † はそれぞれ 5%, 10% 危険率で有意

表 5-1-4 に収量構成要素及びちりめんじわ粒率を示した。S 圃場では FTE 施用により稔実莢数、整粒重が約 2 割増加した。また、ちりめんじわ粒率は対照区が 11% だったのに対し、FTE 施用により 4% に有意に減少した。表 5-1-5 には収穫期の子実中の窒素及び P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, B のミネラル成分濃度を示した。開花期と同様にホウ素濃度には FTE 区で有意な増加が認められたが、他の元素濃度には有意差は認められなかった。

ii) T 圃場における FTE 施肥の有無が生育量、葉色値、収量構成要素及びちりめんじわ粒率に及ぼす影響

表 5-1-6 に T 圃場の生育量を示した。開花盛期 (8/3)、子実肥大期 (9/12) において、主茎長、主茎節数、分枝節数、分枝数にはいずれも有意な差は認められなかった。一方、葉色値の推移は図 5-1-3 に示すように、FTE 施用により、8/3、8/15 の子実肥大期を中心に葉色値が有意に高まった。表 5-1-7 に子実肥大期の各器官のミネラル元素含量を示した。FTE 施用により葉柄のホウ素濃度が有意に高まった。また、茎の亜鉛濃度は対照区で高かったが他の元素については有意差は認められなかった。表 5-1-8 に収穫調査におけるダイズ地上部の形質を、表 5-1-9 に収量構成要素及びちりめんじわ粒率を示した。主茎長、主茎節数、分枝数、分枝節数、茎重、莢重には有意な差は認められなかった。また、整粒重、稔実莢数、百粒重には有意な差は認められなかった。一方、ちりめんじわ粒率は対照区で 23% に対し、FTE 施用により有意に減少して 12% を示した。表 5-1-10 に、子実中のミネラル元素濃度を示した。ホウ素、亜鉛濃度は対照区で、モリブデン濃度は FTE 区で増加していたが、他の元素濃度には有意な差は認められなかった。

iii) 土壌の化学性

表 5-1-11 に栽培土壌の pH 及び可給態ホウ素濃度を示した。土壌の可給態ホウ素濃度は S 圃場では対照区で 0.1 mg-B/kg 以下、FTE 施用区で 0.2mg-B/kg であった。T 圃場では栽培前土壌のホウ素含量は 0.6 mg-B/kg を示していた。pH は対照区、FTE 区でほぼ等しく、S 圃場で 5.5 ~ 5.6、T 圃場で 5.4 であった。

(2) 試験 2

i) 畝の高さ、追肥の有無の違いが、生育に及ぼす影響

図 5-1-4 a) ~ c) に追肥の有無と各畝の高さによる葉色値の推移を示した。開花期での葉色値は、追肥の有無にかかわらず、平畝 < 中畝 < 高畝を示し、その後の R2 期⁽⁵⁾ (8/11) も平畝 < 中畝 < 高畝を示していた。無追肥区は 8/31 ~ 9/20 にかけても、平畝区が高畝及び中畝区に比べ最も低い値を示した。一方、N、または NPK の追肥区は、平畝区の無追肥区と比べ、8/31 ~ 9/20 にかけて葉色値を増加させたが、中畝、高畝区では無追肥区と比べ、7/15 ~ 9/12 まではほとんど変わらなかったものの黄葉期の 9/20 の測定では、高畝区で増加が認められた。また、N 追肥区と NPK 追肥区の葉色値の差は、期間を通してほとんど認められなかった。葉色値が急に低下する時期については、いずれの畝の高さ、追肥の有無を変えた条件でも 9/12 以降であった。葉色値が低下する速度 (9/12 と 9/20 の差) については、平畝区は中畝、高畝区に比べ若干速い傾向が認められた。また高畝区では N、または NPK 追肥により落葉速度が遅くなる傾向が認められた。

ii) 畝の高さ、追肥の有無の違いが、収量構成要素及びちりめんじわ粒率に及ぼす影響

表 5-1-12 に畝の高さ、追肥の有無の違いが、整粒重、稔実莢数、百粒重、大粒率、完全粒率、ちりめんじわ粒率、粗タンパク含量に及ぼす影響を示した。整粒重は平畝 < 中畝 < 高畝の順に畝立ての高さに応じて収量が向上したが、追肥による増収効果は認められなかった。稔実莢数は、高畝区で増加する傾向が見られたが、追肥の効果は認められなかった。百粒重に関しては、平畝 < 中畝 <

表 5-1-5 S 圃場での熔成微量元素複合肥料の施用による子実の無機元素濃度の比較

施肥区	粗タンパク	P	K	Ca	Mg	B	Mn	Mo	Fe	Zn
	含量	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
対照	%	5.5	21.3	2.0	2.2	14.4	43.1	11.5	61	54
FTE	%	5.4	21.2	2.0	2.2	35.6	42.5	12.0	65	53
有意差(t検定)						***				

*** は 01%危険率で有意

表 5-1-6 T 圃場での FTE 施用が生育量に及ぼす影響

調査日	試験区	主茎長	主茎節数	分枝節数	分枝数
		cm	個/plant	個/plant	個/plant
8/3	対照	54.8 (5.8)	13.4 (0.7)	n.m.	1.8(1.8)
	FTE	51.7 (5.1)	13.3 (0.9)	n.m.	2.3 (1.1)
9/12	対照	53.6 (7.0)	13.3 (0.4)	11.8 (0.7)	2.5 (0.4)
	FTE	53.7 (0.9)	13.6 (0.2)	14.5 (6.7)	3.1 (0.5)

n.m. : 未測定, () 内は標準偏差を表す

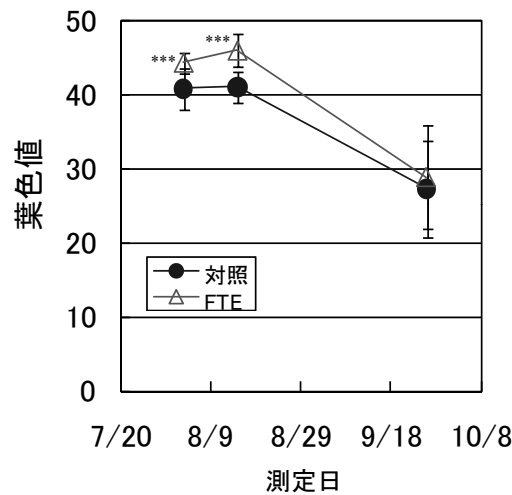


図 5-1-3 T 圃場での FTE 施用の有無の違いによる葉色値の推移

*** は 0.1%危険率で有意差があることを示す

表 5-1-7 T 圃場での熔成微量元素複合肥料の施用による子実肥大後期の部位別のミネラル元素濃度部位別ミネラル元素濃度

施用区	地上部 部位	P	K	Ca	Mg	B	Mn	Mo	Fe	Zn
		平均 g/kg	平均 g/kg	平均 g/kg	平均 g/kg	平均 mg/kg	平均 mg/kg	平均 mg/kg	平均 mg/kg	平均 mg/kg
対照	葉身	1.9	19.5	14.6	2.1	33.7	205.5	0.4	63.5	82.0
FTE		2.1	20.1	13.9	2.0	42.7	220.2	0.3	72.5	78.3
t検定										
対照	葉柄	2.1	22.3	14.0	4.5	23.0	202.2	0.5	13.7	28.5
FTE		1.7	21.0	13.3	4.0	25.4	214.3	0.4	13.7	27.4
t検定						*				
対照	茎	1.4	11.8	2.6	2.5	17.7	56.4	0.7	22.8	9.8
FTE		1.3	10.8	2.5	2.4	17.2	52.9	0.3	18.5	9.0
t検定										**
対照	莢 (子実込み)	3.9	23.3	4.7	3.7	37.0	86.2	0.6	50.2	40.4
FTE		3.9	22.8	4.7	3.7	37.6	95.3	0.4	50.1	40.1
t検定										

*, ** はそれぞれ 5%, 1% 危険率で有意

表 5-1-8 T 圃場の収穫時のダイズ地上部の形質の比較

	主茎長	主茎節数	分枝数	分枝節数	茎重	莢重
	cm/plant	個/plant	個/plant	個/plant	g/m ²	g/m ²
対照	54.5 (5.5)	13.2 (0.2)	2.9 (1.5)	10.7 (0.6)	109.5 (8.1)	96.3 (13.6)
FTE	58.1 (3.4)	13.5 (0.5)	3.0 (4.1)	10.0 (0.9)	115.9 (7.4)	104.4 (12.4)

() 内は標準偏差を表す

表 5-1-9 T 圃場での微量元素複合肥料 (FTE) の施用がちりめんじわ率及び収量構成要素生育量に及ぼす影響

試験区	ちりめん じわ率	整粒重	稔実莢数	百粒重
	%	g/m ²	個/m ²	g
対照	23	271	516	31.3
FTE	12	286	584	31.4
有意差(t検定)	*			

* は 5% の危険率で有意

表 5-1-10 T 圃場での熔成微量元素複合肥料の施用による子実の無機元素濃度の比較

施肥区	粗タンパク 含量(%)	P	K	Ca	Mg	B	Mn	Mo	Fe	Zn
		g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
対照	46.0	5.9	22.9	2.1	2.3	34.0	63.7	0.3	67.2	51.9
FTE	46.2	5.8	23.0	2.0	2.3	32.4	60.6	0.7	67.1	49.7
有意差(t検定)						*		*		*

*は5%の危険率で有意

表 5-1-11 S, T 圃場の土壌の化学性の比較

S圃場	土壌 pH(H ₂ O)	可給態ホウ素 (mg-B/kg)
対照	5.5	< 0.1
FTE	5.6	0.2

T圃場	土壌 pH(H ₂ O)	可給態ホウ素 (mg-B/kg)
対照	5.4	0.6 ^{a)}
FTE	5.4	

無印は収穫後, a) は作付け前の分析値

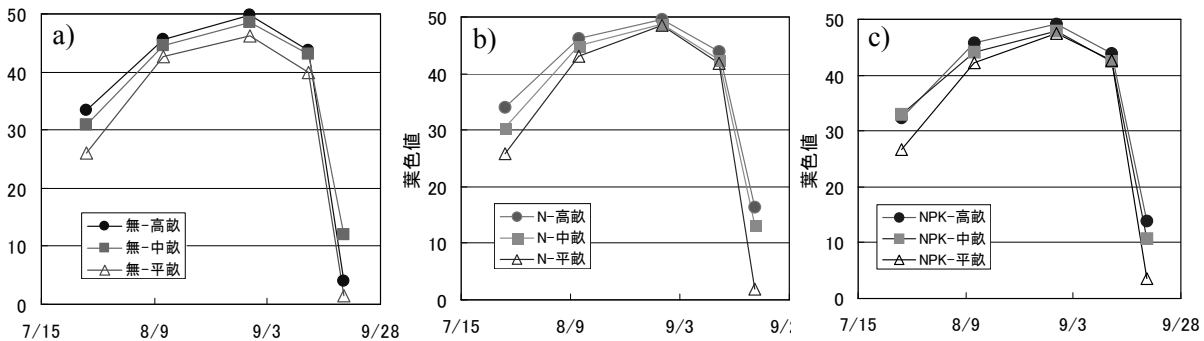


図 5-1-4 畝の高さ及び追肥の有無の違いによる生育期間中の葉色値の違い
a) 無追肥区 b) N 追肥区 c) N, P, K 追肥区

表 5-1-12 畝の高さ、窒素または窒素、リン酸、加里の追肥が
ちりめんじわ率及び収量構成要素生育量に及ぼす影響

畝の高さ	追肥の有無	整粒重		稔実莢数		百粒重		大粒率		粗蛋白含量		ちりめんじわ率		完全粒率	
		g/m ²	σ	ヶ/m ²	σ	g	σ	%	σ	%	σ	%	σ	%	σ
高畝	無追肥	445	8	769	30	32.2	0.6	70	7	45.2	0.8	39 a	6	40	8
	+N	448	66	784	96	32.5	0.4	72	5	44.1	0.6	24 ab	2	62	10
	+N, P, K	444	72	751	94	33.0	1.3	77	9	44.5	0.1	25 b	4	55	7
中畝	無追肥	385	10	695	8	30.6 a	0.0	60 a	1	43.8	0.1	41	7	37 a	3
	+N	390	52	670	48	32.1 b	0.1	66 b	2	43.9	0.1	31	1	57 b	0
	+N, P, K	428	10	709	15	32.3 b	0.6	69 b	1	44.2	0.6	27	4	55 b	5
平畝	無追肥	384	8	718	37	29.8	0.9	43	10	43.7	0.1	29	21	61	24
	+N	370	45	693	63	30.9	0.1	54	1	43.6	0.4	22	10	68	15
	+N, P, K	388	23	728	51	31.5	0.1	60	3	44.3	0.3	28	1	60	6
分散分析	畝の高さ (A)	†		n.s.		**		**		*		n.s.		n.s.	
	追肥 (B)	n.s.		n.s.		*		*		n.s.		n.s.		†	
	A × B	n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.	

同一畝の高さ内で異なるアルファベット間にはニューマン&クワールズ検定で有意差(5%)があることを示す。

高畝の順に有意に重くなり、また、追肥により平畝 < N 追肥 < NPK 追肥の順に重くなる傾向を示した。大粒率に関しても百粒重と同じ傾向を示した。粗蛋白含量は、高畝区で高まる傾向を示したが、追肥の効果は判然としなかった。ちりめんじわ粒率は、無追肥区の場合、畝立てをした高畝、中畝区で 39、41%であったのに対し、平畝区では 29%で発生率は相対的には少なかった。N または NPK の追肥により、畝立て区では低下する傾向が認められた。

4) 考察

1) 試験 1 S, T 圃場とも、FTE の施用により、下位葉を中心に葉身の周辺に褐色斑点を呈するハウ素 過剰症状が認められたが、表 5-1-4、表 5-1-9 に示した様に収量、収量構成要素には過剰症による障害は認められず整粒重は微増傾向を示し、ちりめんじわ粒は軽減した。このことから、S, T 圃場とも、ハウ素、マンガン、モリブデン、鉄、銅などを含む FTE 含有の微量元素の幾つかは潜在的な欠乏状態にあったと推定された。

斉藤ら⁽¹²⁾は開花期後期の最上位成熟葉のハウ素の適正範囲は 15 ~ 250 mg/kg としている。S 圃場の対照区の開花期の全葉身のハウ素濃度は 21.4 mg/kg (表 5-1-2) で、斉藤らの部位と時期は多少異なるものの、適正域でも低い域に属すると考えられた。また、収穫期のダイズ子実のハウ素濃度は対照区で 14.4 mg/kg (表 5-1-5) であった。江口ら⁽⁴⁾は、「エンレイ」の子実中のハウ素濃度の全国平均は 27.2 mg/kg であったと報告しており、S 圃場の対照区は約半分の濃度であった。また収穫跡の土壌中の可給態ハウ素含量は対照区で 0.1 mg/kg 以下であった。この濃度は生育期間中の土壌濃度ではないものの欠乏域⁽¹⁾と考えられる 0.3 mg/kg を下回っていた。これらのことから S 圃場では少なくともハウ素は潜在的な欠乏状態にあったと推察される。

S 圃場では FTE 区は、開花期では地上部の生育量は慣行区とほぼ同等であったが、収穫期調査では分枝数、分枝節数、稔実莢数が有意に増え、主茎長、茎重、莢重についても増加する傾向が認められた。また、子実の粗タンパク含量はほぼ変わらず整粒重が増加する傾向にあったことから、開花期以降

の地上部の生育量と窒素蓄積量の増加に効果があったことが伺われた。ダイズの根粒活性や、地上部の生育量は、ホウ素濃度にも依存し、低いまたは高過ぎるとダイズの根粒活性が低下し、地上部の生育量が低下することが報告されている⁽¹⁷⁾。FTE 施用区の葉色値が子実肥大期を通じて高く、葉色低下も遅い傾向を示していたのは、ホウ素の施用で根粒活性が高められていた可能性も考えられるが、本試験では根粒活性についての調査をしていないため、今後検討していく予定である。また FTE 施用によるホウ素以外の他の要素の効果の可能性については、今回の試験では開花期の地上部及び収穫子実とも濃度に有意差はなかったものの、ホウ素のみで施用効果を説明できるか、ホウ素成分のみを施用する試験など行いさらに検討する必要がある。

T 圃場に関しては、FTE 施用により開花期では、ホウ素濃度が葉身、葉柄で高まる傾向はあったが、子実濃度は FTE 施用では高まらなかった。これは、圃場の不均一性の問題や、土壌中のホウ素含量が 0.6 mg/kg と比較的高いことを反映して子実濃度も T 圃場の対照区では、S 圃場の FTE 施用区程度に高かったことから、ホウ素施用の効果が S 圃場よりも現れにくかったことも考えられる。

FTE 施用のちりめんじわ率軽減効果については、S 圃場に関しては、前述したように、FTE 施用で子実肥大期の葉色値の低下が抑えられていたこと、開花期以降の生育量、窒素蓄積量が勝っていたことがしわ粒軽減に有利であった可能性はある。また、ホウ素は細胞壁の形成にも寄与する⁽¹⁵⁾ことから、FTE 施用で子実中のホウ素濃度が有意に増加することでちりめんじわ粒ができ難くなった可能性はあるが、詳しいメカニズムについては今後さらに検討する必要がある。T 圃場に関しては、葉色値は FTE 区で S 圃場同様、開花期以降高く推移したものの、百粒重の増加には寄与しておらず、今回の調査項目だけでは、ちりめんじわが軽減した機作について推定できなかった。

2) 試験 2 開花期及びそれ以降も無追肥区で葉色値が平畝 << 中畝 < 高畝であったのは、葉色値は過湿ストレスで低下するため⁽¹⁴⁾、平畝ではより過湿ストレスを受けていたものの、畝立て栽培により、播種位置が高くなることで過湿ストレスが軽減されたためと考えられる。畝立て栽培により、高畝区では百粒重、莢数が増加し、整粒重は 15 % 程度増加して、細川らの報告^(6, 7)にある様に、畝立て栽培による増収が確かめられた。一方、ちりめんじわ率については畝立て栽培により、南雲らは収量の向上と共にちりめんじわの軽減効果が認められたことを報告⁽¹¹⁾しているが、本試験の畝立て栽培では無追肥の場合は 40% 近い高い値を示し、必ずしも低下していなかった。

一方、畝立て栽培に追肥を組み合わせることで、高畝区では 15 ポイントほどちりめんじわが低下した。N 追肥区と NPK 追肥との葉色値、収量構成要素、ちりめんじわ粒率には有意差はなく、この圃場では、N、P、K 成分のうち窒素が制限因子になっていたと推察された。畝立て栽培での慣行性窒素追肥によるちりめんじわ軽減効果は、南雲らの結果⁽¹¹⁾とも一致する現象であった。

生育後期の窒素の栄養条件を高めることはちりめんじわ軽減に有用と考えられており、今回の莢数がほぼ決まる 8 月後半から 9 月上旬の子実肥大期に溶出のピークが見込まれる緩効性窒素の追肥試験もこの軽減方法を支持する結果と考えられる。

排水性の悪い圃場における畝立て播種栽培では、地力窒素が低いところでも増収効果が高いことが報告されている⁽⁷⁾。地力窒素が低いところでの畝立て栽培では、増収はするものの、根粒による窒素固定が衰えてくる生育後半⁽²⁾には窒素の蓄積が十分になされず、ちりめんじわ率が高くなる可能性も考えられる。その様な場合はちりめんじわ率軽減の方法として、子実肥大期に肥効が発現する窒素の追肥はより有効であると考えられる。

一方、窒素追肥によりちりめんじわ粒率は中畝、高畝区で 15 ポイント程度減少したものの、依然 20% を超えていること、また、平畝区では追肥によるしわ粒軽減効果が認められなかったことから、

施肥量や肥料の溶出特性に関し最適化する必要や、消石灰（I編第3章-1）や微量元素（試験1）の効果など窒素栄養条件以外の要因についても考慮する必要があると考えられた。

5) 摘要

i) 熔成微量元素複合肥料（FTE）の施用で、S、T圃場では収量は微増傾向を示し、ちりめんじわ粒率は有意に減少した。土壌の微量元素が潜在的に欠乏している圃場では微量元素成分の施用も有効であることが明らかになった。

ii) 排水性が不良の試験圃場では、畝立て栽培により、葉色値が高まり収量は増加したが、ちりめんじわ率は必ずしも減少しなかった。このような場合、子実肥大期に肥効を発する窒素肥料の施用は、百粒重が増加し、葉色値の低下速度が遅くなり、ちりめんじわ発生率が軽減され、ちりめんじわ率軽減に有効であることが確認された。但し、窒素の追肥によりしわ粒は軽減されたものの依然20%を超えおり、施肥量や肥料の溶出特性に関する最適化の必要性や、窒素栄養条件以外の要因についても検討する必要があると考えられた。

6) 引用文献

1. 秋友勝（2002）ダイズのホウ素欠乏と対策．農業技術体系 作物編．農文協，6，追録第24号 技178の1の6
2. 有原丈二（2000）ダイズ安定多収の革新技术，農文協
3. 江口亭・安部俊之・豊田栄子・高尾計介（1989）大豆に対する枸熔成ホウ素の施与適量と限界．日本フェロー研究開発農場報告，2，13-22
4. 江口亭（2003）大豆子実中のミネラル成分濃度と収量，外観品質との関係（1）．土肥学会誌，49，150
5. Fehr, W. R. and C. E. Caviness (1977) Stages of soybean development. Iowa Agric. Exp. Stn. Spec. Rep., 80
6. 細川寿・松崎守夫・高橋智紀・塩谷幸治（2003）重粘土転換畑における大豆の湿害回避技術．平成15年度関東東海北陸農業・総合研究 成果情報
7. 細川寿・高橋智紀・帖佐直・大嶺政朗（2004）重粘土に限らず砂壤土まで湿害回避ができるダイズ耕うん同時畝立播種技術．平成16年度関東東海北陸農業・総合研究 成果情報
8. 井上健一・高橋正樹（2004）ダイズ子実肥大期の生育経過としわ粒発生率の関係．北陸作物学会報，41，96-99
9. 小原洋・関口哲生・大野智史（2007）2006年新潟県上越地域大豆品質（しわ粒）と圃場・土壌条件の関係．新潟アグロノミー，43，52-59
10. 大山卓爾・ティワリ カウサル・大竹憲邦・末吉邦・高橋能彦（2006）ダイズの生育，収量，品質に及ぼす石灰窒素の施肥深度，施肥量，他成分の影響．季刊肥料，105，56-67
11. 南雲芳文・佐藤徹・服部誠・土田徹・細川寿・高橋能彦・大山卓爾（2010）排水不良転換畑における畝立て栽培およびシグモイド型被覆尿素肥料の施用によるダイズしわ粒軽減効果について．土肥誌，81（4），360-366
12. 斉藤正隆・大久保隆弘編著（1986）大豆の生態と栽培技術．農文協
13. 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，摘莢処理の影響．土肥誌，79（1），81-85

14. 島村聡・望月俊宏・多田陽一・福山正隆 (2002) 湛水田におけるダイズの生育と収量. 日本作物学会紀事, 71 (別1), 26-27
15. 田村有希博 (2003) 第6章 土壌肥料 2. リン酸, カリ, その他. わが国における食用マメ類の研究. 総合研究農業叢書 44, 389-409
16. Tewari, K., M. Onda, N. Sato, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2005) Comparison of the effects of deep placement of slow-release N (lime nitrogen and coated urea), P and K fertilizers on yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seeds. Bull. Facul. Agric. Niigata Univ., 58, 45-53
17. Yamagishi, M. and Y. Yamamoto (1994) Effects of boron on development and symbiotic nitrogen fixation in soybean plants. Soil Sci. Plant Nutr., 40, 265-274
18. 土壌環境分析法 (1999) 博友社, 50-51

2. 耕うん・播種精度向上技術の開発

○北倉芳忠（福井県坂井農林総合事務所）

1) はじめに

近年、水稲や大豆など水田転作作物の作柄の年次変動が大きく、不安定になっている。この原因の一つとして、作物栽培の基本である耕うん作業自体が大きく関わっていると考えられる。

すなわち、農家が耕うん作業を行う際、作業能率を重視するあまり、ロータリ耕深を浅くし作業速度を速くしている傾向が見られる。このため、わら等のすき込み性が悪くなり、表5-2-1に示すように、これを回避するためのわらの焼却が多く見られる。この作業慣行が、有機物不足と作物の根の生育抑制⁽¹⁾等をもたらし、土づくりの障害となっているものと考えられる。

このような現状に対し、ロータリ耕うん作業を0.3 m/s程度のスピードでゆっくり行い、わら等のすき込みと耕深15 cmを確保するよう指導しているが、農家の取り組みは消極的である。プラウの導入も効果的であるが、湿潤な土壌条件での作業が困難なことや、新たな作業工程を伴うことになる。

このため、生産者が許容できる程度の作業速度を保ちながら、耕深の確保、わら・雑草等のすき込み性に優れた新たな耕うんロータリを開発するとともに、耕うん・播種作業精度を明らかにしようとした。収量、しわ粒発生への影響については、「7-3. 福井県における現地実証」で触れる。なお、本研究開発は、小橋工業株式会社と共同で行った。

2) 材料と方法

(1) 耕うん作業の実態調査

現地のロータリ耕うん作業の実態を把握するため、2003年～2006年に水田41ヶ所で耕うん作業の実態調査を行った。対象の作業は水稲収穫後秋または春の1回目の耕うん作業であり、トラクタの馬力、耕深、作業速度を調査した。

(2) 試作正転ロータリ（開発機の前機）による作業性能試験

a) ロータリの特徴

開発機は予備的な検討結果から、正転タイプのロータリとした。性能の目安としては、0.5 m/s程度の作業速度を保ちながら、耕深確保とすき込み性、砕土性の向上をめざした（以下「改良ロータリ」（製品名：ツーウェイローター）という）。

つめは、曲げ半径を大きくし、わん曲部の切削角が大きくなるようにしたもの（回転半径は251 mm、切削幅は115 mmなど）を使用した。チェーンケース底面から直下方向のつめの先端までの距離は150 mmとなった。つめの配列は、回転方向に隣り合うつめの間隔を見直した複数配列のホルダ式による取り付けとし、軸方向に隣接して向かい合うつめの横刃部が回転時に重なる軌跡の幅を大きくした。この結果、つめは、ロータリの1回転毎に、ほぼ同一回転面上の土を2回切削することとなった。また、砕土とすき込み性向上のため、ロータリ内にレーキを設置し、さらに、チェーンケース前方にわらや雑草が滞留するのを防止して耕深を確保するため、圃場面カット用ディスクを装備した。図5-2-1に開発の要点を示した。

表 5-2-1 大麦収穫後の麦わら焼却の現状 (2003 年県全体)

大麦播種面積 (ha)	麦わら焼却率 (%)	麦わら焼却 面積 (ha)	麦わら焼却後 大豆播種面積 (ha)
4496	37.6	1690	901

農業普及部調べ



図 5-2-1 改良ロータリの外観

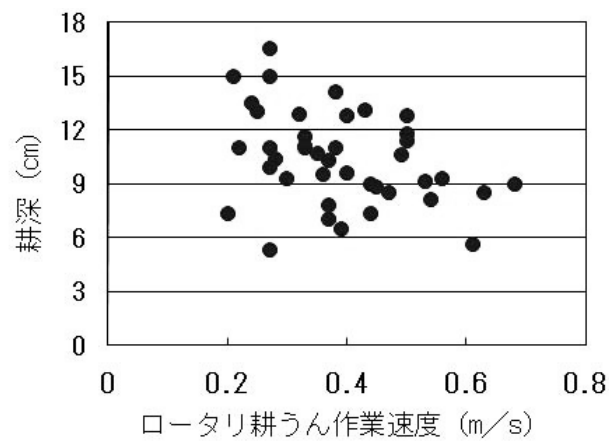


図 5-2-2 県内水田における Ω -列耕うん作業の作業速度と耕深 (2003 ~ 2006 年福井農試)

b) 水稲収穫後における耕うん作業性能試験（耕うん同時大麦播種）

2004年10月に福井市R地区の作土土性LiCの水田（水稲収穫後）において、慣行ロータリと改良ロータリの耕うん作業性能試験を行った。供試トラクタは46 PSであった。改良ロータリは耕幅1.8 m、慣行ロータリは2回切削式の耕幅1.8 mのなたづめを取り付けたフランジ式の配列である。両方ともに6条の大麦播種機を搭載した。作業速度は、両区ともに農家の実態に合わせて秒速0.5 m程度を目安とし、PTO回転のシフトは1速（エンジン回転2400 rpmで540 rpm）で、エンジン回転数はフルスロットルで行った。試験区は、1区を耕幅×70 mで2区制とした。作業速度は10 m間を3カ所、耕深は5ヶ所、砕土率は直径35 cm円筒で深さ5 cmまでを3ヶ所、わら露出程度は0.5 m²を2ヶ所、大麦苗立ち率は2条2 m間を3ヶ所で調査を行った。

c) 大麦収穫後における大豆の耕うん同時播種作業性能試験

2004年6月に転作田（大麦収穫後）において、慣行ロータリによる大豆の1回耕うん同時播種作業と改良ロータリ性能試験を行った。圃場は福井県農業試験場内の作土土性LiCの水田である。改良ロータリは前述の耕幅1.8 mの試験機である。慣行ロータリは、1回切削式の耕幅1.8 m、つめの取り付けはホルダ式、配列は螺旋状の標準的な正転ロータリである。両方ともに、2条の播種機を搭載した。供試したトラクタは46 PS。作業速度とPTO回転の設定、試験区および調査は、前述b)と同様とした。

3) 結果と考察

(1) 耕うん作業の実態調査

調査結果を図5-2-2に示した。平均の作業速度は0.4 m/sで、平均の耕深は10.4 cmであり、作業速度が速いほど耕深が浅くなる傾向が見られた。これらとトラクタの馬力との関連は明確ではなかった。平均耕深は指導基準よりも浅くなることが多く、9 cm未満は11ヶ所（約27%）であり、指導指針である15 cm以上の耕深は、僅かに3ヶ所（7%）であった。

この浅耕の傾向は、農家が15 cmの耕深を確保することよりも作業能率を重視しロータリを上げ作業速度を速くすることによるものであり、このことよって、耕うんピッチが大きくなり、ロータリはその反動でさらに浮くことになる。しかし、農家のほとんどは耕深の目標を12～13 cm程度としており、平均10 cm前後という浅い実態に驚く農家が多かった。

通常のロータリ耕うん作業で、耕深15 cmを確保しようとする、0.25 m/s程度の低速作業が必要であるが、作業能率が低いほとんど実施されない。調査結果と農家の実感から、実用的な速度として、0.4～0.5 m/s程度の作業が可能ならば、15 cm程度の耕深確保に取り組むと考えられ、開発目標として設定することとした。

(2) 試作正転ロータリ（開発機の原機）による性能試験

a) 水田（水稲収穫後）における耕うん作業性能

試験結果を表5-2-2に示した。作業速度は、改良ロータリで0.52 m/s、慣行ロータリで0.53 m/sとほぼ目標どおりとなった。

速度とロータリ軸の推定回転数から試算した速度・ロータリ軸回転比は、改良ロータリが16で、慣行ロータリの18.7に比べやや小さくなった。これは、改良ロータリの方が、PTO回転に対するロータリの回転比がやや高いことによる。また、耕うんピッチ（作業速度、ロータリ回転速度と1回耕うんあたりのつめの切削回数から算出）については、改良ロータリが8 cmで、慣行ロータリ体系の9.8 cmに比べてやや小さかった。作業精度を見ると、耕深は、改良ロータリで15.3 cmとなり、慣行

表 5-2-2 水田における耕うん作業および大麦播種作業の精度 (2004.10 R 地区)

試験区	耕うんピッチ (cm)	作業速度 (m/s)	耕深 (cm)	砕土率 (%)	稲わら露出率 (%)	苗立ち率 (%)
改良ロータリ区	8.0	0.52	15.3	33.1	12.4	84.8
慣行ロータリ区	9.4	0.53	12.4	11.4	31.3	67.8

注1) コンバインによる稲わら切断長は 15 cm 注2) 土性 LiC 土壌含水比 56.4% (液性指数 0.74)
 注3) 改良ロータリ, 慣行ロータリともに 1 回耕うん同時播種 (トラクタ 46 PS, ロータリ幅 1.8 m) で PTO シフトは同じ (1 速).
 注4) 稲わら露出率は, 播種作業前に残っていた全わら量に対する割合で算出.

表 5-2-3 転作田 (大麦収穫後) における大豆播種作業精度 (2004.6 福井農試場内)

試験区	耕うんピッチ (cm)	作業速度 (m/s)	耕深 (cm)	砕土率 (%)	種子露出率 (%)	麦わら露出率 (%)	苗立ち率 (%)
改良ロータリ区	8.1	0.53	15.7	39.2	6.0	16.0	70.3
慣行ロータリ区	18.7	0.53	12.0	28.1	52.0	75.3	54.1

注1) コンバインによる麦程切断長は 15 cm
 注2) 土性 LiC 土壌含水比 53.6% (液性指数 0.39)
 注3) 改良ロータリ, 慣行ロータリともに 1 回耕うん同時播種 (トラクタ 46 PS, ロータリ幅 1.8 m) で, PTO シフトは同じ (1 速).
 注4) 麦わら露出率は, 播種作業前に残った全わら量に対する割合で算出.

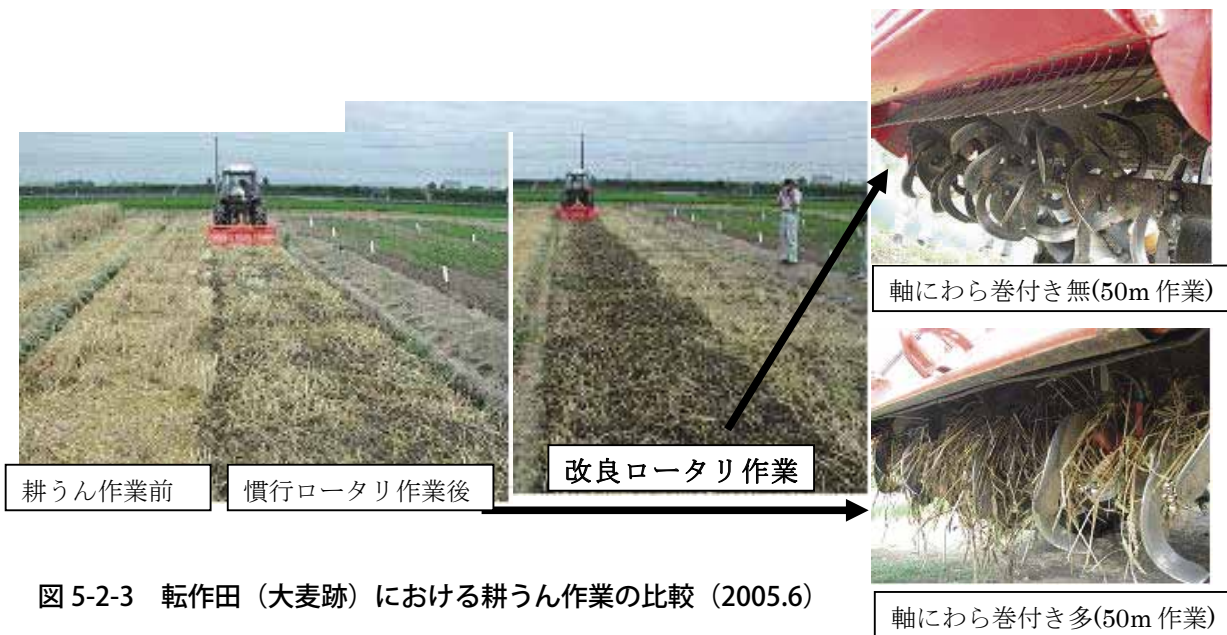


図 5-2-3 転作田 (大麦跡) における耕うん作業の比較 (2005.6)

ロータリの 12.4 cm に比べて深く、目標の 15 cm は確保できた。砕土率は、改良ロータリが 33.1% で、慣行ロータリの 11.4% に比べ高くなった。わら等のすき込み程度を示す稲わら露出率は、改良ロータリで 12.4% となり、これは慣行ロータリの 31.3% に比べ低かった。大麦の苗立ち率は、改良ロータリで 84.8% となり、これは慣行ロータリの 67.8% に比べて高くなった。

このように、改良ロータリによる水田での耕うん作業精度は、慣行ロータリに比べて優れていた。

b) 転作田（大麦収穫後）における大豆の耕うん同時播種作業性能

試験結果を表 5-2-3 に示した。作業速度は、改良ロータリ、慣行ロータリともに秒速 0.53 m で、ほぼ目標どおりとなった。速度・ロータリ軸回転比は、改良ロータリが 16.2 で、慣行ロータリ 18.7 に比べやや小さくなった。この理由は、前述と同様回転比の違いによる。また、播種時の耕うんピッチについては、改良ロータリが 8.1 cm で、慣行ロータリ体系 18.7 cm に比べてかなり小さかった。これは、前述のつめの配列の違いによる。作業精度をみると、耕深は、改良ロータリで 15.7 cm となり、慣行ロータリ 12 cm に比べて深く、目標の 15 cm 以上であった。砕土率は、改良ロータリで 39.2% となり、慣行ロータリの 28.1% に比べ高くなった。麦わら露出率は、改良ロータリで 16% となり、慣行ロータリの 75.3% に比べ著しく低かった。麦わら露出率と関連性があり、大豆の苗立ちを左右する種子露出率は、改良ロータリで 6% となり、慣行ロータリの 52% に比べかなり低かった。その結果、苗立ち率は、改良ロータリで 70.3% となり、慣行ロータリの 54.1% に比べて高くなった。

このように、改良ロータリによる大豆の播種精度は、慣行ロータリに比べて高かった。

c) 耕うん作業時のロータリ軸へのわらの巻きつき

2005 年 6 月に転作田（大麦収穫後）において行った耕うん作業性能試験で、ロータリ軸へのわらの巻きつき程度を観察調査した。圃場には、麦わらがコンバインで 15 cm に切断された場所とそのまま収穫されずに残っている場所とがあり、約 50 m の耕うん作業後に調査した結果を図 5-2-3 に示した。慣行ロータリの場合、麦わらは、つめ軸にかなり巻きついたが、改良ロータリの場合、ほとんど巻付きが見られなかった。この傾向は、前述の雑草が繁茂している圃場でのソバ播種作業の試験でも、同様に見られた。

これは、つめの形状、配列により、土の反転性が良くなったことや隣り合うつめの先端部の重なりが慣行ロータリに比べて 60 mm 程度と大きいことが、わらが軸の中心方向へ進入するのを軽減しているためではないかと考えられるが、詳細については、今後さらに解析したい。

d) 作業体系の評価

以上の精度試験をとおして、改良ロータリが、耕深 15 cm の確保、わら等のすき込み性、砕土性に優れた性能を持つことを確認できた。生産者が重要視する作業速度に関しては、土壌条件によってやや異なるが、0.45 ~ 0.55 m/s (1.5 ~ 2 km/h) が可能で、この程度なら受け入れられると思われる。また、改良ロータリの 1 回耕うん同時播種は、安定した作業精度を保ち、現行の大豆やソバ播種の 2 ~ 3 回耕うん体系に比べて耕うんが 1 ~ 2 回省略されるため、省力・低コスト効果が大きい。さらに、正転ロータリであるため、水田での汎用性や作業能率を考慮すると、そのメリットは大きい。すなわち、改良ロータリは、逆転ロータリに近い精度と正転ロータリの汎用性を兼ね備えたロータリとの位置づけもできる。この他の特徴として、わら等のロータリへの巻きつきが少ないことがある。わら除去作業の軽減は、生産者にとって作業負荷が軽減されるだけでなく、作業精度と能率向上にもつながる。

このようなことから、改良ロータリは、水田の耕うん作業はもちろん、転作田の省力的な一回耕うん播種作業とともに、高い砕土やすき込み性が要求される園芸作物の耕うん整地作業にも活用が

期待される。

本ロータリは、2006年7月から市販化された。今後、土づくりの推進やわら焼却防止および播種における耕うん作業の省力化に貢献することを期待したい。

4) 摘要

耕深の確保、わら・雑草等のすき込み性に優れた改良ロータリを開発するとともに、耕うん・播種作業精度を明らかにしようとした。その結果、改良ロータリは耕深15 cmが確保でき、わら等のすき込み性、砕土性に優れた性能を持つことを確認できた⁽²⁾。

5) 謝辞

本研究の推進にあたっては、小橋工業株式会社開発部の長屋克成部長、藤原昇氏、河本拓也氏、安倉敏行氏をはじめとする社員の方々に、技術面と製品化の面で多大なる御協力をいただいた。現地試験においては、福井県農業機械化協会の松田一郎副会長（株式会社福井クボタ社長）、株式会社福井クボタ池田晴夫部長には、貴重な助言をいただいた。ここに記して、深く感謝いたします。

6) 参考文献

1. 瀧嶋康夫ら（1969）土壤の圧縮及び硬度が水稻の根系発達ならびに生育に及ぼす影響に関する研究．農技研報告 B-21, 255-328
2. 北倉芳忠ら（2006）耕深確保，すき込み，砕土性に優れたレーキ付き正転ロータリ．農作業研究 41 別 1, 71-72

第6章 コンバイン収穫に対応したしわ粒発生防止栽培・作業技術体系の開発

1. 最適コンバイン収穫時期の策定

○川口祐男¹・鍋島弘明²・吉田 稔²・荒井清完³・守田和弘⁴・寺西敏子⁵

(¹富山県庁農産食品課 ²富山県高岡農林振興センター ³富山県庁農業技術課

⁴富山県農総技セ 食品研究所 ⁵元富山県農技センター 農業試験場)

1) はじめに

富山県ではダイズを水田農業の基幹作物のひとつとして位置づけ、生産振興を図っている。昭和60年頃までは10a当たりの収量が200 kgを超え、大部分が1～3等に格付けされていたが、近年は収量・品質ともに低下しており、中でもしわ粒による等級の格下げが著しい。

しわ粒の発生要因として子実水分と乾燥速度⁽³⁾、種皮のカルシウム含量⁽¹⁾などの報告があるが、近年、特に増加してきた理由として、ブロックローテーションの繰り返しによる地力低下、気候温暖化に伴う登熟期間中の植物体窒素栄養の不良が影響していることも考えられる。一方、収穫時期の遅れがしわ粒の発生を助長するという事例も見られる。現在、大部分の圃場がコンバインにより収穫されているが、汚損粒の発生を防止するため子実や莢、茎の水分を下げてから収穫することが必要である^(2,5)ことから、成熟期より遅れて収穫するのが一般的である。

そこで、しわ粒の発生が顕在化している状況のなか、成熟期前後の植物体水分の変化としわ粒の発生程度との関係について検討を行い、品質低下を抑えるための最適なコンバイン収穫時期を明らかにする。

2) 材料と方法

試験は2004年～2006年に富山県農業技術センター農業試験場（現 富山県農林水産総合技術センター農業研究所）の沖積砂壤土の圃場で、「エンレイ」を供試して行った。しかし、2004年は収穫前の強風、降雨により腐敗粒が多発したため、取りまとめデータからは削除した。

播種日と栽植密度は2005年が6月5日で14.0本/m²、2006年が5月19日、5月31日および6月9日ですべて15.0本/m²であった。基肥は10a当たり窒素量で2005年が2kg、2006年が3kgであった。培土は2005年が1回目は6月27日、2回目は7月8日、2006年は5月19日播種では1回目が6月14日、2回目が6月26日、5月30日播種では1回目が6月21日、2回目が7月4日、6月8日播種では6月26日に1回だけ行った。圃場の灌水は2005年が6月23日に1回、2006年は8月11日、8月25日および9月4日に3回行った。

成熟期は落葉して茎が褐色になり、振ると莢内の豆がカラカラと乾いた音がする頃とした。子実水分は成熟期の5～10日前から20～25日後まで、2～5日毎に立毛中のダイズを3株採取し、単粒水分計（静岡製機社製）で測定するとともに、水分が25%以上の子実を高水分粒として混入率を

調査した。また、同じ日にちりめんじわと亀甲じわも調査した。3株採取した日のうち、成熟期の2～6日前から9日後まで、コンバイン収穫も同時に行い、汚粒と損傷粒はコンバイン収穫したサンプルで調査した。汚粒は生研センターの指標を元に汚粒度を0（無）～4（甚）に区分し、汚れ指数（（汚粒度1の粒数×1＋汚粒度2の粒数×2＋汚粒度3の粒数×3＋汚粒度4の粒数×4）／調査粒数）で示した。茎の水分は、子実水分を測定した日にサンプリングし、80℃の恒温器で48時間乾燥の後、測定した。

なお、播種は畝立て播種機（I社製 AHYB24－K4TH3）、収穫は大豆専用コンバイン（軸粒型 I社製 HC350）をそれぞれ用いた。

3) 結果および考察

(1) 茎水分の推移と汚粒の発生

2005年の茎水分は成熟期前13日から成熟期まで65%程度で推移したが、その後急激に低下し、成熟期後8日目で45%、16日目で17%となった。2006年は5月19日播種では成熟期前は56%～71%で推移したが、成熟期後6日目で32%まで低下した。5月30日と6月8日播種では成熟期の2～3日前までは70%程度と高いうえ、その後も大きな低下は見られず、成熟期後5～6日でも55%程度であった。一方、汚れ指数は2005年では成熟期前6日まで0.6を超えていたが、成熟期では0.3程度に低下した。また、2006年はいずれの播種期とも成熟期前2日から成熟期後9日まで0.0～0.18と低く推移した。

茎水分と汚れ指数との関係を見ると、図6-1-1で示すように、茎水分が高いほど汚れ指数も高くなる傾向が認められた。富山県では高品質ダイズを生産するため、汚れ指数を0.5以下に抑えるように指導しているが、この結果より茎水分が65%を超えると等級格下げに結びつく可能性のあることが明らかとなった。これは60%以下の茎水分で収穫が必要とする瀬野ら⁽⁵⁾の報告とほぼ一致するが、40%以下とする原ら⁽²⁾の結果とは大きく異なった。この原因として、汚れ指数の許容値や供試品種が異なることが考えられた。また、本試験において成熟期を過ぎて収穫した場合でも茎水分が40%以下になることがほとんど無いことを考慮すると、収穫時の降水量や湿度など気象条件の違いも影響していると思われる。

なお、2006年は茎水分が65%を超えても汚れ指数は低かったが、これは調査日の日射量が多いうえ微風が吹いて、収穫条件が良かったことが影響していると思われる。

(2) 子実水分の推移と損傷粒の発生

子実水分の推移を見ると2005年は成熟期前13日で40%を超えていたが、成熟期前3日から成熟期後8日までは20%程度に低下した。2006年は成熟期前8～9日では、5月19日播種では30%以下と低く、5月30日播種や6月8日播種では50%程度と高かったが、成熟期では、いずれの播種期でも17～18%で差はなくなった。また、子実全体に占める水分25%以上の高水分粒の割合は、2005年は成熟期前13日では90%以上であったが、成熟期前6日では25%程度となり、成熟期では2%に低下した。2006年は成熟期前2～3日では3～19%であったが、成熟期以降ではほぼなくなった。

子実水分と損傷粒発生率との間には、図6-1-2に示すように正の相関が認められ、子実水分が高いほどコンバイン収穫の際に衝撃を受け、つぶれ粒が増加することが確認された。また、図6-1-3に示すように、30%程度までは子実の平均水分が高いほど高水分粒割合が高い傾向が見られ、40%を超えると大部分が高水分粒となった。子実水分が低いと割れ粒や皮切れ粒、高いとつぶれ粒などが発生するため、子実水分が15～18%の時に収穫することが望ましい⁽³⁾とされるが、本試験では

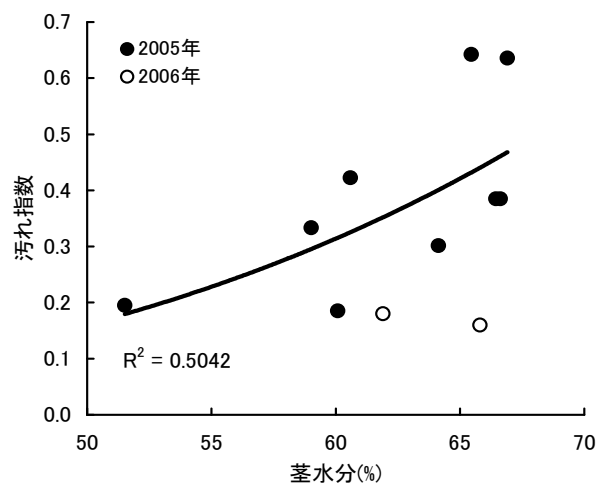


図 6-1-1 茎水分と汚れ指数との関係 (2005, 2006 年)
実線は 2005 年の近似曲線, R^2 は 2005 年の決定係数

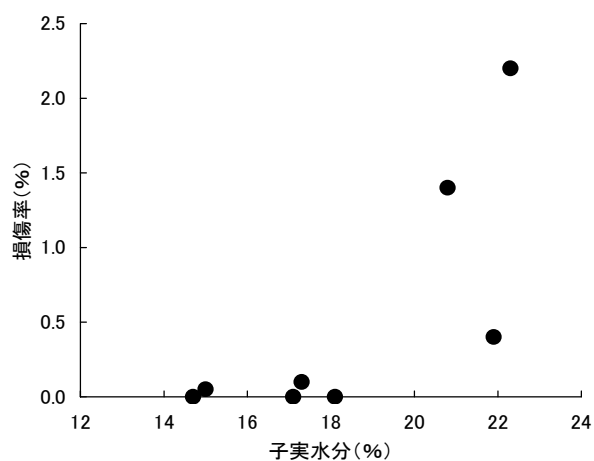


図 6-1-2 子実水分と損傷粒の関係 (2006 年)

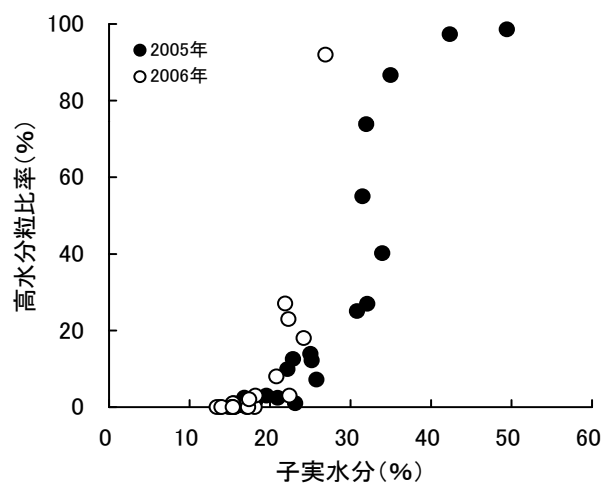


図 6-1-3 子実水分と高水分粒率の関係 (2005, 2006 年)

子実水分が15%を下回ることにはなかった。

(3) 子実水分としわ粒発生の関係

しわ粒のうち亀甲じわについては、2005年では成熟期前11日からわずかに発生が認められたが、その後は成熟期までほとんど変化しなかった。2006年はいずれの播種期でも成熟期前にはほとんど発生が認められなかったが、5月19日播種と5月30日播種で、成熟期後5日目頃から目立ち始め、成熟期後18～19日目には全ての播種期で7%以上に増加した。ちりめんじわの発生は2005年では成熟期前13日から認められ、成熟期前6日から成熟期までは約10%で推移した。成熟期以降は急激に増加し、成熟期後5日目に約15%、16日目に約50%となった。2006年はいずれの播種期でも成熟期後5～6日目まではほとんど発生が認められなかったが、5月19日播種では成熟期後9日目から少しずつ発生が認められ、19日後では20%以上となった。5月30日と6月8日播種では成熟期後19日目でも1～2%であった。

子実水分と亀甲じわ発生率との関係を図6-1-4に示した。両年とも子実水分35%から発生が認められたものの、子実水分25%程度までは3%以下で推移した。しかし、2005年は21～22%まで子実水分が低下しても亀甲じわが増えなかったのに対し、2006年は子実水分が22%以下になると亀甲じわが急激に増える場合も認められた。亀甲じわの発生については、乾燥の進んだ子実が降雨等による吸湿と晴天日の乾燥の繰り返しが原因とされている⁽⁵⁾。本試験では両年とも成熟期まではほとんど亀甲じわの発生が認められなかったが、2006年では成熟期直後の10月6日、7日に20 mm/日以上の降雨があった後に、急激に増加している。これはこの報告を裏付けるものと考えられる。

一方、ちりめんじわは図6-1-5に示すように2005年では子実水分が35%になった頃から既に発生が認められ、20%頃から急激に増加した。2006年は比較的発生が少なく、子実水分22%まではほとんど見られなかったが、更に水分が低下すると増加した。ちりめんじわは子実肥大盛期の生育阻害ストレスにより発生が助長される⁽⁷⁾とともに、収穫時期の遅れによっても多くなる⁽⁸⁾ことが報告されている。2006年に比べ、2005年のちりめんじわ発生率が高くなった原因については、生育期間中の気象条件や観察による生育の推移では十分な説明がつかないが、収穫の遅れにより亀甲じわだけではなく、ちりめんじわも増える傾向を示すことは、本試験でも同様の結果であった。

(4) コンバインによる収穫適期について

コンバインによる収穫適期を判断する場合、汚粒、損傷粒およびしわ粒の発生リスクから判断することが必要である。汚粒の発生を抑えるため、汚れ指数0.5を許容限界とすると、茎水分が65%以下で収穫することが必要であった。この時の子実水分は約25%であった。損傷粒は子実水分が21～22%を超えると急増した。しわ粒の発生については、ちりめんじわ、亀甲じわともに子実水分が22%を下回る頃から急激に増加する傾向が認められた。

以上の結果より、コンバインによる収穫適期は子実水分が22%の時と考えられた。

4) 摘要

- (1) 茎水分が高いほど、子実の汚れ指数は高くなった。汚れ指数を0.5以下に抑えるためには、茎水分を65%以下で収穫することが必要であり、この時の子実水分は約25%であった。
- (2) 子実水分が高いほど25%以上の高水分粒の混入率が高くなり、損傷粒も多くなった。
- (3) ちりめんじわは2005年では子実水分35%から認められ、22%以下になると急激に増加した。2006年は比較的発生が少なかったが、同様に22%程度から発生が増加する傾向を示した。
- (4) 亀甲じわの発生は子実水分25%程度まで少なかったが、22%以下になるとバラツキが大きくな

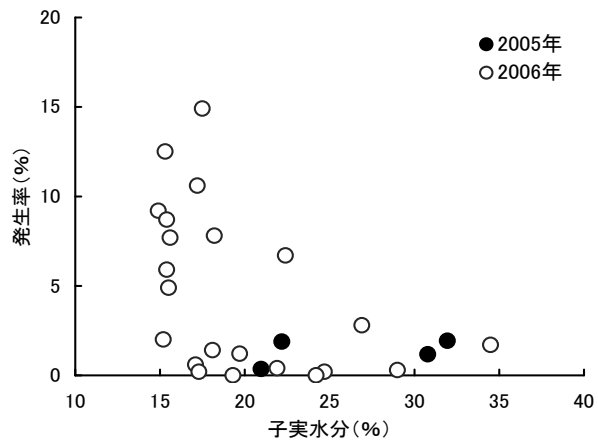


図 6-1-4 子実水分と亀甲じわ粒との関係

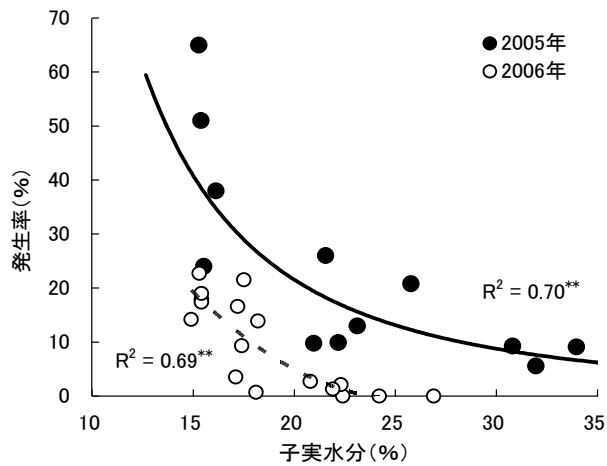


図 6-1-5 子実水分とちりめんじわ粒との関係 (2005 年, 2006 年)

実線は 2005 年, 点線は 2006 年の近似曲線

**は 1%水準で有意差があることを示す

り、5%を超える場合が見られた。

(5) 以上より、しわ粒と汚損粒の発生を抑えながらコンバインでダイズを収穫する場合、子実水分22%で行うことが望ましいと判断された。

5) 引用文献

1. 相澤直樹・島田信二・鈴木雅光 (2004) カルシウム施用と登熟期栽培条件がダイズのしわ粒発生に及ぼす影響. 日作紀, 73 (別1), 78-79
2. 原令幸・竹中秀行・関口建二・原圭祐・玉木哲夫 (2001) 大豆のコンバイン収穫と汚粒防止対策. 北海道立農試集報, 80, 45-54
3. 海妻矩彦・喜多村啓介・酒井真次 (2003) “農業機械・施設”. 食用マメ類の科学. 養賢堂, 444-492
4. 笠原正之・猪原明成 (1985) 大豆の乾燥に関する研究 I. 脱粒大豆の乾燥と品質について. 富山農試研報, 16, 1-5
5. 佐藤徹・服部誠・市川岳史・村田隆夫 (2007) ダイズ亀甲じわの発生機構に関する研究. 日作紀, 76 (別1), 180-181
6. 瀬野幸一・児玉憲司・板垣善之助・安達真道 (1991) 大豆のコンバイン収穫技術. 山形農試研報, 25, 85-106
7. 田渕公清 (2007a) 生育時期別の剪葉と遮光処理がダイズのしわ粒発生に及ぼす影響. 日作紀, 76 (別1), 178-179
8. 田渕公清 (2007b) 遮光処理および収穫時期がダイズのしわ粒発生に及ぼす影響. 日作紀, 76 (別2), 136-137

2. 子実水分簡易測定法によるしわ粒低減収穫技術の開発

○樋口泰浩

(新潟県農総研 作物研)

1) はじめに

しわ粒は調製・選別段階では取り除くことが難しく、栽培から乾燥に至る過程でしわ粒の発生を防止する必要がある。収穫に関しては適期を過ぎると立毛中にしわ粒が増加するが、適期前では高水分子実の損傷や高水分茎による汚損が懸念され、収穫適期となったら速やかに刈り取るのが望ましい。そこで、コンバイン収穫に適した栽培条件や茎・子実水分の簡易推定技術を基に、しわ・汚損粒を最小限にするコンバイン収穫時期を検討した。

2) 材料と方法

(1) 子実・茎水分簡易測定法の検討

水分計は(株)オガ電子製の農産加工品等用水分計 MDX-1000(センサー長 3 mm, 径 2 mm 先針)を用い、成熟期前後の「エンレイ」および「あやこがね」の水分計出力値と絶乾法による水分を比較した。子実水分の水分計による測定は子実にセンサー針を刺して得られた出力値を用いた。絶乾法では、1粒を 135℃で 24 時間乾燥して得られた水分値を、変換式(子実 10 g 程度を 135℃で 24 時間乾燥する方法→粉碎物 5 g 程度を 105℃で 5 時間乾燥する方法)によって変換した。茎水分の水分計による測定方法は地上 10 ~ 20 cm の部位にセンサー針を刺して行い、絶乾法は数 cm 程度に切断した後 105℃で 24 時間乾燥する方法とした。

(2) 子実・茎水分簡易推定法に基づく、汚損、しわ粒軽減コンバイン収穫技術の検討

井関農機(株) HC350, HC300, (株) クボタ ARH350, ARH380 を供試し、2004 ~ 2006 年新潟県農業総合研究所作物研究センター内圃場(新潟県長岡市、普通畑)において、成熟期頃の「エンレイ」を収穫して大豆品質および収穫ロスを調査した。

3) 結果と考察

(1) 子実・茎水分簡易推定法に基づく汚損およびしわ粒軽減コンバイン収穫技術の検討

図 6-2-1 に示すように子実の汚損は茎水分が高いほど増加し、水分 60% 以上では品質が低下する可能性が見られた。収穫損失については、図 6-2-2 に示すように脱穀損失では子実水分が高いほど増加し、頭部損失のうち落下粒は子実水分が低いほど増加した。収穫損失からは子実水分は 25% 付近が適当と考えられた。子実の損傷に及ぼす子実水分や高水分子実の割合の影響をみると、図 6-2-3 及び-4 に示すように、子実の損傷は水分が高いほど多く、20 ~ 25% から発生し増加する。損傷は高水分の子実が受けやすく、高水分子実割合が増加すると損傷粒も増加した。

以上から、子実の吸湿乾燥によって増加するしわ粒を回避し損傷粒がなく収穫損失も低く抑えるには、成熟期以降に茎水分 60% 以下、子実水分 22% 程度以下になったら速やかに収穫するのが望ましいと考えられる。

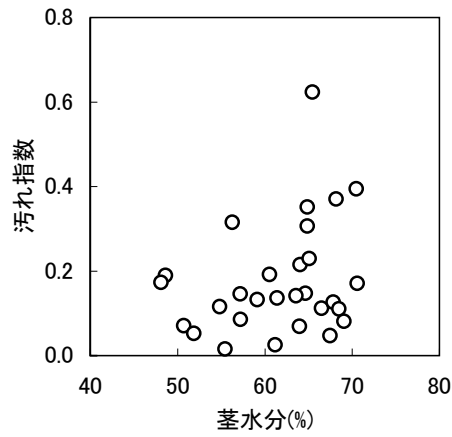


図 6-2-1 茎水分と汚れ指数の関係

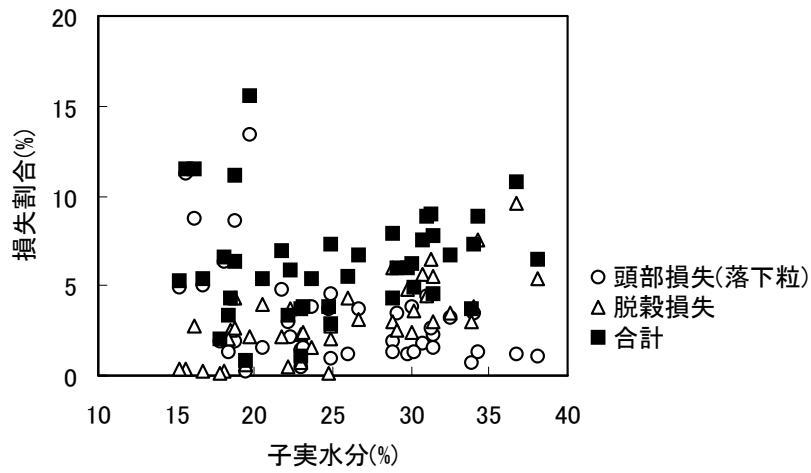


図 6-2-2 子実水分と収穫損失割合の関係

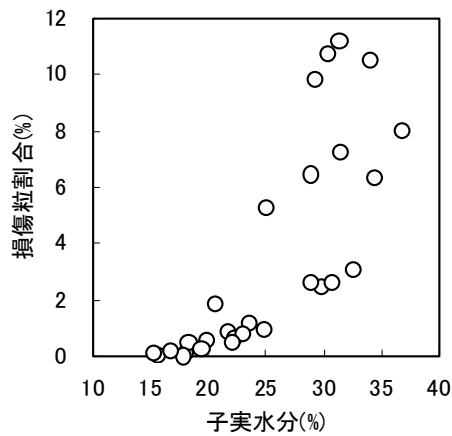


図 6-2-3 子実水分と子実損傷粒割合の関係

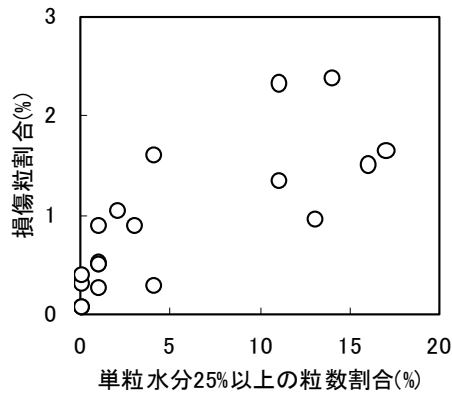


図 6-2-4 高水分子実割合と子実損傷粒割合の関係

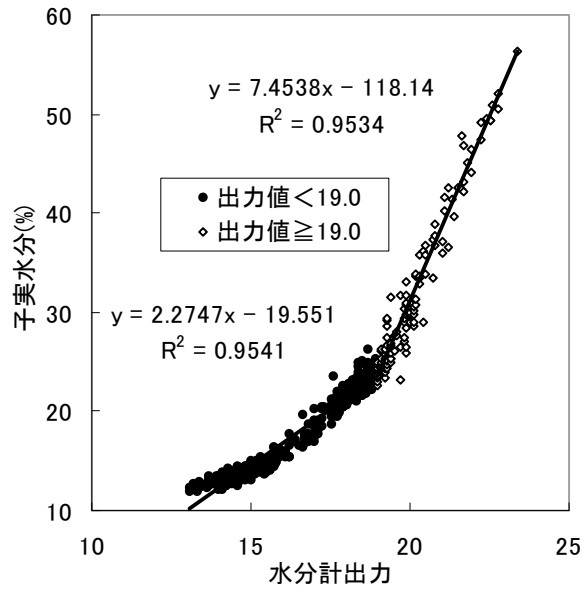


図 6-2-5 水分計出力と子実単粒水分の関係 (エンレイ, 2005 年)
※線形近似, 出力値 19.0 で分割

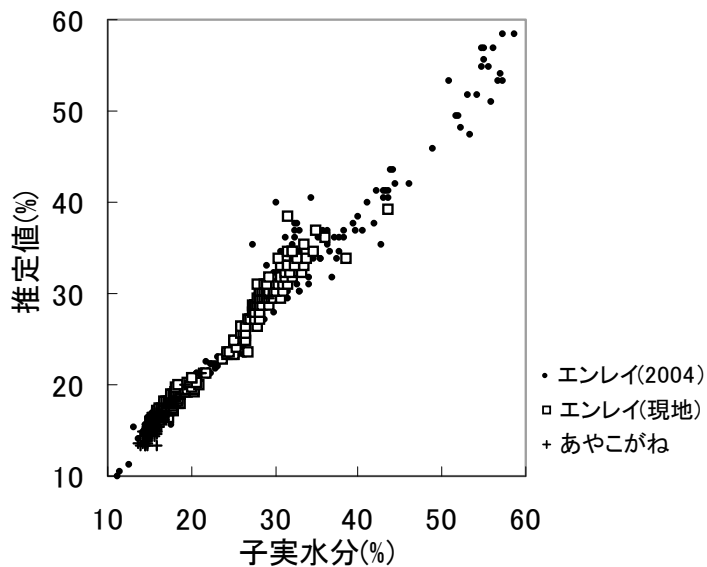


図 6-2-6 未知サンプルの子実単粒水分推定



図 6-2-7 水分計と測定方法

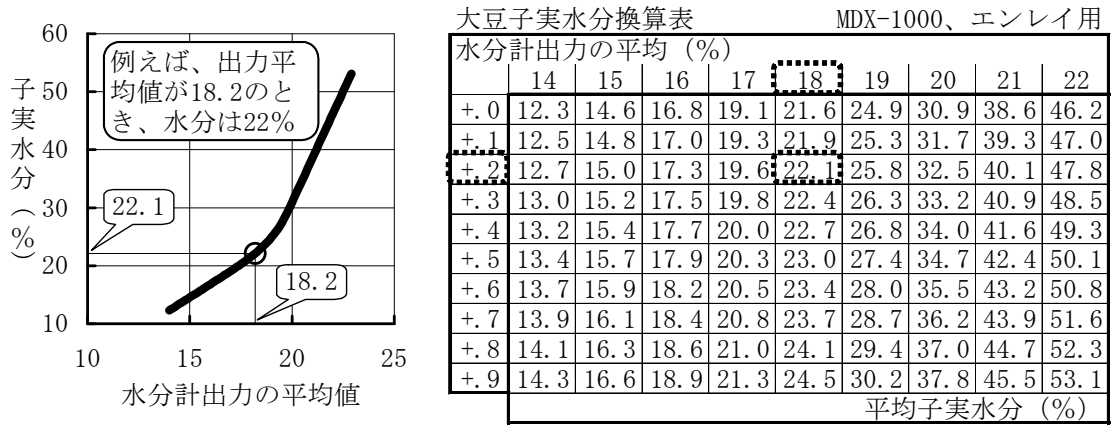


図 6-2-8 水分計出力と平均水分の関係

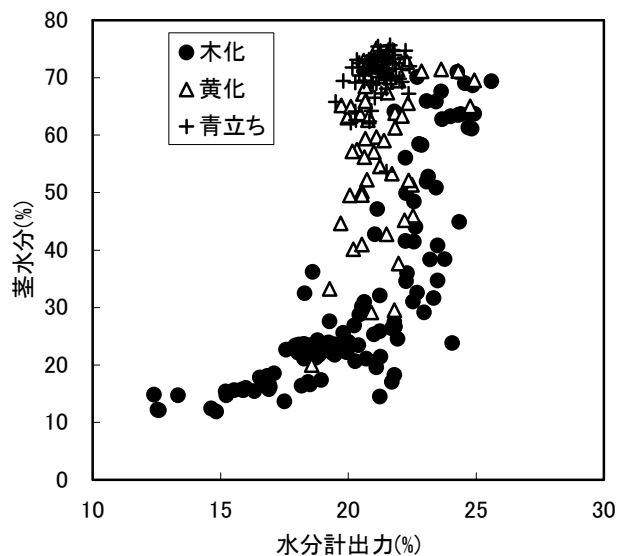


図 6-2-9 莖状態別の水分計出力値と莖水分の関係

(2) 子実簡易測定法の検討

「エンレイ」の水分計出力値と子実単粒水分との間には一定の関係がみられ、2005年の「エンレイ」では図6-2-5のようだった。y: 子実単粒水分, x: 測定器出力, として線形近似した場合は、水分計出力値18.9以下で $y=2.2747x-19.551$, 19.0以上で $y=7.4538x-118.14$ であった。水分計出力値と子実単粒水分との関係には、子実の大きさ(重量)の影響は見られなかった。2004年「エンレイ」、2005年現地圃場産「エンレイ」、2005年「あやこがね」の測定値から前述の式を用いて推定した水分と絶乾水分とを比較した結果、図6-2-6に示すように子実単粒水分の推定は可能と考えられ、測定法を以下のとおりとした。

- ①中庸な生育をしている株を抜き取り、中位の莢を無作為に抽出して莢を剥き、大豆子実を得る。
- ②センサー先端を大豆子実に刺して一粒ずつ測定して、20～50粒の平均を求める。水分計の設定は標準レンジとする。刺し方は図6-2-7のとおりである。
- ③単粒子実水分のばらつきを考慮して平均水分を求める検量線は図6-2-8に示すとおりであり、水分計出力の平均値からの変換は換算表を用いる。
- ④水分の高い子実が含まれている場合は単粒水分のばらつきが大きいので50粒程度測定するのが望ましい。センサー先端は針状なので大豆に刺す時は注意して行うこと、測定の後にはセンサー先端の汚れを取ることに留意する。

(3) 茎水分の簡易測定法の検討

水分計の出力値と茎水分との関係は茎の状態によって異なり、図6-2-9に示すように茶色く変色し木化した茎では一定の傾向が見られるが、直線的に変化するの水分計出力値で22程度、茎水分で30%程度までであった。木化する前の黄色く変化した茎等では水分計出力値が20～23程度、茎水分が30～70%程度で相関は見られなかった。青立ち茎については、茎水分はほぼ一定で70%前後であり、水分計出力値は黄化茎と同様で20～23程度であった。茎水分は70%程度が上限と考えられ、水分計を用いた茎1本毎の水分の推定は難しいと考えられた。

4) 摘要

しわ粒は調製・選別段階では取り除くことが難しく、栽培から収穫に至る過程でしわ粒の発生を防止する必要があり、収穫適期となったら速やかに刈り取るのが望ましい。そこで指標となる子実水分と茎水分を把握する技術とコンバイン収穫可能な条件を検討した。その結果、農産加工品等用水分計を用いた子実水分の測定方法を明らかにした。また、子実・茎水分と収穫損失や子実の汚損・損傷との関係から成熟期以降に茎水分60%以下、子実水分22%程度以下になったら速やかに収穫するのが望ましいと考えられた。

第7章 しわ粒発生防止技術の現地実証

1. 新潟県における現地実証

○服部 誠¹・佐藤 徹¹・南雲芳文¹・樋口泰浩¹・市川岳史²・田村隆夫³

(¹新潟県農総研 作物研 ²新潟県新津農業普及指導センター ³新潟県農総研 高農技)

1) はじめに

新潟県産タイズの主要な生産現場である重粘土地帯において、しわ粒の発生を低減させるため、畝立て播種による初期の湿害軽減と発芽・苗立ちの安定化技術、窒素追肥等の肥培管理技術、しわ粒発生抑制のための適期コンバイン収穫技術など、近年、新たに得られた成果から現地で実践可能な技術を導入した実証試験により、しわ粒発生防止技術体系の確立を試みた。

2) 材料と方法

新潟県長岡市七日市地区において、1筆1haの水田転換畑（前作水稻・転換1年目・細粒グライ土）でタイズの栽培試験を行った。供試品種は「エンレイ」である。試験は2005年と2006年に実施し、しわ粒発生抑制のための栽培技術を導入した実証区と従来の栽培体系である慣行区の比較試験を行った。

2005年は畝立て播種+LPS区として、耕うん前にホウ素入り資材（ボロン苦土重焼燐：燐酸35%、マグネシウム4.5%、ホウ素1%）を10aあたり20kg投入し、耕うん同時畝立て播種機（北陸研究センター開発）を用いて播種を行い、2回目の培土時にシグモイド型被覆尿素肥料（LPコートS60）を窒素成分で10aあたり6kgを追肥した。慣行区は耕起後に畝を立てない平畝播種を行い、追肥は施用しなかった。その他の耕種概要は両区とも共通であり、石灰質資材（マグクリーン）を10aあたり60kg、基肥として10aあたり各成分で窒素1.6kg、燐酸6kg、加里8kgを全層施用した。播種は5月23日で条間は75cmとした。また、適期に2回の培土を実施した。収穫はしわ粒発生低減のため、両区とも従来のコンバイン収穫時期より5日程度早い成熟期頃に2m×3条（4.5㎡）の坪刈りを行い、ハウス内にて乾燥後、脱穀・風選して調査用の子実サンプルを得た。

2006年は、2005年と同様に畝立て播種+LPS区と慣行区を設けた。さらに、畝立て播種区として、耕うん同時畝立て播種機を用いた播種を実施し、追肥を施用しない区も設けた。その他の耕種概要は各区とも共通で、石灰質資材（マグクリーン）を10aあたり60kg、基肥は10aあたり各成分で窒素3.2kg、燐酸12kg、加里16kgを全層施用した。播種は畝立て播種+LPS区と畝立て播種区は6月1日、慣行区は1日早い5月31日であった。培土は適期に2回実施し、慣行区のみ8月4日に3回目の培土を実施した。坪刈りによる収量調査の他に収穫時期の違いがしわ粒の発生に与える影響を調査するため、軸流式タイズ専用コンバイン（K社製ARH380）を用い、畝立て播種+LPS区および慣行区において、成熟期（10月12日）とその4日後（10月16日）の2時期で収穫試験を行った。

調査項目は、生育、収量、子実品質に加え、茎および子実水分、落葉速度である。ちりめんじわ

粒は限界基準品を越えるもの、亀甲じわ粒は発生の認められるものをすべて被害粒とした。茎水分はコンバインの排莖口から出た主莖を回収し、105℃絶乾法で調査した。子実水分はコンバイン収穫直後の子実を静岡製機単粒水分計CTR100Dを用いて調査し、平均値を子実水分とした。子実品質は坪刈り子実サンプルおよびコンバイン収穫子実サンプルとも約15%まで乾燥した後に調査した。落葉速度として2006年に各試験区2反復の調査を行った。黄葉期と落葉期の主莖残葉数を調査1ヶ所につき10株調査し、1日当たりの落葉数を示した。成熟期には落葉速度の調査株を含む、坪刈り子実サンプルを用いてしわ粒率と落葉速度との関係を調査した。

3) 結果と考察

(1) 生育及び収量

出芽・苗立ちは兩年とも全般に良好であった。2005年は周期的な降雨が見られ、過湿や乾燥の害を受けなかったこともあり、表7-1-1に示すように、畝立て播種+LPS区および慣行区の両区とも生育は良好で、生育及び収量の各調査項目に大きな差は認められなかった。2006年は播種後に乾燥が続いたことや梅雨入り後に降水量が多かったことから前年に比べて全般に生育が劣ったが、慣行区に比べて畝立て播種区では有意に主莖長が長くなり、畝立て播種+LPS区ではさらに主莖長が伸長した。

2006年の子実重は慣行区に比べて畝立て播種区で高まり、さらに畝立て播種+LPS区では慣行区よりも有意に高まった。

耕うん同時畝立て播種を行うことにより初期の湿害が回避され、発芽が安定し、初期生育が良好となり、収量増加や大粒割合の増加が認められている⁽³⁾。また、培土時追肥では施用後一定期間溶出が抑制される60日タイプのシグモイド型被覆尿素肥料の施用による増収が報告されているが⁽⁸⁾、追肥による増収効果は収量水準が高い場合には効果を示さないこともある⁽¹⁾。2005年は栽培期間を通じて生育は順調に推移し、慣行区の収量水準はかなり高く、耕うん同時畝立て播種や追肥の効果が現れなかったものと考えられた。一方、2006年には、播種後の乾燥により全般的に生育が悪く、梅雨時も降水量が多かったことから、耕うん同時畝立て播種の効果が現れ、また、前年に比べて慣行区の収量水準も低かったことから追肥の効果が現れたものと考えられた。

(2) しわ粒発生率

しわ粒は子実の臍の反対側が細かく波状となるちりめんじわと種皮が亀甲状に隆起する亀甲じわに大別される⁽⁴⁾。それぞれしわ粒の種類別に発生粒率の検討を行った。

表7-1-2に示すように、ちりめんじわについて、2005年のちりめんじわ発生粒率は各区間に有意

表 7-1-1 成熟期の生育及び収量

試験年度	試験区	主莖長 (cm)	莖太 (mm)	主莖節数 (/本)	分枝数 (/本)	有効莢数 (莢/m ²)	子実重 (g/m ²)	百粒重 (g)
2005	畝立て播種+LPS追肥	73	8.7	16.1	3.3	695	42.0	33.5
	慣行(平播、追肥なし)	73	9.1	16.7	4.1	681	42.3	34.0
	分散分析	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
2006	畝立て播種+LPS追肥	61a	7.8	14.2	2.5	674	42.3a	30.7
	畝立て播種(追肥なし)	55a	7.5	13.8	2.4	681	38.6ab	30.1
	慣行(平播、追肥なし)	46b	6.6	13.7	1.8	643	34.9b	29.8
	分散分析	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.

注1)*,**はそれぞれ分散分析で5%,1%で有意差あり,n.s.は有意差無しを示す。

注2) 異英文字間はTukeyの多重比較で有意差あり。

な差は認められなかったが、2006年は慣行区に比べて、畝立て播種を行った実証区では発生粒率が低下する傾向が見られ、畝立て播種に追肥を加えることで有意にちりめんじわ粒率が低下した。また、図7-1-1に2006年の落葉速度とちりめんじわ粒の発生粒率との関係を示した。落葉速度とちりめんじわ粒率との間に正の相関が認められ、落葉速度が大きいとちりめんじわ粒率が高まる傾向が見られた。

ちりめんじわ粒の発生を低減させるには、作物体の老化を抑制し、子実肥大盛期頃の作物体の栄養状態を改善することが有効とされ、その方法として、培土時のシグモイド型被覆尿素肥料の追肥や畝立て播種等の土壌環境の改善等が挙げられている⁽⁷⁾。落葉処理により落葉を早めた場合にしわ粒が増加することも報告されている⁽⁹⁾。2005年の生育は、栽培期間を通じて良好であり、ちりめんじわの発生は両区とも極めて少なかったが、2006年には畝立て播種や追肥の効果が生育や収量に現れており、作物体の栄養状態が良好であったため、ちりめんじわが減少したものと思われた。落葉の進展が早まらないように作物体の栄養状態を最後まで高く維持することがちりめんじわの発生抑制には重要と思われた。

亀甲じわについて、表7-1-2に示すように、2005年は畝立て播種+LPS区では慣行区に比べて亀甲じわ発生粒率は少ないものの有意差は認められなかった。2006年は慣行区に比べて、畝立て播

表7-1-2 しわ粒発生率

試験年度	試験区	ちりめん (%)	亀甲 (%)	計 (%)
2005	畝立て播種+LPS追肥	0.9	9.9	10.9
	慣行(平播、追肥なし)	2.0	15.2	17.0
	分散分析	n.s.	n.s.	n.s.
2006	畝立て播種+LPS追肥	3.8a	3.0ab	6.8a
	畝立て播種(追肥なし)	6.0ab	2.5a	8.5a
	慣行(平播、追肥なし)	12.2b	4.7b	16.9b
	分散分析	*	*	**

注1)*,**はそれぞれ分散分析で5%,1%で有意差あり,n.s.は有意差無しを示す。

注2) 異英文字間はTukeyの多重比較で有意差あり。

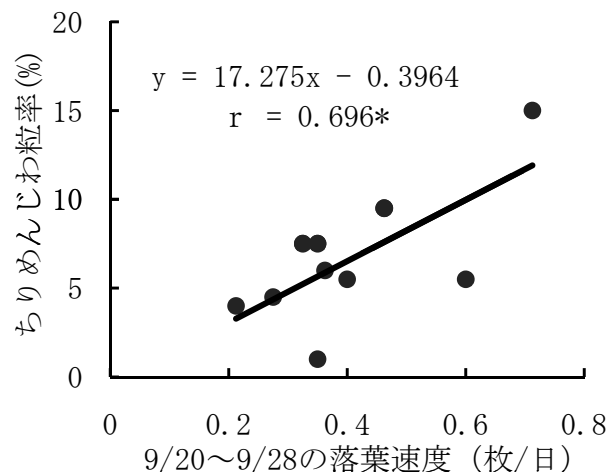


図7-1-1 落葉速度とちりめんじわの関係 (2006年)

種区や畝立て播種+LPS区で発生が低下する傾向が見られ、畝立て播種区では慣行区よりも有意に亀甲じわ粒率が低下したが、亀甲じわの発生粒率は各区とも少なかった。そのため、畝立て播種や追肥が亀甲じわを低減させる効果については判然としなかったが、第2章において亀甲じわは成熟した子実が乾湿を繰り返すことによって増加し、圃場では収穫が遅れることで発生が多くなるとされることから、畝立て播種や追肥が亀甲じわの発生に与える影響は小さいと考えられた。

(3) 収穫時期がしわ粒発生に及ぼす影響

亀甲じわは成熟期頃から急激に発生し、ちりめんじわは子実の乾燥収縮に伴って成熟期の15日前頃から発生が始まる⁽²⁾。しかし、従来から新潟県ではコンバイン収穫の適期として、茎水分50%以下、成熟期後5日頃からとしている⁽⁵⁾。また、損傷粒を考えた場合、穀粒水分が15~18%程度になってからの収穫が望ましいとされている⁽⁶⁾。そのためコンバイン収穫の開始時期は、しわ粒の発生状況に加え、収穫時の茎水分と子実水分、さらに損傷粒や汚粒の発生状況を総合的に考慮して決定する必要がある。

軸流式タイズ専用コンバインを用いた収穫時期の違いによる亀甲じわの低減効果を表7-1-3に示す。ちりめんじわと亀甲じわ粒はともに従来の刈り取り時期よりも早い成熟期頃に刈り取ることにより減少し、特に亀甲じわでは10ポイント以上の低下が認められた。また、コンバイン収穫時の茎水分はやや高かったが、損傷粒や汚粒の発生を少なく収穫することが可能であった。

軸流式タイズ専用コンバインは、直流式に比べて汚粒の発生が少なく、従来の収穫時期より早い成熟期頃から収穫が可能であると考えられ、しわ粒の発生低減に有効であった。

表 7-1-3 栽培法及び収穫時期としわ粒比率 (2006年)

試験区	収穫日	茎水分 (%)	子実水分 (%)	ちりめん (%)	亀甲 (%)	損傷粒 (%)	汚れ指数
畝立て播種+LPS追肥	10月12日	65.2	18.1(20.7)	3.8	1.9	0.12	0.11
	10月16日	60.0	15.4(16.5)	9.9	13.4	0.07	0.11
慣行(平播、追肥なし)	10月12日	66.3	17.7(19.5)	8.7	2.9	0.09	0.08
	10月16日	56.3	14.7(17.0)	18.1	13.7	0.02	0.04

注)コンバイン収穫による結果.子実水分の()は収穫直前の水分.

4) 摘要

畝立て播種やシグモイド型被覆尿素肥料の追肥により、生育や栄養状態が改善され、成熟後半の落葉速度が遅くなり、ちりめんじわ粒の発生を軽減できると考えられた。また、亀甲じわ粒は従来よりも早い時期に刈り取ることににより、発生を軽減できると考えられた。

5) 引用文献

1. 服部誠・藤田与一・佐藤昭彦・廣川雄一・樋口泰浩・南雲芳文・土田徹・佐藤徹・阿部栄登 (2010) ダイズ「エンレイ」を多収型生育に導くための栽培管理技術の導入効果. 平成21年度関東東北陸農業研究成果情報
2. 服部誠・佐藤徹・市川岳史・田村隆夫 (2007) 自然条件下におけるダイズしわ粒の発生要因に関する研究. 日本作物学会紀事, 76 (別2), 134-135
3. 細川寿 (2006) 湿害回避のためのタイズ耕うん同時畝立て作業技術. 農業技術, 60 (6), 254-257
4. 市川岳史・服部誠・浅野英明・田村良浩 (2005) 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. 北陸作物学会報, 40, 128-130

5. 新潟県農林水産部 (2001) タイズ栽培の手引き (改訂), 47-51
6. 杉山隆夫(2003)“収穫機”. わが国における食用マメ類の研究, 中央農業総合研究センター, 461-466
7. 田淵公清・関口哲生・小原洋・大野智史・亀川健一・新良力也・田村隆夫・佐藤徹・服部誠・南雲芳文・土田徹・樋口泰浩・市川岳史・細川吉裕・寺西敏子・荒井清完・小池潤・板谷聡・岡山清司・沼田益朗・鍋島弘明・守田和弘・高橋渉・吉田稔・金田宏・北倉芳忠・笈田豊彦・井上健一・大山卓爾・大竹憲邦 (2007) 北陸地域に多発するタイズしわ粒の発生要因と低減化技術. 平成 18 年度関東東海北陸農業研究成果情報
8. 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. 日本土壌肥料学雑誌, 74 (1), 55-60
9. 田村良浩・佐藤孝文・服部誠 (2003) タイズの落葉処理が莢先熟の発生及び生育・収量・品質に及ぼす影響. 北陸作物学会報, (38), 55-57

2. 富山県における現地実証

○小池 潤¹・板谷 聡²・沼田益朗³

(¹ 富山県庁農業技術課 ² 富山県高岡農林振興センター ³ 富山県砺波農林振興センター)

1) はじめに

富山県では、土地利用型の主要作物としてダイズ（品種「エンレイ」）の生産振興を図っている。しかし、最近ではダイズ収量の低下やしわ粒の混入による検査等級の格下げが大きな問題となっており、その要因のひとつとして富山県に広く分布している地力が低い砂質浅耕土におけるダイズ作付の繰り返しが地力窒素を減耗させていることが考えられる⁽¹⁾。

ダイズの収量については、根粒菌の働きが弱まる生育後半の窒素を何らかの形で補うことで収量が高めることが可能である⁽²⁾とされており、土壌からの窒素供給力の増大⁽³⁾や深層施肥、肥効調節型肥料^(4, 5)の導入により収量増が認められるなど、多くの知見が明らかにされている。

しかしながら、しわ粒に関する研究は、最近になりようやく取り組まれた状況で、発生メカニズムをはじめとして未解明な面が多く、知見もごく限られている。

このような状況の中で、開花期から落葉期までの期間が長く枯れ上がりが遅いほど、ちりめんじわ粒の発生が抑制されることが確認⁽⁶⁾されており、子実が形成される生育後半の栄養状態が何らかの形で関わっていることが考えられる。

ここでは、現地で実践可能な技術として緑肥（ヘアリーベッチ）を導入し、生育後半の栄養状態の改善によるしわ粒発生抑制の効果の検証を行った。

2) 材料および方法

(1) 試験圃場および土壌条件

2005年は富山市石田地区、2006年は富山市吉岡地区で行った。石田圃場、吉岡圃場ともに中粗粒灰色低地土であり、富山県に広く分布する土壌である。また、石田圃場、吉岡圃場ともに作土の土性はSLである。

(2) 処理

ダイズへの窒素供給を目的とするため、冬作緑肥であるヘアリーベッチの栽培を行った。石田圃場については2004年10月、吉岡圃場については2005年10月に播種を行った。播種量は4 g/m²とし、施肥は行わなかった。

石田圃場の処理区はヘアリーベッチ作付区に対し、無作付を対照区とした。また、吉岡圃場の処理区はヘアリーベッチ作付区に対し、対照区としてヘアリーベッチの地上部を刈り取り圃場外に持ち出した場所とした。これは、当初の計画では、2006年についても石田地区でヘアリーベッチの効果を検証することとなっていたが、2005年12月以降の大雪の影響で十分な生育が確保されなかったことから、急遽、吉岡地区のヘアリーベッチ圃場としたためである。

石田圃場のヘアリーベッチは2005年5月23日にフレルモアで細断したのち、5月25日に土壌に

鋤き込みを行った。また、吉岡圃場では2006年5月31日に鋤き込みを行った。ヘアリーベッチ鋤き込み量は生草重1200 g/m²、乾物重では170 g/m²であった。鋤き込み窒素量はサンプリングしたヘアリーベッチの窒素濃度分析結果から6.2 g/m²程度と推計された。

吉岡圃場のヘアリーベッチ鋤き込み量は生草重2700 g/m²、乾物重では460 g/m²であった。鋤き込み窒素量はサンプリングしたヘアリーベッチの窒素濃度分析結果から17.1 g/m²程度と推計された。

(3) ダイズの耕種概要

石田圃場の播種は2005年5月25日、吉岡圃場の播種は2006年5月31日に耕うん同時畦立て播種機により行った。ダイズの播種量はいずれの圃場も4 g/m²程度であり、施肥は対照区で2 gN/m²、ヘアリーベッチ作付区は無肥料で行った。

(4) 調査方法

a) 生育調査及び窒素吸収量

各処理区毎に10株の調査区を3箇所設け、開花期および子実肥大期に主茎長、一次分枝数、総節数を調査した。また、調査区以外の場所において10株程度の抜株を行い、80℃48時間程度通風乾燥させたのち乾物重を測定、その後ウィレー式粉砕器により粉砕したサンプル0.5g程度をケルダール分解し、窒素含有量から窒素吸収量を推計した。

b) 残葉数調査

黄葉期(2005年:9月20日、2006年:9月15日)に各処理区ごとに100株の残葉数を調査した。ダイズの葉は葉柄の先の3片の小葉からなる複葉で構成されているが、小葉が1枚以上葉柄に残っていた場合に1としてカウントした。ここでは、生育後半の活力維持を示す指標として枯れ上がりの遅延度合に注目し落葉期前に残った葉の枚数(残葉数)を用いた。

c) しわ粒調査

各処理区の生育調査株を成熟期に抜き取り、子実のしわ粒をカウントした。

3) 結果

(1) 子実肥大期までの生育

2005年における緑肥鋤込区の主茎長は表7-2-1に示すとおり、開花期で53.1 cmであったのに対し、対照区の主茎長は55.6 cmとなり、主茎長はやや短くなった。しかし、一次分枝数、乾物重、窒素吸収量など生育量を示す多くの項目において緑肥鋤込区が対照区に比べ多くなる傾向が認められた。2006年においては、主茎長を含めた全ての項目において緑肥鋤込区が対照区を上回った。また、子実肥大期においても、開花期同様、緑肥鋤込区が対照区に比べ高くなる傾向が認められた。

表 7-2-1 開花期及び最大繁茂期における生育量

	開花期				最大繁茂期			
	主茎長 (cm)	一次分枝数 (本/m ²)	乾物重 (g/m ²)	窒素吸収量 (g/m ²)	主茎長 (cm)	一次分枝数 (本/m ²)	乾物重 (g/m ²)	窒素吸収量 (g/m ²)
2005年 緑肥鋤込区	53.1	20.0	153	4.5	66.3	55.4	778	25.3
対照区	55.6	18.3	135	4.0	66.6	47.5	685	23.8
2006年 緑肥鋤込区	48.0	12.4	146	4.3	52.3	30.0	605	19.3
対照区	44.6	6.2	119	3.0	51.5	15.4	486	14.6

(2) 残葉数

黄葉期における残葉数を図7-2-1に示した。2005年、2006年ともに緑肥鋤込区の残葉数が対照区のそれを上回った。

残葉数は生育後半の活力維持を示す指標として、枯れ上がりの遅延度合に注目していることから、残葉数が多いほど生育後半の活力が維持されていることになり、対照区に比べ緑肥鋤込区で活力が維持されているものと推測された。

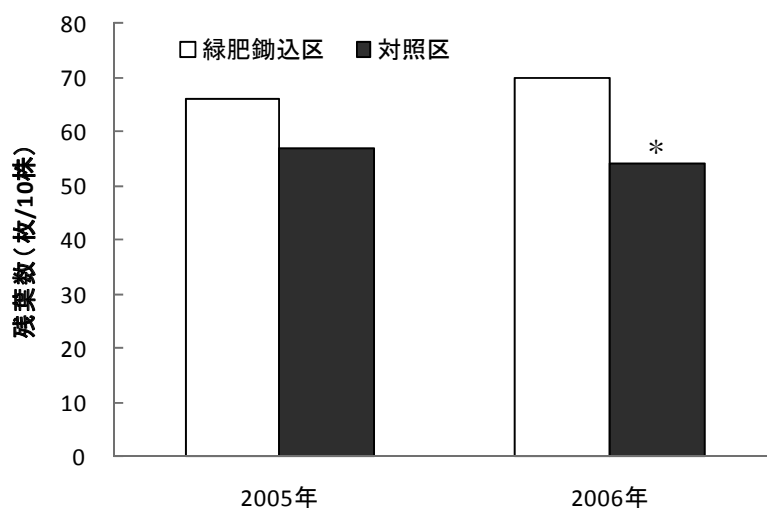


図 7-2-1 黄葉期における残葉数

注) *は5%水準で対照区に対して有意差があることを示す

(3) 収量構成要素及び子実重

表 7-2-2 に示すとおり、2005 年における子実重は対照区に比べ緑肥鋤込区で同等以上となった。2006 年の子実重は緑肥鋤込区で対照区に比べ有意に高い値となった。

収量構成要素を比較すると、一莢内胚珠数、捨実歩合、百粒重に差は認められず、緑肥鋤込区の着莢数が対照区に比べ有意に多くなっていたことによるものであった。

表 7-2-2 子実重及び収量構成要素

	着莢数 (莢 / m ²)	一莢内胚珠数	捨実歩合 (%)	百粒重 (g)	子実重 (g / m ²)
2005年 緑肥鋤込区	819	2.04	84.6	30.0	427
2005年 対照区	756	2.05	86.1	29.7	397
2006年 緑肥鋤込区	624 **	1.80	96.4	27.3	296 **
2006年 対照区	482	1.74	96.8	28.3	229

注) **は1%水準で対照区に対し有意差があることを示す

(4) 窒素吸収量の推移

図 7-2-2 に示すとおり、2005 年、2006 年ともに、対照区に比べ緑肥鋤込区で窒素吸収量が大きく推移していた。特に開花期から子実肥大期にかけての窒素吸収増加量は 2005 年の緑肥鋤込区で 20.8 g/m²、対照区で 19.8 g/m²、2006 年の緑肥鋤込区で 15.0 g/m²、対照区で 11.6 g/m² といずれも緑肥鋤込区で高くなる傾向がみとめられた。また、子実肥大期から成熟期にかけても、緑肥鋤込区が対照区に比べ高く維持されていた。

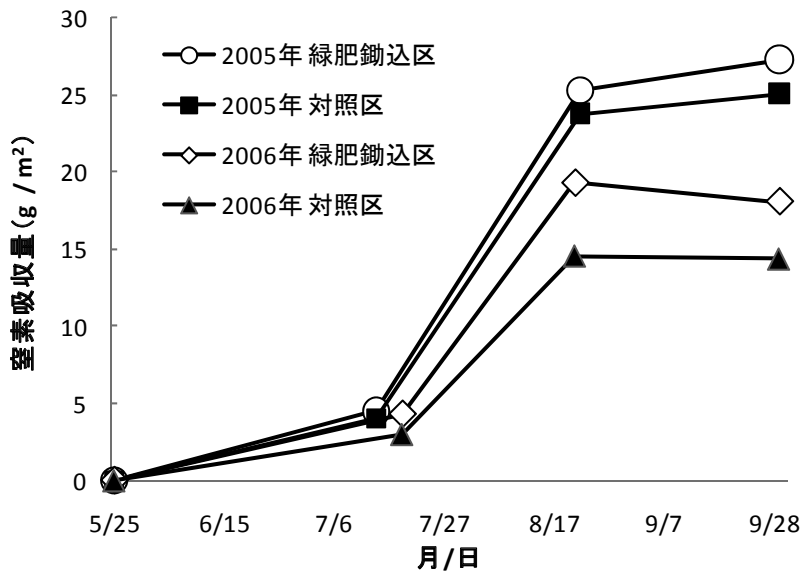


図 7-2-2 窒素吸収量の推移

(5) 緑肥鋤込による窒素発現量

図 7-2-3 に示すとおり、ヘアリーベッチ添加土壌からの硝酸態窒素発現量は 0～4 週で 43 mg/kg であり、ヘアリーベッチ無添加土壌の 10 mg/kg を大きく上回った。また、生育後半に対応する 4～10 週の発現量もヘアリーベッチ添加土壌が 88 mg/kg、ヘアリーベッチ無添加土壌が 59 mg/kg であり、生育後半にかけてもヘアリーベッチからの窒素供給が持続していることが確認された。

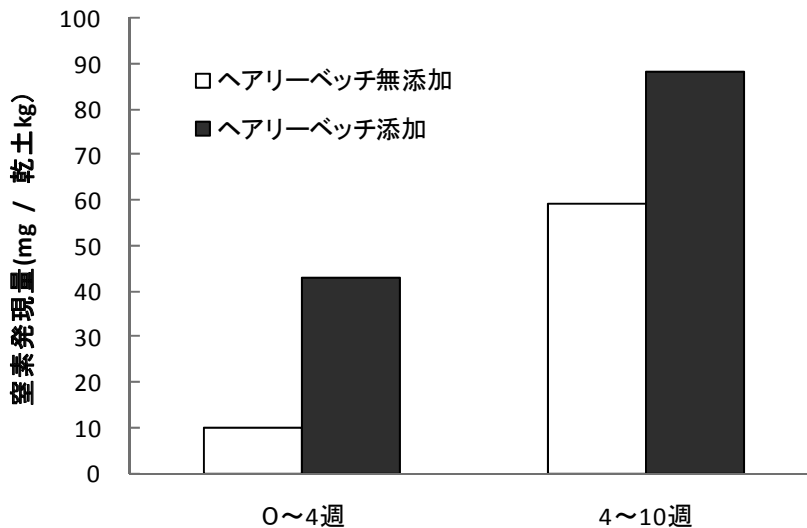


図 7-2-3 ヘアリーベッチ添加による硝酸態窒素の発現量の変化

注) 富山市吉岡ほ場の土壌を用い、ヘアリーベッチ添加処理は生土 100g に対し、ヘアリーベッチ 2g (fresh weight) の割合で添加し、恒温器にて 30℃で畑培養したもの

(6) しわ粒率

表 7-2-3 に示すとおり、2005 年、2006 年ともに対照区に比べ緑肥鋤込区で低くなる傾向がみとめられた。

表 7-2-3 成熟期におけるしわ粒率

		しわ粒率 (%)		
		全体	ちりめん	亀甲
2005年	緑肥鋤込区	23.6	20.9	6.4
	対照区	33.5	30.6	5.4
2006年	緑肥鋤込区	37.9	28.7 *	14.0
	対照区	43.2	38.2	10.0

注) *は5%水準で対照区に対して有意差があることを示す

4) 考察

本試験の結果から、ダイズ作付前のヘアリーベッチ鋤込によってダイズの生育が良好になり、収量の増加も確認された。基肥窒素が過剰な場合、ダイズに着生する根粒菌が少なくなり、ダイズの生育が悪くなる事例がみとめられるが、ヘアリーベッチ鋤込によってダイズの生育が抑制されることはなかった。本試験では根粒の調査を行っていないため、窒素固定量が減少したかは確認できないが、開花期、最大繁茂期、成熟期を通して、ダイズの窒素吸収量が対照区より高く推移していることから、トータルの窒素供給量は緑肥鋤込により高くなり、その結果、生育が良好になり収量が増加したものと考えられた。

また、ヘアリーベッチはCN比が10程度であり、土壤中ですばやく無機化されダイズの生育初期にのみ窒素供給が行われるのではないかと推測していたが、インキュベーション試験の結果からは緑肥からの窒素無機化はダイズ生育後半時期にも行われており、ダイズの生育後半の窒素栄養凋落を防ぎ、老化の進行を抑制したものと推察された。このことは残葉数が対照区に比べて多くなったことから裏付けされた。

5) 摘要

現地で実践可能な技術として緑肥（ヘアリーベッチ）を導入し、生育後半の栄養状態の改善によるしわ粒発生抑制の効果の検証を行った。その結果、ヘアリーベッチ鋤込によりダイズの生育初期のみならず、生育後半の窒素供給量を高めダイズの窒素栄養凋落を防ぎ、その結果、ちりめんじわ粒率が減少したものと考えられた。

6) 引用文献

1. 小池潤・伊藤純雄・田村有希博（1996）土壤の畑培養乾土効果を指標とした中粗粒灰色低地土水田の適正な輪換利用．北陸農業研究成果情報，12，48-49
2. 星忍・石塚潤爾・仁紫宏保（1978）窒素質肥料の追肥が大豆の生育と子実生産に及ぼす影響．北農試研報，122，13-54
3. 小池潤・岡山清司・八木麻子・山田宗孝（2005）長期輪換ほ場の堆肥連用による土壤肥沃度の増強．富山県農林水産部平成17年度農業試験研究の成果と普及，27-28
4. 高橋能彦・地主俊昭・中野富夫・大山卓爾（1993）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．農業及び園芸，68，282-288
5. 大山卓爾・大竹憲邦・地主俊昭（1994）緩効性窒素肥料（被覆尿素）の深層施用がダイズの成分組成に及ぼす影響．土肥誌，65，41-47
6. 沼田益朗・岡山清司・小池潤（2005）大豆しわ粒発生に及ぼす生育後半における窒素吸収の効果．富山県農林水産部平成17年度農業試験研究の成果と普及，37-38

3. 福井県における現地実証

○北倉芳忠¹・井上健一²・笈田豊彦²

(¹ 福井県坂井農林総合事務所 ² 福井県農業試験場)

1) はじめに

有原⁽¹⁾が指摘するように、北陸南部に位置する福井県においても、ダイズ生育収量の不安定性の発生要因として発芽および初期生育の良否が大きく影響している。それは耕うん精度（耕深、砕土率、前作オオムギのワラの埋没等）による面が大きいことから、ロータリの改良を中心に耕うん播種作業の開発を目指してきた（第5章-2.）。ここでは、その耕うん精度の実用性を検証すると同時に、子実重や子実品質、特にしわ粒の発生に及ぼす影響を調査することを目的として実施した現地実証の結果を報告する。

2) 材料と方法

現地実証試験は福井県内の高志、坂井、丹生地区において、2005、2006年に4ヶ所ずつで行った。いずれもオオムギ「ファイバースノウ」収穫後の播種で、供試品種は「エンレイ」である。

それぞれの圃場において、図7-3-1に示した改良ロータリ（製品名：ツーウェイローター）体系（改良区）と比較用の慣行ロータリ体系（慣行区）を設けた。現地における多くの耕うん播種作業では、一度ロータリ耕うんした後、ロータリハローに播種機を装着して播種作業を行っている。これに対し、改良区では1回で耕うん播種作業を行った。なお、オオムギワラは耕うん播種作業に支障があるとして焼却するところも多い（試験当時で60%）が、本実証試験では焼却することなく、自脱型コンバインによるカット後、排出したままの状態で行う耕うん播種した。

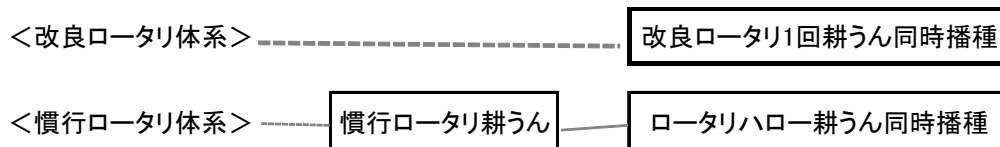


図7-3-1 耕うん・播種作業体系

供試圃場の区画は縦80m～100mで、試験区として10a～20aの隣接した両区を設けることを基本としたが、特に改良区の作業自体は地元の意向に応じて3haほどに及んだ場合もある。圃場ごとの作業条件は表7-3-1に示した。耕うん播種作業以外の管理は両体系とも共通としてそれぞれ地元の慣行に委ねた。

圃場作業条件として、改良区における播種時の土壌の含水比およびムギワラ量、作業精度に関しては作業速度、耕深、砕土率を常法により計測した。苗立ち率は播種約2週間後の苗立ち数と播種量から求めた。坪刈りにより収量を求め、そのサンプルからしわ粒の発生程度を調査した。しわ粒は（独）作物研究所の分類基準による中程度以上の粒数割合とした。地元農家の反応は試験前後の打ち合わせと作業や観察の際の意見交換により随時聞き取った。

表 7-3-1 ダイズ播種作業比較実証の作業条件（大麦収穫後）

年度	地区	土性	試験区	播種日	トラクタ、作業機など	
2005	A	L	改良区	6/9		トラクタ45PS+改良ロータリ1.8m2条
			慣行区	6/7	トラクタ43PS+正転ロータリ1.8m	トラクタ50PS+ロータリハロ-2.8m4条
	N	LiC	改良区	6/9		トラクタ45PS+改良ロータリ1.8m2条
			慣行区	6/9	トラクタ40PS+正転ロータリ1.8m	トラクタ55PS+ロータリハロ-2.6m4条
	F	LiC	改良区	6/8		トラクタ45PS+改良ロータリ1.8m2条
			慣行区	6/8	トラクタ43PS+正転ロータリ1.8m	トラクタ53PS+逆転ロータリ1.8m3条
G	SiC	改良区	6/7		トラクタ45PS+改良ロータリ1.8m2条	
		慣行区	6/7	トラクタ28PS+正転ロータリ1.6m	トラクタ28PS+正転ロータリ1.6m2条	
2006	A	L	改良区	6/13		トラクタ64PS+改良ロータリ2.2m3条
			慣行区	6/14	トラクタ50PS+正転ロータリ2.0m	トラクタ50PS+ロータリハロ-2.8m4条
	I	LiC	改良区	6/12		トラクタ64PS+改良ロータリ2.2m3条
			慣行区	6/11	トラクタ46PS+正転ロータリ1.8m	トラクタ46PS+ロータリハロ-2.8m4条
	O	SiC	改良区	6/14		トラクタ64PS+改良ロータリ2.2m3条
			慣行区	6/17	トラクタ64PS+正転ロータリ2.2m	トラクタ64PS+正転ロータリ2.2m3条
F	LiC	改良区	6/12		トラクタ64PS+改良ロータリ2.2m3条	
		慣行区	6/12	トラクタ43PS+正転ロータリ1.8m	トラクタ53PS+逆転ロータリ1.8m3条	

3) 結果と考察

作業精度とダイズ苗立ち率を表 7-3-2 に示した。改良区では耕深 15 cm が確保され、砕土率とムギワラの埋没率、そして苗立ち率も慣行区を上回った。しかし播種作業速度は、改良区 0.5 m/s 程度で、慣行区 0.57 m/s 程度に対しやや遅かった。これは慣行区が予め耕うんしてあるところを再び耕うん砕土しながら播種するのに対し、改良区の作業負荷は大きく、その中で十分な作業精度を確保しようとしたことによる。慣行区において改良区並の精度を確保するためには、作業速度を半分程度まで落とす必要があったし、仮に改良区の耕うん精度を厳密に慣行並みに合わせようとするれば、速度は改良区に遜色なかったであろうと思われる。

表 7-3-2 作業精度と苗立ち

年度	試験区	作業速度 m/s		耕深(範囲) cm	砕土率 %	ムギワラ 露出率%	苗立ち率 %
		耕うん	耕うん播種				
2005	改良区		0.48	15	52.5	7.9	87.0
	慣行区	0.45	0.57	12	37.4	14.5	59.2
2006	改良区		0.52	14.9(14.5~15)	54.7	7.6	85.4
	慣行区	0.43	0.56	12.4(12~12.5)	49.5	14.1	79.9

注) 2005, 2006 年とも 4 地区の平均値
改良区の播種時の土壌含水率は 2005 年: 34.6 ~ 42.9%, 2006 年: 42.2 ~ 50.5%

改良ロータリ体系は事前の耕うん作業まで合算すれば大幅に労力が軽減される。耕うん 1 回分の作業が省略されれば、標準作業料金からは 1ha 当たり 54,000 円の経費節減となる⁽²⁾。また、慣行ロータリ体系では、播種時に表面土壌が乾いてしまい、苗立ち率の差にはその影響も含まれている。逆に 1 度目の耕うん後、播種予定日までの間に降雨に遭えば播種作業自体ができなくなる危険もある(今回の実証試験の中ではそれほど大雨はなかった)。そのようなメリットは理解した上で、耕うん播種作業速度の若干の低下が受け入れられる範囲かどうかは課題であった。従来から逆転ロータリの耕うん精度、とりわけ表面砕土には定評があったが、福井県では新たな作業機購入ということ以上に、作業速度がネックとなってほとんど導入されてこなかった経緯がある。今回の作業体系は、逆転ロータリに比べれば明らかに作業速度も速く、生産者にも納得される性能であった。

表 7-3-3 に示すように、出芽以降の生育は、苗立ちを反映して栽植株数が多くなった。2005 年は 2006 年に比べれば小粒低収でしわ粒の多い年次であったが、両年とも改良区は慣行区に比べ、株数、百粒重ともに高まって増収し、しわ粒の発生率は低下した。ただし、例えば 2005 年の改良区のしわ粒発生率は 2006 年の慣行区よりも多いように、百粒重としわ粒発生率は両年の年次間差を超えるほどではなかった。なお、ここでのしわ粒とは、ほとんどがちりめんじわであった。

表 7-3-3 生育と収量品質

年度	試験区	生育中期				精子実重 kg/a	百粒重 g	しわ粒 発生率 %
		株数 本/m ²	草丈 cm	地上部重 g/m ²	根重 g/m ²			
2005	改良区	21.4	46.7	148	38.2	30.4	25.3	26.8
	慣行区	14.2	34.1	76	23.8	22.3	22.2	35.8
2006	改良区	17.5	60.1	—	—	33.6	30.0	7.4
	慣行区	14.1	45.8	—	—	29.2	28.9	15.2

注) 生育中期の調査時期は、2005 年 7 月 22 日、2006 年 8 月 17 日。両年とも 2 地区の平均値
収量品質は 4 地区の平均値

良好に出芽した改良区では、その後の生育も旺盛で、最終的な粒大やしわ粒発生率にも好ましい効果があることが実証された。慣行区の株数 14 本 / m² は、それぞれの個体が十分な生育量となれば必ずしも栽植密度が不足とは言えない水準と推察される。福井県の栽培基準⁽³⁾ から判断すると改良区の苗立ち数はいくぶん多めとみられることから、苗立ち数の確保による効果というより、スムーズに発芽苗立ちさせる圃場条件が最終的なしわ粒発生にまで影響することが再認識された。また、一部の地区では、播種後の降雨後に慣行区では土壌表面への滞水が見られたが改良区では表面滞水がなく、深耕には特に生育初期に種子近傍への滞水を防ぐ効果があると推察された。改良区において収量、品質とも良好な結果を得られたのは、それらの複合的な効果と考えられる。

しかしながら、しわ粒の発生程度については年次による影響の方が大きく、今後さらに発生機作の詳細な検討と、これに基づく作業体系の改善を図る必要がある。

改良ロータリを中心とした耕うん播種作業については、以上の実証試験を通して生産者の理解を得ることができ、平成 18 年 7 月から市販されることとなった。

4) 摘要

オオムギ後ダイズ栽培における改良ロータリによる 1 回耕うん播種作業体系について、慣行的な 2 回耕うん体系と対比しながら、2005 年、2006 年に現地計 8 ヶ所において実証試験を行った。耕深、砕土率、ムギワラの埋没で慣行ロータリ体系よりも良好な精度を示し、作業速度も同等だった。出芽も良く生育も旺盛となり増収し、しわ粒の発生も抑制できた。

5) 引用文献

1. 有原丈二 (2000) ダイズ安定多収の革新技術。農文協, 69-80
2. 福井県農作業標準料金設定指針 福井県農業会議
3. 麦・大豆・そば技術対策資料 (2009) 福井県農林水産部, 69

研究成果および研究発表一覧

(2004年4月から2010年7月まで)

1. 原著論文

- 1) Ohyama, T., K. Tewari, T. Suganuma, H. Fujikake, S. Abdel-Latif, N. Ohtake, K. Sueyoshi, T. Sato and Y. Takahashi (2004) Deep placement of N fertilizer promotes soybean growth and seed yield without depressing symbiotic nitrogen fixation. *Trends in Soil Science*, 3, 19-33
- 2) Ohtake, N., A. Takano, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, K. Sueyoshi and T. Ohyama (2004) Quantitative and isotopic analysis of amino acids, allantoin, and allantoic acid in soybeans by LC-MS using the atmospheric pressure chemical ionization method. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 50(2), 241-248
- 3) 大竹憲邦・岡野小百合・末吉邦・大山卓爾 (2004) ダイズ未熟子葉の試験管培養における培地成分が種子貯蔵タンパク質 β コングリシニンの β サブユニット mRNA 集積に及ぼす影響. 新潟大学農学部研究報告, 57(1), 41-45
- 4) 奈良吉主・関口哲生・中島秀治・田渕公清 (2004) 開花期前後の湿潤処理によるダイズの粒肥大盛期のミネラル元素吸収及び収量の品種間差. 新潟アグロノミー, 40, 36-44
- 5) Tewari, K., M. Onda, N. Sato, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2005) Comparison of the effects of application of deep placement of slow release N (Lime nitrogen and coated urea), P and K fertilizers on yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Bull. Facul. Agric. Niigata Univ.*, 58(1), 45-53
- 6) Tewari, K., M. Onda, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2005) ^{15}N Analysis of the promotive effect of deep placement of slow-release N fertilizers on growth and seed yield of soybean. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 51(6), 885-892
- 7) 市川岳史・服部 誠・浅野英明・田村良浩 (2005) 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. 北陸作物学会報, 40, 128-130
- 8) Tewari, K., M. Onda, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2006) Effects of deep placement of slow-release N fertilizer (Lime nitrogen), applied at different rates on growth, N_2 fixation and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *J. Agronomy & Crop Science*, 192, 417-426
- 9) Tewari, K., M. Onda, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi, Y. Nagumo, T. Tsuchida and T. Ohyama (2006) Comparison of the depth of placement of lime nitrogen on growth, N_2 fixation activity, seed yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) plants. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52, 453-463
- 10) 井上健一・高橋正樹 (2006) ダイズ子実肥大期の生育経過としわ粒発生率の関係. 北陸作物学会報, 41, 96-99
- 11) Tewari, K., T. Sato, M. Abiko, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi, Y. Nagumo, T. Tutida and T. Ohyama (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
- 12) 小原洋・関口哲生・大野智史 (2007) 2006年新潟県上越地域の大豆品質(しわ粒)と圃場・土壌条

件の関係．新潟アグノミー，43, 52-59

- 13) 関口哲生・小原洋・新良力也・亀川健一・田渕公清 (2008) ダイズ子実の縮緬じわ発生に及ぼす切要，摘莢処理の影響．日本土壤肥料学雑誌，79(1), 81-86
- 14) 南雲芳文・高橋洋介・藤原菜世・大山卓爾・高橋能彦 (2008) 転作野菜畑に深層施肥した被覆尿素的窒素動態．日本土壤肥料学雑誌，79(2), 183-187
- 15) 佐藤徹・服部誠・市川岳史・田村隆夫 (2008) ダイズの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．日本作物学会紀事，77(4), 457-460
- 16) 南雲芳文・佐藤徹・服部誠・土田徹・細川寿・高橋能彦・大山卓爾 (2010) 排水不良転換畑における畝立栽培およびシン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低下効果．日本土壤肥料学雑誌，81(4), 360-366

2. 研究成果情報

- 1) 田渕公清・関口哲生・小原洋・大野智史・亀川健一・新良力也・田村隆夫・佐藤徹・服部誠・南雲芳文・土田徹・樋口泰浩・市川岳史・細川吉裕・寺西敏子・荒井清完・小池潤・板谷聡・岡山清司・沼田益朗・鍋島弘明・守田和弘・高橋渉・吉田稔・金田宏・北倉芳忠・笈田豊彦・井上健一・大山卓爾・大竹憲邦 北陸地域に多発する大豆しわ粒の発生要因と低減化技術．平成 18 年度（関東東海北陸農業・北陸・水田作畑作，作物）[技術・普及]
- 2) 佐藤徹・服部誠・田村隆夫・市川岳史 子葉と種皮の乾湿からみた大豆亀甲じわ粒の発生機構と軽減技術．平成 18 年度（関東東海北陸農業・北陸・水田作畑作）[技術・普及]
- 3) 寺西敏子・荒井清完・金田宏・細川吉裕・吉田稔・鍋島弘明 大豆ちりめんじわ粒の発生からみた刈取開始時期の子実水分指標．平成 18 年度（関東東海北陸農業・北陸・水田作畑作，関東東海北陸農業・作業技術）[技術・普及]
- 4) 北倉芳忠・笈田豊彦・中嶋英裕・山本浩二・小橋工業株式会社 レーキ付正転ロータリを用いた大豆の耕うん同時播種による品質・収量向上．平成 18 年度（関東東海北陸農業・作業技術，関東東海北陸農業・北陸・水田作畑作）[技術・普及]
- 5) 荒井清完・細川吉裕・寺西敏子・金田宏・吉田稔・鍋島弘明 出芽期を多湿条件で経過した大豆の生育とちりめんじわ粒発生の特徴．平成 18 年度（関東東海北陸農業・北陸・水田作畑作）[技術・参考]
- 6) 笈田豊彦・北倉芳忠・井上健一 晩播大豆での狭畦栽培によるしわ粒の発生軽減．平成 18 年度（関東東海北陸農業・北陸・水田作畑作）[技術・参考]
- 7) 板谷聡・小池潤・沼田益朗・岡山清司 ヘアリーベッチ鋤込みによるダイズちりめんじわ粒発生軽減効果．平成 18 年度（関東東海北陸農業・北陸・生産環境）[技術・参考]
- 8) 樋口泰浩・権平正 大豆「エンレイ」子実水分の簡易測定法．平成 18 年度（関東東海北陸農業・作業技術）[技術・参考]
- 9) 関口哲生・小原洋・新良力也・亀川健一・大野智史・田渕公清 ダイズちりめんじわ発生条件の解明と石灰または微量要素施肥によるしわ粒発生率の軽減．平成 19 年度（関東東海北陸農業・北陸・生産環境，共通基盤・土壤肥料）[研究・参考]
- 10) 新潟県農業総合研究所基盤研究部 大豆「エンレイ」の子実水分の簡易測定法．平成 18 年度（新潟県農林水産業研究成果）[普及技術]
- 11) 新潟県農業総合研究所作物研究センター育種科・新潟県農業総合研究所 基盤研究部 大豆しわ粒の

- 発生軽減技術．平成19年度（新潟県農林水産業研究成果）〔普及技術〕
- 12) 新潟県農業総合研究所作物研究センター育種科・新潟県農業総合研究所 基盤研究部 子葉と種皮の乾湿からみた大豆亀甲じわ粒の発生機構．平成19年度（新潟県農林水産業研究成果）〔研究情報〕
- 13) 沼田益朗・岡山清司・小池潤 大豆しわ粒の発生に及ぼす生育後半における窒素吸収の効果．平成17年度（富山県研究成果）〔普及上参考となる成果〕
- 14) 板谷聡・沼田益朗・岡山清司・小池潤 ヘアリーベッチの鋤き込みが大豆の収量，ちりめんじわ粒発生に及ぼす効果．平成18年度（富山県研究成果）〔普及上参考となる成果〕
- 15) 北倉芳忠・笈田豊彦・中嶋英裕・山本浩 改良ロータリを用いた大豆の一発耕うん同時播種による品質・収量向上．平成19年度（福井県平成19年度研究成果情報）〔普及に移す技術〕

3. 口頭発表（講演要旨）

- 1) 市川岳史・服部 誠・浅野英明・田村良浩（2004）大豆しわ粒発生機構の解明 第1報 しわ粒の形態的特徴．北陸作物学会報（北陸作物学会第41回講演会），40（別号），26
- 2) 市川岳史・服部 誠・浅野英明・田村良浩（2004）大豆しわ粒発生機構の解明 第2報 登熟環境がしわ粒の発生に及ぼす影響．北陸作物学会報（北陸作物学会第41回講演会），40（別号），27
- 3) 高橋正樹・井上健一（2004）基肥位置がダイズの生育，収量および品質に与える影響．日本作物学会紀事（日本作物学会第217回講演会），73（別号1），76-77
- 4) 高橋正樹・井上健一（2004）耕耘方法がダイズの生育，収量および青立ち発生に与える影響．日本作物学会紀事（日本作物学会第218回講演会），73（別号2），162-163
- 5) 関口哲生・石山良・亀川健一・田渕公清（2004）大豆子実中のミネラル成分濃度と収量，外観品質との関係（2）．日本土壌肥料学会関東支部会，30
- 6) 関口哲生・中島秀治・亀川健一（2004）ケイ酸質肥料の施用が大豆作物体のミネラル元素濃度に及ぼす影響．日本土壌肥料学会，50，145
- 7) 大山卓爾・ティワリ カウサル・大竹憲邦・末吉邦・高橋能彦（2005）根粒の窒素固定と調和した緩効性窒素肥料深層施肥によるダイズの多収栽培．日本作物学会シンポジウム「ダイズ栽培，特に境界領域をかんがえる」日本作物学会紀事（日本作物学会第220回シンポジウム），74（別号2），372-377
- 8) 大竹憲邦・伊藤小百合・大友渉・楠佳輝・末吉邦・大山卓爾（2005）ダイズ種子貯蔵タンパク質の窒素応答性機構の解析．日本土壌肥料学会，51，88
- 9) Tewari, K.・遠田優・佐藤直美・伊藤小百合・藤掛浩行・大竹憲邦・末吉邦・高橋能彦・大山卓爾（2005）Comparison of deep placement of slow release fertilizer(lime nitrogen) on yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seeds at various depth and with different amounts. 日本土壌肥料学会，51，103
- 10) 荒井清完・高橋渉・鍋島弘明・野村幹雄・守田和弘（2005）生育初期における土壌の過湿ストレスが大豆しわ粒発生に及ぼす影響．北陸作物学会報（北陸作物学会第42回講演会），41（別号），27
- 11) 井上健一・高橋正樹（2005）ダイズの子実肥大期の生育経過としわ粒発生率の関係．北陸作物学会報（北陸作物学会第42回講演会），41（別号），26
- 12) 田渕公清（2005）時期別遮光処理がダイズの生育収量としわ粒発生におよぼす影響．日本作物

- 学会紀事（日本作物学会第 220 回講演会），74（別号 2），82-83
- 13) 関口哲生・亀川健一（2005）大豆縮緬しわ発生率と切葉処理との関係．日本土壤肥料学会，51，106
 - 14) 南雲芳文・土田徹・高橋能彦（2006）ダイズ培土期における窒素追肥がしわ粒発生に及ぼす影響について．日本土壤肥料学会，52，149
 - 15) Tewari, K., N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2006) A New Technology of Deep Placement of N fertilizers to Promote Nitrogen Fixation, Growth and Seed yield of Soybean. 日米科学セミナー “Genetic approach to elucidate molecular mechanism of symbiotic nitrogen fixation”
 - 16) Tewari, K., M. Onda, N. Sato, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2006) Application of deep placement of slow release fertilizer (lime nitrogen) at various depth and with different amounts in the soybean field and its effect on soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth, nitrogen fixation activity and seed yield. 14th Australian Nitrogen Fixation Conference, Australia
 - 17) 荒井清完・吉田稔・金田宏・細川吉裕・高橋渉・守田和弘（2006）土壤水分ストレスが大豆しわ粒の発生に及ぼす影響 第 2 報 生育初期の土壤過湿と根粒量，落葉時期の関係．北陸作物学会報（北陸作物学会第 43 回講演会），42（別号），48
 - 18) 田淵公清（2006）北陸地域におけるしわ粒など品質低下要因の解明と対策．北陸作物学会報（北陸作物学会第 43 回講演会シンポジウム），42（別号），61-64
 - 19) 関口哲生・小原洋・新良力也（2006）ミネラル元素等の施用が大豆ちりめんじわ発生率に及ぼす影響．日本土壤肥料学会，52，149
 - 20) Ohyama, T., A. Yamazaki, N. Yamashita, T. Kimura, S. Ito, N. Ohtake and K. Sueyoshi (2007) Mechanism of quick and reversible inhibition of soybean nodule growth and nitrogen fixation activity by nitrate and its metabolites. 15th International Congress on Nitrogen Fixation (Cape Town), 75
 - 21) 佐藤徹・服部誠・市川岳史・田村隆夫（2007）ダイズ亀甲しわ粒の発生機構に関する研究．日本作物学会紀事（日本作物学会第 223 回講演会），76（別号 1），180-181
 - 22) 南雲芳文・佐藤徹・服部誠・土田徹・高橋能彦・大山卓爾（2007）シグモイド型被覆尿素肥料の施用によるダイズしわ粒軽減効果について．日本土壤肥料学会，53，143
 - 23) 服部誠・佐藤徹・市川岳史・田村隆夫（2007）自然発生条件下におけるダイズしわ粒の発生要因に関する研究．日本作物学会紀事（日本作物学会第 224 回講演会），76（別号 2），134-135
 - 24) 北倉芳忠・笈田豊彦・中嶋英裕・長屋克成（小橋工業）他（2007）レーキ付正転ロータリを用いた大豆の耕うん同時播種による収量・品質向上．日本農作業学会第 42 回講演会 42（別 1 号），81-82
 - 25) 小原洋・関口哲生・大野智史（2007）2006 年新潟県上越地域の大豆品質（しわ粒）と土壤条件の関係．日本ペドロロジー学会，23
 - 26) 田淵公清（2007）大豆しわ粒の発生におよぼす土壤の過湿ストレス影響と発生の品種間差．北陸作物学会報（北陸作物学会第 44 回講演会），43（別号），24
 - 27) 田淵公清（2007）生育時期別の剪葉と遮光処理がダイズのしわ粒発生におよぼす影響．日本作物学会紀事（日本作物学会第 223 回講演会），76（別号 1），178-179

- 28) 田淵公清 (2007) 遮光処理および収穫時期がダイズのしわ粒発生におよぼす影響. 日本作物学会紀事 (日本作物学会第 224 回講演会), 76(別号 2), 136-137
- 29) 関口哲生・小原洋・石山良・亀川健一 (2007) ダイズ連作栽培による土壌のホウ素含量の推移と高田平野の転換畑の可給態ホウ素含量. 日本土壌肥料学会, 53, 143
- 30) 小原洋・大野智史・関口哲生 (2008) 大豆の根の発達と還元的特長層位 (クライ層等) の関係. 日本ペドロジー学会, 37
- 31) 田淵公清・関口哲生 (2008) 生育時期別の土壌の過湿処理がダイズの生育としわ粒発生におよぼす影響. 日本作物学会紀事 (日本作物学会第 225 回講演会), 77(別号 1), 168-169
- 32) 関口哲生・小原洋・新良力也・亀川健一 (2008) 無肥料・無石灰栽培土壌への石灰施用がダイズ縮緬じわ発生率に及ぼす影響. 日本土壌肥料学会, 54, 158
- 33) 関口哲生・小原洋・新良力也 (2008) 熔成微量元素複合肥料の施用によるダイズ縮緬じわ率軽減効果事例について. 日本土壌肥料学会関東支部大会, 13
- 34) 南雲芳文・田中一也・Kaushal Tewari・土田徹・本間利光・大竹憲邦・末吉邦・高橋能彦・大山卓 (2009) UPLC による肥料, 土壌, 植物中のシアナミドの迅速定量法. 日本土壌肥料学会, 55, 154
- 35) 関口哲生・小原洋 (2009) 生産現地のダイズしわ粒率と子実中のミネラル元素濃度との関係. 日本土壌肥料学会, 55, 137
- 36) 田中一也・Tewari Kaushal・南雲芳文・高橋能彦・大竹憲邦・末吉邦・大山卓爾 (2009) 石灰窒素肥料の深層施肥がダイズ子実の収量および品質に及ぼす影響. 植物微生物研究会第 19 回研究交流会 (長野), 19, 16-17
- 37) 坂詰大志・南雲芳文・大竹憲邦・末吉邦・高橋能彦・大山卓爾 (2009) ダイズ導管液を用いた根粒窒素固定活性測定と無機栄養診断技術の開発. 植物微生物研究会第 19 回研究交流会 (長野), 19, 14-15

4. 出版著書

(図書一冊)

- 1) 大山卓爾・藤原徹・赤尾勝一郎・藤田耕之輔編集 (2005) *ダイズの生産・品質向上と栄養生理*. 博友社
- 2) Ohyama, T., N. Ohtake, K. Sueyoshi, K. Tewari, Y. Takahashi, S. Ito, T. Nishiwaki, Y. Nagumo, S. Ishii and T. Sato (2009) *Nitrogen Fixation and Metabolism in Soybean Plants*. NOVA Science Publishers, Inc., New York, 1-131

(図書の一部分)

- 1) Tewari, K., M. Onda, S. Ito, A. Yamazaki, H. Fujikake, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2005) Analysis of promotive effects of deep placement of slow release fertilizers on growth and seed yield of soybean by 15N dilution method. In: *Biological Nitrogen Fixation, Sustainable Agriculture and the Environment*. Springer, London, 287-288
- 2) 大竹憲邦 (2005) “ダイズ種子貯蔵タンパク質の窒素栄養による発現制御”. *ダイズの生産・品質向上と栄養生理*. 博友社, 61-80
- 3) Ohyama, T. (2006) Introduction: II. General Methods to Evaluate Microbial Activity 1. Isotopic Methods: 2. Conventional Methods In: *Biofertilizer Manual by FNCA (ISBN 4-88911-301-00550) <http://www.fnca.mext.go.jp/bf/bfm/bfm.html>* Forum for Nuclear Cooperation in Asia, 1-2, 3-28, 32-40

- 4) Tewari, K. and T. Ohyama (2006) Field experiments related to new inoculation and fertilization methods for soybean in Japan. In: Biofertilizer Manual by FNCA (ISBN 4-88911-301-00550) <http://www.fnca.mext.go.jp/bf/bfm/bfm.html> Forum for Nuclear Cooperation in Asia, 64-66
- 5) 田淵公清 (2007) “しわ粒 発生のメカニズムと被害回避技術”. 農業技術大系作物編 6. 農文協, 追録 29 号 技 178 の 1 の 14-21
- 6) 樋口泰浩 (2007) “収穫適期を判断する携帯水分計による子実水分の簡易測定法”. 農業技術大系作物編 6. 農文協, 追録 29 号 技 188 の 2-4
- 7) 田淵公清 (2007) “しわ粒の発生原因と防止技術は?”. 大豆づくり Q & A. 全国農業改良普及支援協会, 55-56
- 8) 関口哲生 (2007) “収量と品質を向上させる窒素以外の施肥管理技術は?”. 大豆づくり Q & A. 全国農業改良普及支援協会, 21-22
- 9) Ohyama, T., N. Ohtake, K. Sueyoshi, K. Tewari, Y. Takahashi, S. Ito, T. Nishiwaki, Y. Nagumo, S. Ishii and T. Sato (2008) Nitrogen Fixation and Metabolism in Soybean Plants, In: Nitrogen Fixation Research Progress. Soil Sci. Plant Nutr., 15-109
- 10) Ohyama, T., A. Yamazaki, N. Yamashita, T. Kimura, S. Ito, N. Ohtake and K. Sueyoshi (2008) Mechanism of quick and reversible inhibition of soybean nodule growth and nitrogen fixation activity by nitrate and its metabolites. In: Biological Nitrogen Fixation: Towards Poverty Alleviation through Sustainable Agriculture. Springer, London, 89-90

5. 雑誌の一記事

- 1) 大竹憲邦 (2004) 窒素によるダイズ種子貯蔵タンパク質の集積調節機構. 農業技術, 8, 553-559
- 2) 大竹憲邦 (2004) 生物窒素固定の農業における実用性 (8) 圃場栽培における根粒着生変異株の生育と窒素固定. 農業技術, 59(8), 40-44
- 3) 関口哲生・亀川健一・塩谷幸治 (2004) 地力維持対策を中心とした調査事例報告, 研究調査室小論集 - 国産大豆の安定供給に向けた緊急調査. 4, 73-74
- 4) 大山卓爾・ティワリ カウサル・大竹憲邦・末吉邦・高橋能彦 (2006) 根粒の窒素固定と調和した緩効性窒素肥料深層施肥によるダイズの多収栽培. 日本作物学会シンポジウム「ダイズ栽培、特に境界領域をかんがえる」(オーガナイザー: 池田武) 日本作物学会紀事, 75, 386-390
- 5) 大山卓爾・ティワリ カウサル・大竹憲邦・末吉邦・高橋能彦 (2006) ダイズ根粒の窒素固定を活用する緩効性窒素肥料の深層施肥とペーパーポット移植栽培. 農業および園芸, 81(6), 696-705
- 6) 大山卓爾・ティワリ カウサル・大竹憲邦・末吉邦・高橋能彦 (2006) ダイズの生育、収量、品質に及ぼす石灰窒素の施肥深度、施肥量、他成分の影響. 季刊 肥料, 105, 56-67
- 7) 大山卓爾・伊藤小百合・大竹憲邦・末吉邦 (2006) 硝酸イオンによるダイズ根粒の肥大生長と窒素固定活性の阻害機構. 化学と生物, 44(11), 752-759
- 8) 大山卓爾・ティワリ カウサル・高橋能彦 (2006) ダイズ2つの問題点をクリアした2つの方法 (深層施肥と根粒菌接種). 石灰窒素だより, 141, 1-9
- 9) 北倉芳忠 (2007) 一発耕うんで耕深確保、高精度播種. 機械化農業, 3月号, 8-11
- 10) 田淵公清 (2007) 北陸地域におけるしわ粒など品質低下要因の解明と対策. 北陸作物学会報 (北陸作物学会第 43 回講演会シンポジウム), 42, 140-143
- 11) 田淵公清 (2008) 大豆「しわ粒」の発生のしくみと対策技術. 機械化農業, 3082, 12-16

- 12) 田渕公清 (2008) 北陸地域に多発する大豆しわ粒の発生要因と低減化技術. グリーンレポート, 470, 2-5
- 13) 田渕公清 (2008) しわ粒 発生メカニズムと被害回避技術. 年版農業技術, 作物 2008, 117-124
- 14) 田渕公清 (2008) ダイズ生産の現状と展望 - ダイズしわ粒の発生要因と低減化技術. 今月の農業, 4月号, 38-43
- 15) 大山卓爾・横山正・安藤象太郎 (2009) 1. アジアの微生物資材. 農業および園芸, 84(1), 203-212
- 16) 大山卓爾・ティワリ カウサル・高橋能彦 (2009) 2. ダイズ 二つの問題点をクリアした二つの方法 深層施肥と根粒菌接種 “現代農業 (別冊) 農家直伝 豆をトコトン楽しむ”, 7月号, 120-126
- 17) 藤巻秀・石井里美・大山卓爾 (2009) 空気中の窒素を養分にするマメ科植物の「根粒」の機能の画像化. 放射線と産業, 124, 32-35

6. 広報誌

- 1) 田渕公清 (2004) 北陸地域に多発する大豆しわ粒の発生防止技術の開発をめざして. 北陸研究センターニュース 10号, 中央農業総合研究センター, 1
- 2) 関口哲生・亀川健一・中島秀治・小原洋・新良力也・田渕公清 (2006) 収量・品質に及ぼすミネラル成分の影響の解明と施肥管理技術の開発. 排水性改善を中軸とする大豆の高収量・高品質栽培体系の確立, 中央農研・北陸研究センター, 11-18
- 3) 佐藤 徹 (2007) 大豆しわ粒の発生軽減技術. にいがた農総研だより 15号, 新潟県農業総合研究所, 3
- 4) 田渕公清 (2007) 北陸地域に多発する大豆しわ粒の発生要因と低減化技術の開発. 北陸研究センターニュース 19号, 中央農業総合研究センター, 2
- 5) 関口哲生 (2008) 大豆ちりめんじわ粒軽減にはミネラル成分の施用も有効. 北陸研究センターニュース 23号, 中央農業総合研究センター, 4

7. パンフレット

- 1) 中央農業総合研究センター・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・新潟大学 (2007) 北陸地域に多発する大豆「しわ粒」発生のしくみと対策技術. (8頁パンフレット)

8. 講演・研修等

- 1) 田渕公清 (2005.1) 「北陸地域に多発する大豆しわ粒の発生防止技術の開発」への取り組み. 平成 16 年度東北農業試験研究推進会議畑作物部会
- 2) 関口哲生 (2005.11) 大豆の栽培技術 (施肥) としわ粒について. JA 亀田郷みなみ大豆生産組織研修
- 3) 田渕公清 (2006.10) 大豆のしわ粒発生防止技術について. 平成 18 年度北陸ブロック大豆現地検討会
- 4) 大山卓爾 (2006.11) 高収量・環境保全型ダイズ、オオムギ両用深層施肥機の開発 - 国産大豆・大麦の安定供給に向けて-. 新潟大学研究シーズ発表会, 産と学の出会いの場 (資料) 67-68
- 5) 田渕公清 (2007.4) 「大豆のしわ粒」について. 上越市有線放送
- 6) 田渕公清 (2007.7) 大豆しわ粒発生防止のための栽培管理技術について. 平成 19 年度北陸ブロック大豆現地検討会
- 7) 田渕公清 (2007.8) 大豆しわ粒の発生要因と低減化技術. 高度先進技術研修「大豆の高品質生産技術 安定生産・増収技術習得研修」

- 8) 関口哲生 (2007.10) 品質の高い北陸産大豆を目指してー肥料の視点から。JCV 公開講座
- 9) 佐藤徹 (2008.7) 大豆しわ粒の発生軽減技術。大豆種子場研修会
- 10) 田渕公清 (2008.7) 大豆しわ粒防止技術について。東海地区大豆生産性向上研修会 (クボタ)
- 11) 田渕公清 (2008.8) 北陸における大豆しわ粒の発生の現状と対策について。平成 20 年度全国大豆現地検討会
- 12) 佐藤徹・服部誠・南雲芳文・樋口泰浩 (2009.5 月, 7 月) 大豆しわ粒の発生軽減技術。現地指導 (新潟普及指導センター, (有) 道湯農場)
- 13) 佐藤徹・服部誠・南雲芳文・樋口泰浩 (2009.5 月, 6 月, 7 月, 10 月) 大豆しわ粒の発生軽減技術。現地指導 (柏崎普及指導センター, (有) 米山農場)
- 14) 大山卓爾 (2009.7) これからの農業のポイント (肥料の役割)。第 46 回全肥商連全国研修会
- 15) 関口哲生 (2009.8) ダイズちりめんじわの発生を減らすには。上越市有線放送
- 16) 関口哲生 (2009.8) 大豆しわ粒の発生要因と低減化技術。平成 21 年度農政課題解決研修
- 17) Sakazume, D., Y. Nagumo, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama (2009.9) 1. Estimation of nitrogen fixation activity and diagnosis of mineral nutrition by xylem sap of soybean. The 3rd International Symposium "Sustainability in Food Production, Agriculture and the Environment in Asia" in South East and East Asia (Niigata, Japan)
- 18) Tanaka, K., M. Saito, S. Kamiyama, K. Tewari, Y. Nagumo, Y. Takahashi, N. Ohtake, K. Sueyoshi and T. Ohyama (2009.9) 6. The effects of the deep placement of fertilizer lime nitrogen on the yield and quality of the soybean. The 3rd International Symposium "Sustainability in Food Production, Agriculture and the Environment in Asia" in South East and East Asia
- 19) 関口哲生 (2010.3) 大豆ちりめんじわ粒軽減技術について。福井丹南農業協同組合

9. プレス (新聞記事、テレビ放映)

- 1) 大豆の"しわ" 解明急ぐ。日本農業新聞 (2004 年 6 月 16 日); 中央農研
- 2) 食糧増産・バイオ肥料プロジェクト。クリックオンらいふサイエンス, スカイパーフェクト TV 765 ch (2005 年 6 月 13, 20 日); 新潟大学他
- 3) 大豆の根粒菌による窒素吸収システムを開明し, 安定多収技術提言。新潟日報 (2005 年 10 月 30 日); 新潟大学他
- 4) 第 58 回新潟日報文化賞, 3 部門 5 件表彰。新潟日報 (2005 年 11 月 2 日); 新潟大学他
- 5) 農業大県の地道な研究に注目。新潟日報 (2005 年 11 月 5 日); 新潟大学他
- 6) 深く耕すロータリー。福井新聞 (2006 年 5 月 23 日); 福井県農業試験場
- 7) 耕うんと種まき同時 改良ロータリーで省力。日本農業新聞 (2006 年 6 月 14 日); 福井県農業試験場
- 8) 窒素で大豆ちりめんじわ粒大幅減。日本農業新聞 (2006 年 8 月 1 日); 富山県農業技術センター
- 9) 大豆しわ粒低減化技術を開発 被害粒 30%以下へ。農業共済新聞 (2008 年 8 月 13 日); 中央農研

おわりに

本編は、平成16～18年度にダイズ品種「エンレイ」について先端技術を活用した農林水産高度化事業の地方領域設定型研究「北陸地域に多発する大豆しわ粒の発生防止技術の開発」において行われた研究成果を取りまとめたものであり、研究は中央農業総合研究センター（北陸）を中核機関として、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、新潟大学を参画機関として共同研究により実施された。

研究実施にあたっては、各年度に設計検討会、中間（現地）検討会、推進会議をもち、複数の担当機関の実施に整合性が得られるよう配慮して進めることとし、しわ粒の分類・調査基準の確認、現地試験において統一的に実施する調査項目の設定を行った。研究とりまとめ方向については、亀甲じわ粒については収穫期前後の乾湿、ちりめんじわ粒については子実肥大期を中心とした生育へのストレスによる老化の助長を主要な要因と想定し、これらに重点をおいた試験設計とした。ダイズしわ粒発生機構及び発生要因の解明に関する実施課題では、中間評価での「発生のメカニズムに対応した防止技術の提案や実証が必要」との指摘を踏まえ、ダイズ作物体の老化とちりめんじわの発生の関係を重点的に検討することとして進めた。

3年という限られた時間の中ではあったが、ダイズのしわ粒を総合的に検討した初めてのプロジェクト研究として、ダイズしわ粒の発生について体系的に解析し、ちりめんじわの発生には子実肥大盛期前後の作物体の老化が関係し、施肥等による生育後半の栄養状態の改善が発生低減に有効であること、亀甲じわは成熟期後の乾燥過程において発生するが、収穫時期を早めることにより抑制できることなど、しわ粒発生機構、要因を一定程度まで明らかにすることができ、しわ粒防止技術開発の方向性を提示することができた。

しかしながら、しわ粒を完全に防止する技術の確立には至らず、しわ粒発生要因、発生機構に関する生理的、形態的な面からの解明、開発された技術の適応可能な条件の明確化、しわ粒率のさらなる低減技術の開発などの点で問題が残された点も多く、今後さらに研究を深めていく必要性が感じられた。また、この研究は、北陸地域の主力品種であるエンレイを対象に行われたものであるため、他品種への適用についても留意する必要がある。

これらの研究成果が、生産現場でしわ粒対策に苦闘されている農業生産者、農業指導関係者等の皆様への一助となれば幸いである。

（田渕 公清）

参 考

パンフレット（北陸地域に多発する大豆「しわ粒」発生のしくみと対策技術）

先端技術を活用した農林水産研究高度化事業成果

北陸地域に多発する 大豆「しわ粒」

発生のおくみと対策技術



独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業総合研究センター

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
国立大学法人新潟大学



ちりめんじわ

子実の臍の反対側の子葉組織と種皮が収縮してぎざぎざになる

ちりめんじわの発生

「ちりめんじわ」の発生は作物体の「老化」の進行が抑制されると少なくなる
落葉の進行が「老化」の指標となる

作物体の「老化」に対する生育ストレスの影響が最も大きい時期は開花後6.7週目付近の子実肥大盛期である

対策

作物体の老化を抑制するには子実肥大盛期頃の作物体の栄養状態を改善することが有効である

窒素栄養状態の改善

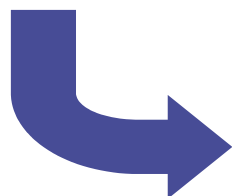
ヘアリーベッチ等の有機物のすき込み
培土時のシグモイド型被覆尿素肥料の追肥
石灰窒素や被覆尿素の深層施肥

無機栄養状態の改善

微量元素肥料の施用

土壤環境の改善

レーキ付正転ロータリによる深耕
耕うん同時畝立播種機による畝立栽培





亀甲 (かぶと)じわ

亀甲じわの発生

種皮が子葉から剥離して
亀甲状に隆起する

「亀甲じわ」の前段階として種皮が子葉から剥離した「剥離粒」が発生する
「剥離粒」は子実の乾燥過程で子実水分が13%以下に乾燥した粒が吸湿すると発生する

乾燥過程で発生した「剥離粒」が降雨や夜露等で
水分を再吸収することにより「亀甲じわ」が発生する

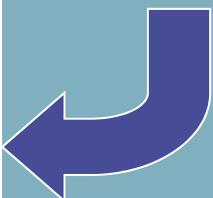
「亀甲じわ」は「剥離粒」の乾燥、吸湿の繰り返しによりさらに増加する

対 策

従来よりも早く刈り取りを行うことが有効である

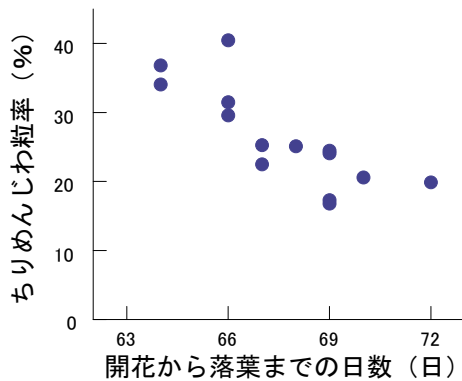
コンバイン収穫時期

これまでコンバイン収穫の開始時期は、成熟期
の数日後とされていたが、成熟期頃、子実水分が
約22%に低下したら早めに刈り取る方が良い



ちりめんじわの発生のしくみ

ちりめんじわの発生は作物体の老化が影響する(落葉が早まる)

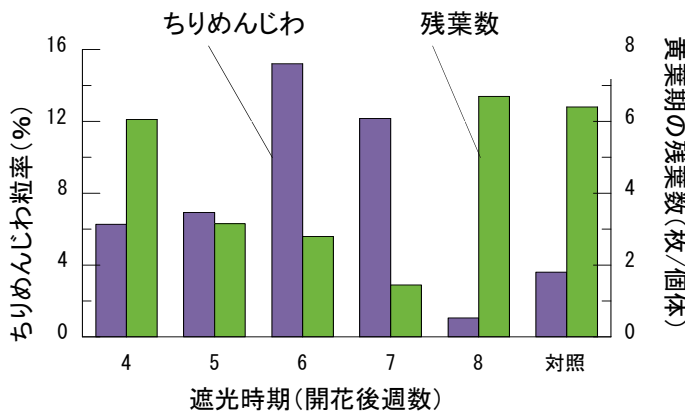


作物体の「老化」の進行が抑制されている方がちりめんじわ粒の発生は少なくなる

落葉の進行を老化の指標とすると開花期から落葉期までの日数が長い方がちりめんじわの発生が少ない

(富山県農業技術センター)

作物体の老化には子実肥大盛期のストレスの影響が最も大きい



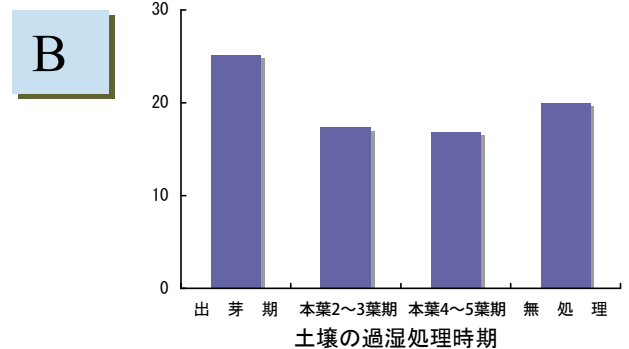
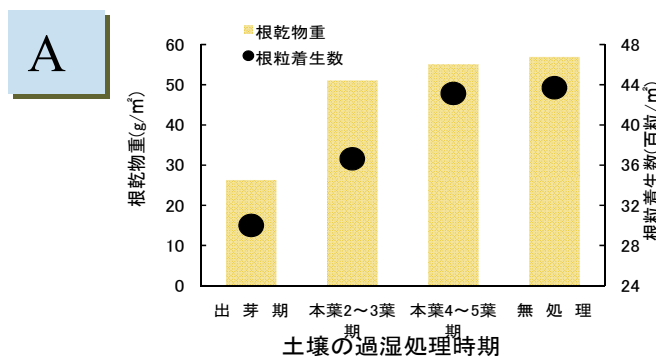
対照区

開花後6週遮光区

作物体の「老化」に対して最も影響が大きい時期は開花後6,7週目付近の子実肥大盛期にあり、この時期に光合成を抑制すると落葉が早まり、ちりめんじわの発生率が高まる

(中央農業総合研究センター)

生育初期の湿害(過湿)の影響はちりめんじわの発生に影響する



大豆の出芽期に土壌が過湿になると

A 開花期頃の根乾物重、根粒着生数が少なく、子実肥大期頃までの地上部窒素含量が少なく、登熟後半の葉色の低下および落葉時期が早くなる

B ちりめんじわ粒の発生が増加する

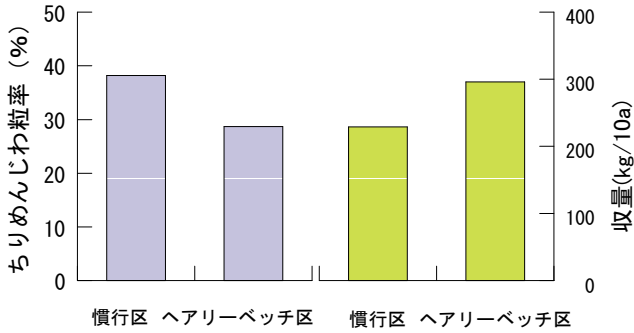
(富山県農業技術センター)

ちりめんじわ粒の発生低減化技術

窒素栄養状態の改善

地力の低下が認められる場合

ヘアリーベッチなどの緑肥や堆肥などの有機物のすき込みが有効



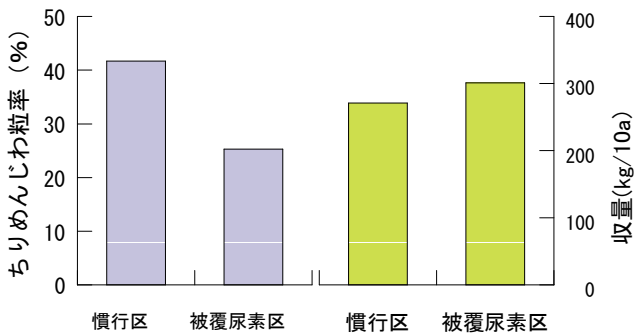
ヘアリーベッチ区: 緑肥鋤込み量2.72t/10a
慣行区: (基肥 2kgN/10a)

ヘアリーベッチは前年の水稲収穫後
〜10月上旬に4kg/10a播種する



(富山県農業技術センター)

シグモイド型被覆尿素肥料 (LPSS100) の基肥施用が有効

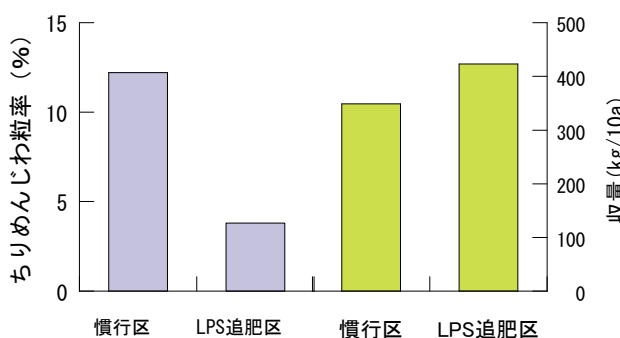


基肥施用量
被覆尿素肥料区: 2kgN/10a+15kgN/10a
(LPSS100)
慣行区: 2kgN/10a

(富山県農業技術センター)

大豆の生育量が少ない場合には

培土時のシグモイド型被覆尿素肥料 (LPS60) の追肥が有効



2回目の培土前(7月4日)にLPS60を6kgN/10a施用



慣行区

LPS追肥区

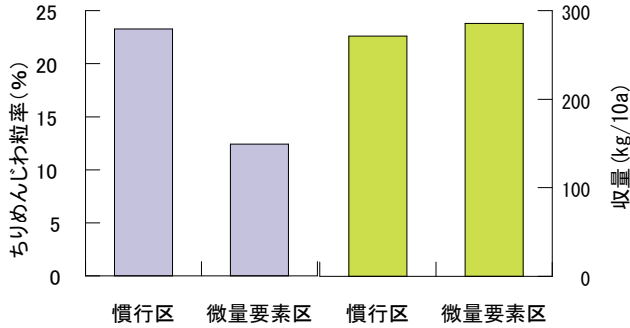
(新潟県農業総合研究所)

ちりめんじわ粒の発生低減化技術

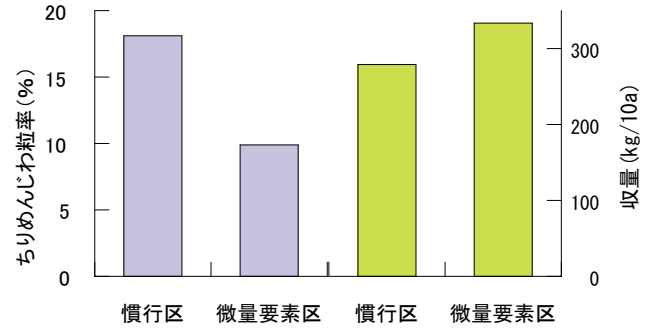
無機栄養状態の改善

土壌の微量元素含量が低い圃場

微量元素肥料(マンガン、ホウ素、モリブデン、亜鉛等を含む)の施用が有効



盛土造成(軽埴土)圃場



砂壤土圃場

(中央農業総合研究センター)

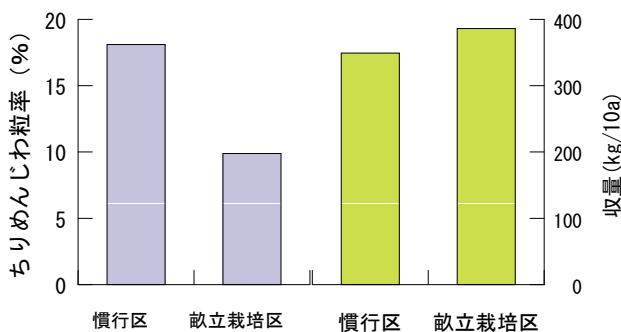
栽培期間を通しての土壌環境の改善

粘土含量が高く排水不良な圃場

耕うん同時畝立て播種機等による畝立栽培が有効



湿害等の生育不良条件を軽減でき、土壌中の酸素濃度が維持される



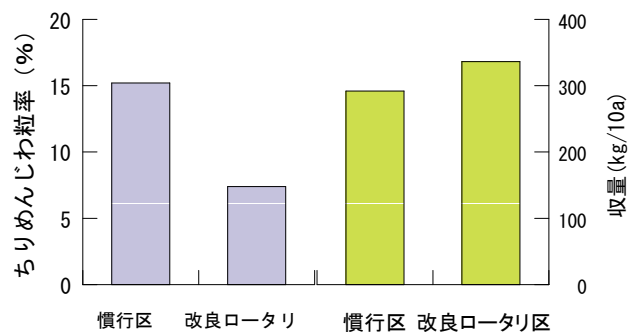
(新潟県農業総合研究所)

麦跡大豆栽培圃場

レーキ付正転ロータリによる深耕が有効



麦わらのすき込みや碎土がよく、耕深が15cm程度となり、根圏が拡大される



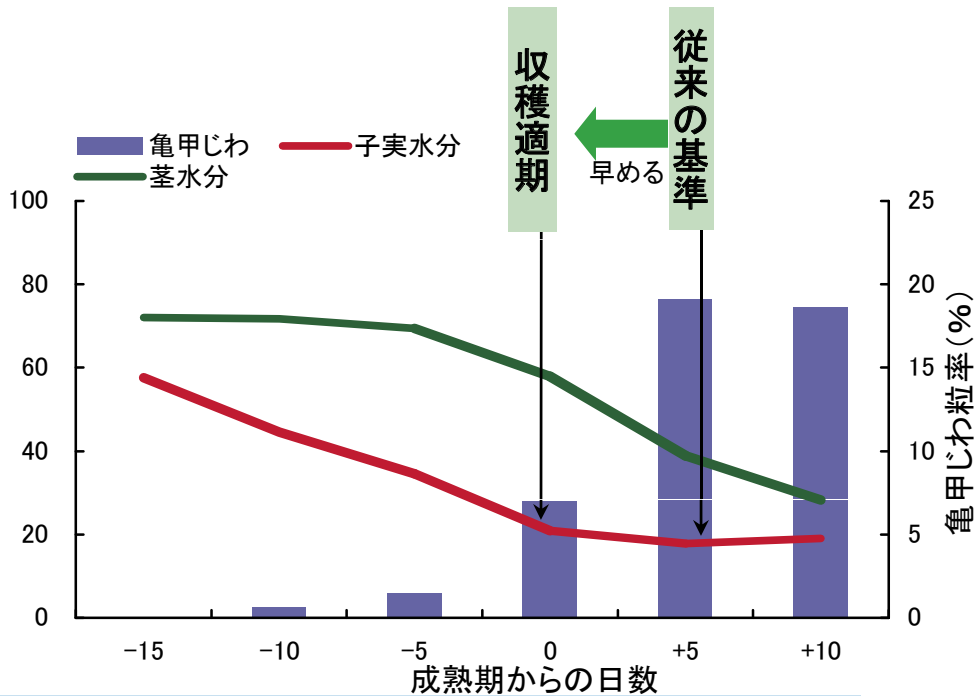
(福井県農業試験場)

苗立ちが良く、その後の生育が促進され、「ちりめんじわ」の発生が減少する

亀甲じわ粒低減化技術

コンバイン収穫時期としわ粒の発生

亀甲じわ粒を主体としたしわ粒の発生を低減するためには従来基準よりも早く刈り取りを行うことが有効



大豆しわ粒の発生からみた刈取開始は成熟期前後の子実水分約 22%の時期から



(新潟県農業総合研究所)

コンバイン収穫適期の判定に活用できる子実水分の簡易測定法



1粒づつ電極を大豆に刺して測定



センサの表示

中庸な生育の株の中位の莢の子実20~50粒の平均を求める。

大豆(エンレイ)の子実水分は電気抵抗式的水分計で測定できる水分計は携帯式なのでほ場におけるコンバイン収穫適期の判定に有効

(新潟県農業総合研究所)

しわ粒発生低減化技術

大豆「しわ粒」の発生防止技術のまとめ

総合的な対策が重要です

ちりめんじわの発生防止

ヘアリーベッチ等の緑肥のすき込み、シグモイド型被覆尿素の基肥、石灰窒素や被覆尿素の深層施肥等による窒素栄養状態の改善

微量元素肥料による無機栄養状態の改善

レーキ付正転ロータリによる深耕、耕うん同時畝立て播種機等による畝立栽培による土壌環境の改善

ちりめんじわ

発生には子実肥大盛期前後の栄養状態が影響し、作物体の老化が関係している

亀甲じわ

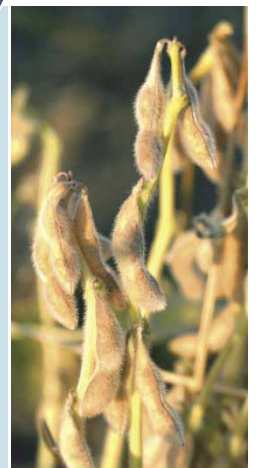
成熟期後の乾燥過程において子実水分が低下した後の吸湿により発生し、その後の乾燥、吸湿の繰り返しにより増加する

亀甲じわの発生防止

コンバインによる刈取開始は成熟期前後の子実水分約22%の時期から

子実水分の簡易測定法

シグモイド型被覆尿素の追肥



出芽期

開花期

子実肥大盛期

成熟期

茎

子実

莢

葉

圃場の前歴や土性の違い等により最適な対策は異なります
施用量等具体的な疑問については下記にご相談下さい

問い合わせ先

〒943-0193 新潟県上越市稲田1-2-1
中央農業総合研究センター 北陸水田輪作研究チーム

TEL 025-523-4131
URL <http://narc.naro.affrc.go.jp/inada/>

〒940-0826 新潟県長岡市長倉町857
新潟県農業総合研究所 作物研究センター

TEL 0258-35-0893
URL <http://www.ari.pref.niigata.jp/>

〒939-8153 富山市吉岡1124-1
富山県農業技術センター 農業試験場

TEL 076-429-2111
URL <http://www.agri.pref.toyama.jp/>

〒918-8215 福井市寮町辺操52-21
福井県農業試験場

TEL 077-654-5100
URL <http://info.pref.fukui.jp/nougyou/noushi/>

〒950-2181 新潟市五十嵐二の町8050
国立大学法人新潟大学 農学部

TEL 025-262-6643
URL <http://www.agr.niigata-u.ac.jp/>

所長
佐々木 昭博

Director General
Akihiro Sasaki

編 集 委 員 会
Editorial committee

委員長
渡邊 朋也

Editor-in chief
Tomonari Watanabe

副委員長
梅本 雅

Deputy Editor-in chief
Masaki Umemoto

編集委員
渡邊 好昭
木村 武
本多 健一郎

Editor
Yoshiaki Watanabe
Takeshi Kimura
Kenichiro Honnda

小林 恭
上原 泰樹

Kyou Kobayashi
Yasuki Uehara

細川 寿

Hisashi Hosokawa

事務局
関谷 修三

Editorial Secretariat
Shuzo Sekiya

ファーミングシステム研究 No. 10

平成23年 9月30日 発行

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

中央農業総合研究センター

所長 佐々木 昭博

〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1

Tel. 029-838-8979 (情報広報課)

URL. <http://narc.naro.affrc.go.jp/>

本誌に掲載された著作物を転載・複製・翻訳される場合は
中央農業総合研究センターの許可を得てください。

**FARMING
SYSTEM
RESEARCH
No.10
2011**