

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007 ～ 2010

課題番号：19380010

研究課題名（和文）成熟期のダイズ子実への窒素供給を目指した根粒着生誘導技術の開発

研究課題名（英文）Technical development of nodule formation to enhance nitrogen supply to the maturing stage of soybean seed

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

研究成果の概要（和文）：

ダイズの窒素固定能力を栽培技術により向上させることは、我が国におけるダイズの収量性を改善するための技術戦略の一つである。本研究では、「亀裂施肥」という新しい栽培技術を提案した。この技術は、ダイズの開花期直前に心土破砕を実施し、土壌深層部に根粒菌や肥料等を投入する技術である。亀裂施肥後、3 週から 6 週目にかけて根粒の窒素固定能力が顕著に促進するとともに下層土壌の根粒数が有意に増加した。これらの結果は、亀裂施肥によりダイズの根粒着生を制御することが可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：

Enhancement of nitrogen fixation activities by a cultivation technique is one of the potential targets to improve soybean yield in Japan. In this study, we proposed a new cultivation technique termed “crack fertilization”. It is the technique to utilize the irregularly shaped soil cracks formed by subsoiling just before the flowering stage of soybean, and introduce root nodule bacteria, fertilizers, and soil amendments to the deep subsoil layer. Nitrogen fixation activities at three to six weeks after the crack fertilization were significantly enhanced, and nodule number was also significantly increased at the lower portion of the root system. These results indicated that the soybean nodulation control, i.e. timing and position of nodulation, as well as the enhancement of nitrogen fixation activities were possible by the newly developed crack fertilization technique.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2008 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2009 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：作物学

科研費の分科・細目：生物・農学

キーワード：(1)環境調和型農林水産 (2)土壌圏現象 (3)生理学 (4)農業工学

## 1. 研究開始当初の背景

(1) わが国のダイズの平均収量は 1.6 ～ 1.9 t ha<sup>-1</sup> であり、世界的な平均収量の 2.4 t ha<sup>-1</sup> を下回る。このダイズの低

収量性を打破する栽培技術を新たに提案する必要がある。(2) ダイズの根粒による窒素固定能力を栽培技術により飛躍的に高めることができれば、低収量性を打破する新しい栽培技術につな

がる可能性がある。(3) 従来から提案されてきた深層施肥技術は、実際の農家による普及には至っておらず、同様に近年提案された生育期心土破碎技術も、必ずしも十分な収量向上が得られてはおらず、同様に普及はしていない。これらの技術の長所をうまく融合し、新たな種々の手法を組み合わせることで、窒素固定能力を飛躍的に向上させるような技術開発につながる。

## 2. 研究の目的

本研究では、上述した2つの技術の基本的な概念を融和させることによって、ダイズの窒素固定能力を向上させるような新しい栽培技術を提案するとともに、その効果を科学的に検証することを目的とした。具体的には、開花期直前に土壌に亀裂を生じさせ、ダイズの深層根を切断するとともに、土壌深層部に根粒菌と追肥を投入する。すなわち、開花期以降に土壌深層で新たな根系を発達させるとともに、これらの深根上での若い根粒発達を促すことによって、成育期後半にダイズ子実へ転流する窒素の供給量を増大させることを目指した。

## 3. 研究の方法

本研究では、(1) モデル系による検証と条件設定、(2) 実験圃場での検証、(3) 農家圃場での検討、の3つの実験系で根粒着生制御のメカニズム解明と、新技術の提案を目指した。

### (1) モデル系による検証

改良根箱法とポット試験により、根粒着生制御のメカニズムを解明することを目指した。ダイズの開花期直前に模擬的な亀裂施肥を実施し、その後の窒素固定能力をアセチレン還元法とウレイド態窒素生産速度により経時的に評価するとともに根粒の着生数と着生位置、根粒重量などを評価した。さらにダイズの生理的指標としてSPAD値と気孔コンダクタンスを経時的に調査するとともに、バイオマス生産を評価した。最終年度には併せて、摘心と表層追肥の効果についてもポット試験で検討した。

### (2) 実験圃場での検証

亀裂施肥機を3台試作し、愛知県、滋賀県、奈良県の3つの地域の実験圃場で行った。どのような資材を土壌深層に投入することによって根粒着生制御が可能なのかを評価するとともに、亀裂施肥が有効な土壌条

件と試作した亀裂施肥機の性能などを検討した。投入資材については、窒素、リン酸、カリ肥料の投入効果と投入量の検討、さらに根粒菌資材として土着の根粒の土壌深層への投入効果と市販の根粒菌資材投入効果、根粒菌の生息培地などを検討した。亀裂施肥が有効な土壌条件については、畑地と水田転換畑、さらに畑地での不耕起栽培と通常栽培での処理効果の判定を行った。調査項目としては、(1) で述べた指標とともに、収穫時調査として、種子収量、百粒重、種子数、主茎長、分枝数、節数などを調査した。いくつかの実験では、光合成蒸散速度の測定も併せて実施した。

### (3) 農家圃場での検討

奈良県桜井市の営農圃場において、水田転換畑での亀裂施肥実施による窒素固定能力と生産性の評価を実施した。調査項目としてはウレイド態窒素生産速度、気孔コンダクタンス、SPAD値、草丈、バイオマス生産、収穫時調査を実施した。最終年度には併せて、摘心と表層追肥の効果についてもポット試験と同様に検討した。

## 4. 研究成果

### (1) モデル系による検証

亀裂施肥により根粒の着生位置が制御可能かどうかを改良根箱法により調査した。土壌の下層領域において根粒着生数が顕著に増加することを明らかにするとともに、それらの根粒着生により窒素固定能力が高まることも確認した。また同様に、根粒の着生時期が制御できるかどうかについては、改良根箱法とともにポット試験でも確認した。開花後3～6週目に根粒着生数と着生重量が増加することを認めた。以上の結果から、亀裂施肥技術により根粒の着生位置と着生時期の制御が可能であることをモデル系で確かめた。最終年度に実施した摘心と表層追肥の効果については、両技術とも、その組み合わせと処理強度によっては効果があることを認めた。しかし、単年度試験による成果であるため、今後、繰り返し実験により安定的な効果が得られるかどうかを確かめる必要がある。

### (2) 実験圃場での検証

亀裂施肥機1号機2台と2号機1台を試作し、滋賀県立大学実験圃場において性能試験を行った。試作した亀裂施肥機は年度ごとに改良を加えており、今後特許申請の可能性があるので、現在まで

公表を控えている。1号機と2号機の性能に関しては、亀裂を生じさせる能力に極端な違いがあるが、両者の収量には違いを認めなかったため、今後、繰り返し試験を実施する必要がある。亀裂施肥の実施による窒素固定能力の向上に関しては、モデル試験同様、処理後3~6週目にかけて、アセチレン還元能とウレイド態窒素生産速度が顕著に増大することを認めた。すなわち圃場レベルでの亀裂施肥実施により、根粒による窒素固定活性を開花期以降に高めることに成功したといえる。投入資材の検討に関しては、肥料成分の投入による効果がある場合とない場合があり、現状では必ずしも結論には至っていない。窒素肥料の投入による効果は必ずしも得られないことから、肥料成分は必須ではない可能性が高いと現状では考える。いっぽう根粒菌資材については、その投入効果が著しいことが最終年度の結果から推定できる。とくに2カ年連続で炭資材を投入した場合には、著しい増収効果が得られるという実験結果を得たため、この現象が普遍的にみられるかどうか、今後、検討を重ねる必要がある。亀裂施肥が有効な土壌条件については、畑地と水田転換畑を比較すると、水田転換畑での増収効果がより高い傾向にあることを示唆した。このことは、水田転換畑の過湿害が亀裂の形成により緩和された可能性を暗示している。そのため、より高い増収効果が認められたのかもしれないが、圃場レベルでの過湿障害緩和については今後の課題である。なお滋賀県立大学実験圃場では、県の奨励品種であるタマホマレとともに、サチュタカ、エンレイ、オオツルの4品種を用いて処理効果の品種間比較検討も実施した。その結果最終年度のような気象条件下ではタマホマレとオオツルで顕著な増収効果を認めたため、適正品種とそうでない品種があることが明らかになった。いっぽう不耕起栽培条件では、通常耕起条件に比べより高い増収効果を認めた。このことは土壌の機械的ストレスが亀裂の形成により緩和されたためであると推定できる。ダイズの不耕起栽培はアメリカ合衆国やブラジルなどでは一般的な栽培技術であるが、我が国ではいまだ一般的とは言えず、今後の技術普及に伴い、亀裂施肥技術とともに実施することで普及につながる可能性があると考えられる。

### (3) 農家圃場

奈良県桜井市の水田転換畑における営農組合圃場で2カ年の連続亀裂施肥

試験を実施した。その結果、単年度実施よりも複数年亀裂施肥を実施したほうがより高い増収効果が得られた。この結果は、滋賀県立大学実験圃場においても同様の傾向が得られている。なお2010年度はダイズ生育にとって良好な気象条件であったためこのことが顕著な増収効果を得る要因として働いた可能性は否めない。すなわち9月から10月にかけての子実肥大期に下層土壌が過湿条件とはならなかった可能性がある。すなわち開花期以降に下層領域で形成された多数の根粒は、通常は秋の長雨によって生じる下層土の過湿条件によって活性を低下させていたのに対して、最終年度の気象条件では、成熟期後半まで窒素固定活性を維持できたのかもしれない。いっぽう、2カ年連続して亀裂施肥を実施することにより、土壌下層の根粒菌密度が高まり、その結果として成熟期の根粒活性維持に貢献した可能性もある。最終年度は、対照条件に対して1.5~1.6倍の増収効果が得られているため、この現象が次年度にも継続するかどうかを検討することによって本技術を普及ベースで推し進める価値があるかどうか明らかになると考える。なお、最終年度に実施した摘心と表層追肥の効果については、(1)と同様な傾向が得られたため、繰り返し実験が必要である。

### 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6件)

- ① Iijima, M., Honjo, H., Izumi, Y., Daimon, H., Tani, T., Hayashi, M. and Suzuki, T. 2011. Control of soybean nodule formation by the newly proposed cultivation method of crack fertilization technique. Plant Production Science 14 (2) 202-212. 査読有
- ② Iijima, M., Yoshida, T., Kato, T., Kawasaki, M., Watanabe, T. and Somasundaram, S. 2011. Visualization of lateral water transport pathways in soybean by a time of flight-secondary

ion mass spectrometry cryo-system.  
Journal of Experimental Botany 62 (6)  
2179-2188. 査読有

③ Izumi, Y., Yoshida, T. and Iijima, M.  
2009. Effects of Subsoiling to the  
Non-tilled Field of Wheat-soybean  
rotation on the root system  
development, water uptake, and yield.  
Plant Production Science 12 (3)  
327-335. 査読有

④ Somasundaram, D. Rao, T.P., Tatsumi, J.  
and Iijima, M. 2009. Rhizodeposition  
of mucilage, root border cells, carbon  
and water under combined soil physical  
stresses in *Zea mays* L. Plant  
Production Science 12 (4) 443-448. 査  
読有

⑤ Iijima, M. Morita, S. and Barlow, P.W.  
2008. Structure and function of the root  
cap. Plant Production Science 11 (1)  
17-27. 査読有

⑥ Somasundaram, S. Fukuzono, S. and  
Iijima, M. 2008. Dynamics of root  
border cells in rhizosphere soil of *Zea  
mays* L.: Crushed cells during root  
penetration, survival in soil, and long  
term soil compaction effect. Plant  
Production Science 11 (4) 440-446. 査  
読有

[学会発表] (計 3 件)

① 竹内 洸貴・泉泰弘・大門弘幸・山根浩  
二・飯嶋盛雄、亀裂施肥によるダイズ  
の根粒着生制御：投入資材が窒素固定

に及ぼす影響

日本作物学会、2010年9月5日、  
北海道大学農学部

② 飯嶋盛雄・本庄弘樹・泉泰弘・大門弘  
幸・鈴木哲司、亀裂施肥によるダイズ  
の根粒着生制御、日本作物学会、2009  
年 9 月 30 日、静岡県コンベンション  
ツアーセンター

③ 渡辺孝政・泉泰弘・飯嶋盛雄、硫安  
深層追肥によるダイズの成育改善効  
果の検証、日本作物学会、2007 年 9  
月 26 日、金沢大学

[図書] (計 1 件)

① 飯嶋盛雄 2008. 第 6 章 土壌の構  
造・組成・硬度との関係から見た根の  
成長と機能. 根の生態学. 森田茂紀編,  
シュプリンガー・ジャパン(株). p  
137-156.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

飯嶋 盛雄 ( IIJIMA MORIO )  
近畿大学・農業生産科学科・教授  
研究者番号：60252277

### (2) 研究分担者

大門 弘幸 ( DAIMON HIROYUKI )  
大阪府立大学大学院・生命環境科学  
研究科・教授  
研究者番号：50236783

( H20→H23 : 連携研究者 )

泉 泰弘 ( IZUMI YASUHIRO )  
滋賀県立大学・環境科学部・准教授  
研究者番号：90305558

( H20→H23 : 連携研究者 )

### (3) 連携研究者

山根 浩二 ( YAMANE KOJI )  
近畿大学・農学部・講師

研究者番号：50580859

(H22→H23)