

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25292016

研究課題名(和文)ダイズ子実への持続的な窒素供給を目指した根粒着生制御理論の提案

研究課題名(英文)Nodulation control to enhance the continuous N supply to soybean seeds by the crack fertilization technique

研究代表者

飯嶋 盛雄 (IIJIMA, Morio)

近畿大学・農学部・教授

研究者番号：60252277

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、外部から根粒菌を投与し、ダイズに人為的に根粒着生を促すことで増収を可能にする根粒着生制御技術(亀裂施肥)の有用性を明らかにすることを目的とした。さらに、北海道と本州という異なる気象条件で亀裂施肥を実施し、本技術の普遍性を検討した。寒冷地である北海道では、本技術の十分な増収効果は得られなかった。しかし、本州では、畑地と水田転換畑において増収効果が確認された。畑地では中耕時に条間に亀裂に沿って炭のみを投与する処理、水田転換畑では、播種前の条直下根粒菌を付与した炭を投与する処理が、最も増収効果が高かった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present study is to clarify the effectiveness of crack fertilization that is the new technique to enhance soybean yield by the application of nodule bacteria to soybean just before flowering. In addition, we conducted at two different region of Hokkaido and main island of Japan (Shiga and Nara prefecture) to evaluate that the technique is useful in all region of Japan. In cold region of Hokkaido, soybean yield did not increase by the technique compared with the control. In the main island, however, soybean yield in an upland field and an upland field converted from a paddy increased by the application of the technique. The application of charcoal into the crack between rows just before flowering was effective to increase soybean yield in an upland, and the application with nodule bacteria below rows before sowing significantly increased soybean yield in an upland converted from a paddy.

研究分野：作物学

キーワード：ダイズ 水田転換畑 根粒菌 根粒着生制御

1. 研究開始当初の背景

ダイズは、子実に多量の窒素を含有するため、多収を実現するためには成熟期まで根粒由来の窒素供給を維持させる必要がある。申請者らは、開花期以降に新たな根粒を土壌の深層部に着生させることで、成熟期まで子実への窒素供給能力を飛躍的に高めることが可能になるという仮説を設定し、「亀裂施肥 (Crack fertilization)」という新しい概念の栽培技術をデザインし試験的に検討してきた。これまでの研究により、収量が最大で対照条件の 1.3 倍に高まることを明らかにしてきたが、処理による個体間差が大きいという事と、根の切断による花芽の発達阻害を防ぐ必要性を認めた。そのため、さらに効率的な根粒着生誘導の方法論を見だし、子実への固定窒素の持続的な供給を促進しうる栽培理論を提案することを目指す。

2. 研究の目的

本研究では、これまでの検討を受け、効率的な根粒着生誘導の方法論と、その増収効果を明らかにすることを目的とした。方法論の検討として、亀裂施肥を実施する時期、および亀裂に投入する資材を検討した。さらに、北海道と本州という異なる気象条件の圃場で亀裂施肥を実施し、根粒着生制御技術の普遍性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 北海道における試験

(1-1) 新型根粒着生制御機の作製

2013年と2014年にそれぞれ1台ずつ試作機を作製した。現在、特許申請を視野に入れている。

(1-2) 栽培試験

試験は、北海道農業研究センターの芽室、羊ヶ丘、および美唄の3ヶ所で行った。芽室は畑地、羊ヶ丘と美唄は水田転換畑であっ

た。芽室では、2013年の試験圃場と2014年以降の試験圃場は隣接した異なる圃場であり、仮比重は約0.85の火山性土壌であった。pHはやや酸性で、リン酸吸収係数が高く、リン酸肥沃度が低い土壌であった。供試品種はユキホマレと、根粒非着生系統の「To1-0」を供試し、施肥窒素と地力窒素によって得られる収量レベルを確認した。

2013、2014、2015年の播種は、それぞれ5月29日、5月24日、5月21日に行った。施肥播種機(タバタ TB-4W)を用いて、条間0.66 m 株間0.2 mで2粒ずつ播種した。同時に、側条に成分量で窒素2 kg/10a、リン酸6.5 kg/10a、カリ5 kg/10a相当の豆類用の化成肥料を施用した。

2013年の処理は、5月29日に播種時の亀裂施肥、7月11日に生育期条間の亀裂施肥(中耕亀裂)、7月18日に培土時に株もとに根粒菌資材を投与した。条直下と中耕亀裂は、亀裂施肥1号機を使用し、培土時の株もとへの投与は、開花直前に手作業で初生葉付近まで培土を行い、その株もとに資材を投与した。これらの処理を表1のように組み合わせで試験を実施した。

表 1. 2013年芽室圃場の処理組み合わせ

品種	根粒菌亀裂施用処理		
	播種時条下 5月29日	生育期条間 7月11日	培土時株もと 7月18日
	+	+	+
	+	+	-
	+	-	+
ユキホマレ	+	-	-
	-	+	+
	-	+	-
	-	-	+
	-	-	-
To1-0	-	-	-

2014年と2015年は、同一の圃場を用いて、亀裂施肥の連用効果と処理の要因効果を検討した。亀裂施肥は、亀裂を入れることによる土壌物理性の改善効果と資材投与による効果が考えられるため、亀裂のみ (Ck)と亀裂に根粒菌を付与した炭を投入する処理 (Nod)を設定して試験を実施した。表2のよ

うに処理区を設け、2014年に試作した根粒着生制御機で処理を行った。

表 2. 芽室圃場の処理組み合わせ

品種	2014年処理		2015年処理	
	亀裂資材	亀裂	亀裂資材	亀裂
	+	-	+	-
ユキホマレ	-	-	+	-
	-	+	-	+
	-	-	-	-

羊ヶ丘と美唄圃場は、供試品種、および処理区の設定は芽室と同様に行ったが、条間は0.6 mに設定した。羊ヶ丘、美唄ともに水田転換畑である。資材施用は3年とも芽室の施用日の前後に実施した。亀裂施肥は、2013年は試作1号機、2014年以降は試作2号機を用いて行った。

(2) 滋賀県立大学圃場試験

滋賀県立大学では、畑地圃場試験で3年間試験を行った。1年目の2013年度には、亀裂施肥の時期と回数の効果を検証するため、対照区(無処理)、播種前に条直下への亀裂施肥、中耕時に条間に亀裂施肥、両時期に亀裂の4つの処理区を設定し、根粒の着生と発達におよぼす影響、および地上部生育と収量におよぼす影響について調査した。また、2年目以降は、中耕時の亀裂施肥の要因を解析するため、北海道における試験と同様に、対照区、Ck区、Nod区を設けた。さらに、炭のみを亀裂に投与するCh区も設け、合計4処理区で実験を行った。さらに、2014年と2015年は同じ位置に亀裂施肥を行い、連用効果も検討した。

3年目の2015年度には、長期不耕起圃場を継続している圃場に対してもNod区と同じ処理を行い、耕起条件と処理効果の関係について検証を行った。なお3年間とも滋賀県奨励晩生品種であるタマホマレを供試した。

(3) 奈良農業総合センター圃場試験

奈良県農業研究開発センターでは、水田転換畑において、亀裂の時期と要因が収量に及ぼす影響を調査した。実験は、播種前に耕起しない不耕起圃場で3年間、播種前に耕起を行う耕起圃場で2年間実施した。試験期間中同じ圃場を使用し、同じ場所に処理を行うことで、処理の連用効果も検討した。亀裂施肥を行う時期に関する因子を3水準(播種前、中耕時、両時期)、投入する資材に関する因子を3水準(Ck、Ch、Nod)として、これらに対照区を合わせた10処理区で実験を行った。耕起圃場では、亀裂施肥を行う時期に関する因子のみを設定し、投入資材として根粒菌を付与した炭を投入した。一区画は、7 m × 0.6 mとし、2013年は6反復、2014年と2015年は5反復でランダムに配置した。投入資材として用いた炭はみのり炭素を2-5 mmに砕いて30 kg 10a⁻¹投入した。根粒菌資材は、市販の根粒菌資材まめぞうを使用した。供試品種は、奈良県の奨励品種サチユタカを使用した。2013年は、7月1日に播種前亀裂を行い、翌日に播種を行った。2014年と2015年は、播種前亀裂と播種を同日に行い、それぞれ6月24日と6月29日に行った。種子は、条間60cm、株間15cmで3粒ずつ点播した。2013年、2014年、2015年の中耕時の亀裂は、それぞれ播種後24日目、30日目、31日目に行った。2013年、2014年、2015年の収量調査は、それぞれ播種後122日目、127日目、121日目に行った。

4. 研究成果

(1) 北海道における試験

(1-1) 芽室圃場

2013年試験では、播種時の処理において、亀裂施肥機をけん引するトラクタが、一工程前に施工した亀裂上を走行するため、亀裂がふさがり、播種条下の土壌硬度が高まった。収量調査を行ったところ、亀裂施肥は、粗子実重に影響は及ぼさなかった。タンパク質含

量は、中耕亀裂により 5%水準で有意に減少した。しかし、実際の差はわずかであった(0.17%)。

2014 年試験では、処理が粗子実重に及ぼす影響は有意には認められなかったが、Nod 区の稔実莢数は増加する傾向にあり、他の処理区に比べてやや多収となる傾向が認められた(分散分析の $p = 0.09$)。2015 年の試験では、Ck 区と Nod 区の粗子実重と全重は無処理に比べて有意に低かった。2015 年の処理時期前後には雨が少なかったため、処理による断根が、ダイズの水ストレスを強め、生育を抑制したと推定された。そこで、亀裂施肥後に群落上部の葉温を測定したところ、群落上部の葉温は処理によって約 1 高く、処理により水分ストレスが高まったと考えられた。

(1 - 2) 羊ヶ丘・美唄圃場

2013 年は、芽室同様、車輪の踏圧の影響もあり効果が判然としなかった。2014 年は干ばつのため、処理により生育が抑制されて減収となった。2015 年は美唄については湿害傾向の圃場であり、連年施用であったことから効果が期待された。しかし、Nod 区は、Ck 区に比べて高収量であったが、対照区には劣り、処理の効果は明確ではなかった。

(2) 滋賀県立大学における試験

1 年目の試験において、処理後 7 週目に地下部の掘り取り調査を行ったところ、中耕時の条間への亀裂施肥によって、条間の根粒数と根重が増加する傾向にあった。しかし、その傾向は地上部乾物重や子実収量の増加には反映されなかった。地上部乾物重と子実収量は播種前か中耕時のどちらかに亀裂施肥を行うことによって、無処理の対照区よりも増加する傾向にあったが、両時期による亀裂の相乗効果は見られなかった。

2014 年から 2 年間にわたる要因解析試験では、Ck 区、Ch 区、および Nod 区の根粒

着生数が対照区のそれぞれ 1.29 倍、1.42 倍、1.34 倍となり、さらに亀裂・根粒炭区では根粒新鮮重も 1.44 倍へと増加していた。しかし、2013 年試験と同様に、地上部生育や種子生産との明確な関係は認められなかった。過剰に着生した根粒による、寄生的な効果が示唆された。なお、Ch 区と Nod 区の測定値には有意な差は見られなかったため、投入する粒状炭への根粒菌接種が、必ずしも有効ではないという可能性を見出した。

2015 年試験では、要因解析の連用効果を検討した。Ch 区と Nod 区の子実収量が対照区よりも増加する傾向にあった。しかし、両区の収量には有意差が見られなかったことから、増収には根粒菌の外部投入を必ずしも要求しないことを確認した。2014 年と 2015 年試験において、収量の傾向に違いが見られた原因としては、2014 年試験では、処理後の 8 月上旬に 1 日数十ミリの大雨の日が続いたが、登熟期は雨が少なかった。一方、2015 年試験では、処理後はしばらく乾燥したものの 8 月中旬から収穫に至るまで定期的に降雨があった。これらの気象条件の違いが、収量に対する反応性の違いを引き起こしたと考えられた。

最終年度に実施した不耕起栽培圃場の試験では、慣行耕起を行った方が、中耕時の亀裂施肥の効果がより発揮されるという結果になった。

3 年間の試験を通して中耕時の亀裂施肥による増収効果は 1.08 倍~1.25 倍と年次変動は大きかった。しかし、実際には、対照区の収量が不安定(変動係数 8.1%)であるため、対照区に対する比率が見かけ上大きくなっていたのであり、亀裂施肥区の収量は比較的安定(同 3.8%)していた。このことは、中耕時の亀裂施肥は、気象条件等の栽培条件が収量へ及ぼす影響を小さくし、安定多収技術である可能性を示したものと見える。

(3) 奈良農業総合センターにおける試験

不耕起圃場と耕起圃場の10aあたりの収量を見ると、中耕亀裂における増収効果は、他の処理時期に比べて低かった。そのため、水田転換畑においては、中耕時に亀裂を入れても増収効果は少ないことが明らかとなった。一方、不耕起圃場では、試験2年目の播種前亀裂において、Ch区とNod区で対照区よりも有意に収量が増加した。また、耕起圃場でも試験2年目で播種前亀裂の収量が対照区よりも有意に増加した。そのため、水田転換畑では播種前に亀裂を入れることで増収効果が得られることが明らかとなった。さらに、不耕起圃場と耕起圃場の両方において、1年目よりも2年目で増収効果が高かった。そのため、複数年連続の施用では、より効果が高まることが明らかとなった。投入資材による収量の違いを不耕起圃場で調べたところ、3年間の平均収量において、播種前に炭のみを入れた処理区が最も高かった。そのため、亀裂施肥と同時に炭を入れることがダイズ増収に重要であることが明らかとなった。また、これまでは根粒菌資材を投与することが必要であると考えてきたが、滋賀県立大学の畑地試験と同様に、水田転換畑においてもその必要がないことも明らかとなった。

亀裂施肥による増収効果を収量構成要素のデータを基にして解析すると、分枝における莢数、粒数、粒重が増加していた。これは、不耕起圃場と耕起圃場で共通する増収要因であった。しかし、不耕起圃場では中耕亀裂後から分枝数が対照区と比較して大きく増加したのに対して、耕起圃場では不耕起圃場のような分枝数の増加は見られなかった。そのため、不耕起圃場では分枝数が対照区よりも増加して分枝の収量が増加したのに対して、耕起圃場では分枝数は対照区と同じであるが、一つの分枝あたりの収量が増加することで収量が増加したことが明らかとなった。しかし、2015年試験において、不耕起圃場

の播種前亀裂のCk区やCh区、両時期亀裂の全ての処理区、さらに、耕起圃場の両時期亀裂で見られたように、分枝の収量が増加しても、主茎の収量が低下してしまうことが観察された。そのため、分枝の収量の増加だけでなく、主茎の収量を維持することが今後の課題であり、そのことでさらなる増収が期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

(1) Yamane K., Ikoma A, Iijima M. (2016) Performance of double cropping and relay intercropping for black soybean production in small scale farms. *Plant Production Science*, in press. 査読有. DOI: 10.1080/1343943X.2016.1164574

(2) Yamane K., Iijima M. (2016) Nodulation control of crack fertilization technique reduced the growth inhibition of soybean caused by short-term waterlogging at early vegetative stage. *Plant production Science*, in press. 査読有. DOI: 10.1080/1343943X.2016.1164573

(3) Iijima M., Yamane K., Izumi Y., Daimon H., Motonaga. T. (2015) Continuous application of biochar inoculated with root nodule bacteria to subsoil enhances yield of soybean by the nodulation control using crack fertilization technique. *Plant Production Science*, 2015, 18: 197-208. 査読有. <http://doi.org/10.1626/pps.18.197>

(4) Iijima M., Watanebe T., Yoshida T., Kawasaki M., Yamane K. (2015) Visualization of water transport into soybean nodules by ToF-SIMS cryo system. *Journal of Plant Physiology*, 178: 64-68. 査読有. DOI: 10.1016/j.jplph.2015.02.004

〔学会発表〕(計3件)

(1) 札埜喜嗣・杉山高世・大門弘幸・泉泰弘・山根浩二・飯嶋盛雄. 不耕起条件下におけるダイズ根粒着生制御: 水田転換畑における多段式亀裂形成, 炭, 根粒菌投与が収量に及ぼす影響. 日本作物学会. 日本大学生物資源科学部湘南キャンパス. 2015年3月27-28日

(2) 山根浩二・飯嶋盛雄. 亀裂施肥はダイズが生育初期に受けた湿害を緩和する効果がある. 第237回日本作物学会. 千葉大学. 2014年3月29日~2014年3月30日

(3) 高尾暢之・泉泰弘・山根浩二・大門弘幸・飯嶋盛雄. ダイズ多段式根粒着生制御が根粒着生と収量に及ぼす影響. 第236回日本作物学会. 鹿児島大学. 2013年9月10日~9月11日

〔その他〕

ホームページ等

近畿大学農学部作物学研究室

<http://nara-kindai.univ.jp/02gakka/01nogyo/sakumotu/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

・飯嶋 盛雄 (IIJIMA Morio)
近畿大学・農学部・教授
研究者番号: 60252277

(2) 研究分担者

・大門 弘幸 (DAIMON Hiroyuki)
龍谷大学・農学部・教授
研究者番号: 50236783

・辻 博之 (TSUJI Hiroyuki)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター・上席研究員
研究者番号: 50425584

・村上 則幸 (MURAKAMI Noriyuki)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター・上席

研究員

研究者番号: 80355461

・泉 泰弘 (IZUMI Yasuhiro)
滋賀県立大学・環境科学部・教授

研究者番号: 90305558

・杉山 高世 (SUGIYAMA Takatsugu)
奈良県農業研究開発センター・研究開発部・総括研究員

研究者番号: 90393389

・山根 浩二 (YAMANE Koji)
近畿大学・農学部・講師

研究者番号: 50580859

(3) 連携研究者

・林 怜史 (HAYASHI Satoshi)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター・研究員

研究者番号: 20508262