

令和 5 年 5 月 11 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06003

研究課題名(和文) 根粒着生制御と混作の協働による水田転換畑ダイズの湿害緩和技術の開発

研究課題名(英文) Combination of close mixed-planting and crack-treatment to alleviate soil waterlogging stress of soybean in upland field converted from paddy

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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、「根粒着生制御」と「接触混植」の複合が、水田転換畑で栽培されるダイズの湿害ストレス緩和に有効かどうかを明らかにすることを目的として研究を開始した。その結果、水田転換畑では亀裂処理と接触混植のそれぞれの単独の湿害ストレス緩和効果を明確に認めた。しかし、両者を複合した場合の効果については、湿害ストレスの強度が強い年には複合効果を認めたが、ストレス強度が弱い場合には、明確な複合効果は認めなかった。すなわち年度ごとの気象環境とストレス強度によって傾向が異なるといえよう。今後、湿害ストレス強度とともに、湿害処理後の乾燥ストレス緩和を考慮する必要があることを認めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動の進行により、水田転換畑の排水能力を上回るような短時間強雨の発生頻度が高まることが想定できる。したがって、水田転換畑で栽培されるダイズは、一時的な土壌湛水ストレスにさらされる機会が増加すると推定できる。イネとの接触混植、亀裂処理とともに湿害緩和効果があることが明らかにされているが、両者を複合する栽培技術が構築できれば、より安定的な技術に昇華できる可能性がある。本研究では、直播と移植による接触混植がいずれも可能であり、イネとダイズを両者とも収穫できることを示した。さらに、経済的な価値が高い黒大豆にも亀裂処理が有効であることを示しており、今後の栽培技術の確立に貢献する可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：This study was initiated to determine whether the combined use of "nodulation control (crack treatment)" and "close mixed-planting" is effective in alleviating soil submergence stress in soybean grown in upland field converted from paddy. The results showed that both crack treatment and close-mixed planting alone were effective in relieving soil submergence stress. However, the combined effect of the two treatments was observed only in years with high moisture stress intensity, while no clear combined effect was observed in years with low stress intensity. In other words, the trend of the combined effect is considered to depend on the climatic environment and stress intensity of each year. In the future, it will be necessary to take into account not only soil submergence stress intensity but also dry stress relaxation after wet treatment.

研究分野：作物学

キーワード：close-mixed planting 接触混植 crack treatment 亀裂処理 crack fertilization 亀裂施肥 中耕亀裂処理

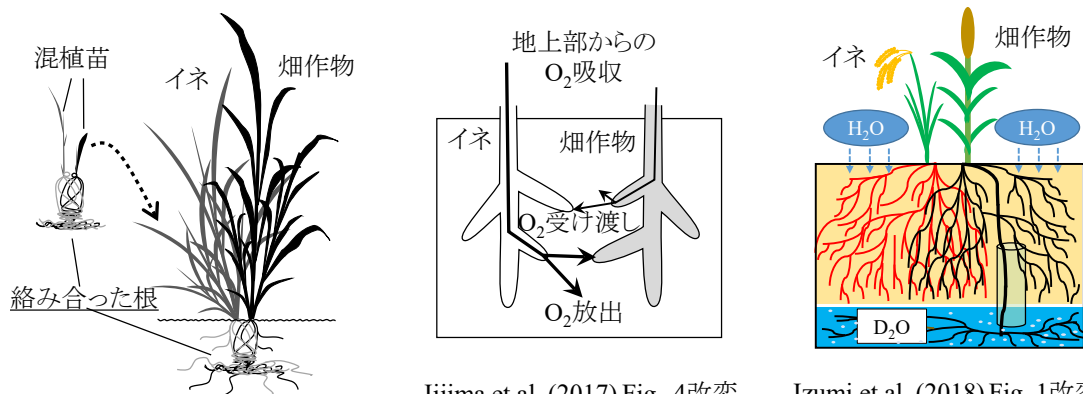
科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

日本では、全体の8割程度のダイズが水田転換畑（以下、転換畑と呼ぶ）で栽培される。転換畑は畑地と比べ保水能力が高いと同時に、排水不良となり湿害を生じ易い。とくに、最近では、気候変動の影響が顕在化し始め、熱帯（半乾燥）地域でみられるような、ゲリラ豪雨が日本でも夏季に頻発する状況にある。そのため、一時的に圃場全体が濁水で覆われるような洪水被害を受ける転換畑がみられ、今後、温暖化の進行とともに、転換畑の洪水被害がさらに拡大する可能性が高い。ダイズの湿害回避技術には、転換畑の灌漑排水を制御する地下灌漑排水システム（FOEAS）の施工等の土木的な対応があるが、施工効果の持続性や、排水効率、あるいは費用対効果から一部の転換畑にしか適用できていないのが現状である。いっぽう栽培技術による対応は、畝立て栽培が一般的であるが、畝上であっても、ダイズの根が一時的にでも湛水すれば収量低下のリスクがある。ダイズは幼植物期に湿害ストレスを受けると、その後、生育が改善しても収量が低下することが生産現場で問題となっている。したがって、気候変動下で頻発すると想定される洪水被害に対応するためには、湿害ストレスを受けたダイズの生育を改善するとともに収量低下を減ずるための新たな栽培技術の開発が喫緊の課題と言えよう。

## 2. 研究の目的

本研究では、代表者らが提唱した萌芽的な概念を組み合わせ、革新的な湿害ストレス緩和技術を考案することを目指す。ダイズとイネという異科作物を同一の株状態で栽培し、両者の根を密に絡み合わせる接触混植（第1図）により、イネの根が根圏土壤中に放出する酸素を湛水条件下でダイズに供給する。さらに、ダイズ/イネ混植群落に対して、中耕時の亀裂処理を行うことにより、ストレス記憶を継承する可能性がある根端部を切断し、土壌の通気性を改善する。転換畑でイネとダイズを、同一の株状にして、栽培することは現状では非常識な概念である。しかし、温暖化の影響は、今後、徐々に深刻化することが予想されるため、大胆な栽培技術の改変に関する基礎的な検討を今から進める必要がある。亀裂処理と接触混植は、いずれも萌芽的な栽培概念であるため、現状では、申請代表者らの研究グループ以外では研究が進んでいない。したがって、学術的に独自の試みであり、かつ、創造性が顕著に高い着想といえる。



Awala et al., (2019) Fig. 1改変

Iijima et al. (2017) Fig. 4改変

Izumi et al. (2018) Fig. 1改変

**第1図** 接触混植による環境ストレス耐性強化。(左) 根を密に絡み合わせる。  
 (中央) イネの根から漏れ出た酸素を畑作物が吸収。モデル系で酸素吸収量を定量。  
 (右) ハイドロリックリフトにより畑作物の根から漏れ出た水を、イネが吸収したことを証明。

### 引用文献

- Awala SK, Yamane K, Izumi Y, Mwandemele OD, Iijima M\*. 2019. Alleviative effects of mixed-cropping with rice on the growth inhibition of pearl millet caused by flooding at reproductive stage. *Journal of Crop Improvement*, 33: 42-52.
- Izumi Y\*, Okaichi S, Awala SK, Kawato Y, Watanabe Y, Yamane K, Iijima M. 2018. Water supply from pearl millet by hydraulic lift can mitigate drought stress and improve productivity of rice by the close mixed planting. *Plant Production Science*, 21: 8-15.
- Iijima M\*, Hirooka Y, Kawato Y, Watanabe Y, Wada K, Shinohara N, Nanhapo P, Wanga M, Yamane K. 2017. Short term evaluation of oxygen transfer from rice (*Oryza sativa*) to mixed planted drought-adapted upland crops under hydroponic culture. *Plant Production Science*, 20: 434-440.

### 3. 研究の方法

本研究では、上述した2つの萌芽的な栽培技術を複合した場合の、ダイズに対する湿害ストレス緩和効果を、3カ年にわたる圃場試験により明らかにする。具体的には、根粒着生制御と接触混植、それぞれの単独と複合処理における生育・収量改善効果を比較する。滋賀県立大学の実験水田にてフィールド実験を行った。供試種はダイズ(タマホマレ)とイネ(IRAT109)を用いた。畑地を維持する対照区と亀裂処理を行う亀裂区、土壌湛水処理を行う湿害区、湛水処理後に亀裂処理を行う湿害亀裂区に、ダイズ単植区、イネ単植区、接触混植区を組み合わせた計12処理区を設定して実験を行った。光合成・蒸散速度は2020年試験は播種後67日目(DAS67)、2021年試験はDAS75、2022年試験はDAS55に測定した。収穫後、地上部乾物重と収量および収量構成要素を測定し、LERを算出した。いっぽう、兵庫農試では高付加価値で取引される黒ダイズにおいても亀裂処理効果が得られるかどうかを実験水田にて試験した。丹波黒を供試し、2021年と2022年の6月から12月まで実験を行った。畑地を維持する対照区と亀裂処理を行う亀裂区、土壌湛水処理を行う湿害区、湛水処理後に亀裂処理を行う湿害亀裂区のすべてに対して、黒ダイズを単植し、収量調査を実施した。

### 4. 研究成果

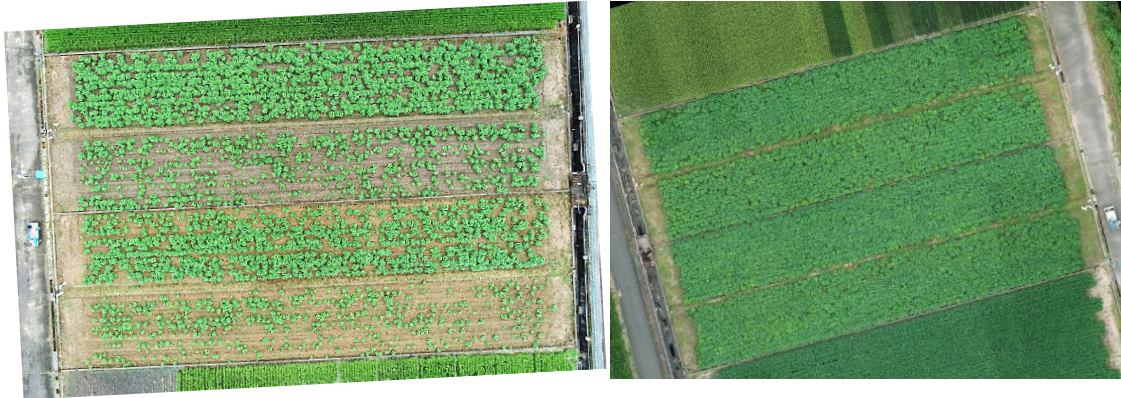
まず滋賀県立大学の結果をみると、2020年試験では混植ダイズの光合成速度において亀裂区が対照区の1.33倍となった。亀裂処理によって新根の発生を促進したことでダイズの生理機能が高まった。一方で、収量性に関しては亀裂処理の有意な効果はなかった。2021年試験以降は亀裂処理を入れる機械の先端に鉄製のプレート装着したことで土壌物理性の改善と新根の発根をより促進させるよう改良した(第2図)。2021年試験では単植区におけるダイズの光合成速度と収量では、亀裂区が対照区のそれぞれ1.12倍と1.24倍となった。8月の降水量が潤沢であったことが影響して有意な増収効果があらわれたと考えられる。一方で、2022年試験における収量は混植区の亀裂区が対照区より高い値となったが、有意な亀裂による効果はみられなかった。LERは対照条件で1.30前後の値を示し、湿害条件では2021年試験は1.50であり、2022年試験は1.60となっており湿害環境下での混植の有用性が確認された。以上のことから、湿害条件下において陸稲との接触混植によってダイズの湿害緩和効果がみられたといえよう。



第2図 滋賀県立大学実験圃場にて実施した中耕亀裂処理。イネ/ダイズ接触混植個体群に対して、亀裂処理を実施したところ湿害緩和効果を認めた。

2021年試験の結果からは、混植ダイズにおいても亀裂処理は増収効果を高めることがわかった。とくに亀裂処理後に降水量が多い場合には土壌深層まで水分が浸透し、新根発生を促進することによって処理効果が得られたと考えられる。しかし、両処理の相乗効果については必ずしも認められなかった。いっぽう、2022年試験のような処理後の降水量が少ない環境では発根促進が阻害されると考えられ、亀裂処理による有意な効果はみられなかったが、混植ダイズでは亀裂区において湿害緩和効果を認めた。2022年試験においても前年度試験と同様に両処理の複合効果自体を得られることはできなかった。したがって両処理の組み合わせについてはさらなる検討が必要であると判断できる。

次に兵庫県立農林水産技術総合センターで実施した黒ダイズの亀裂処理試験をみると、2021年試験(第3図)では湛水期間を当初予定の7日間とした結果、著しい立ち枯れが発生した。黒ダイズでは、土壌湛水ストレス処理後の立ち枯れ拡大が、白ダイズと比べ大きいのかもかもしれない。砂質土壌では亀裂処理効果は強亀裂処理と弱亀裂処理の両者とも対照区、土壌湛水処理区ともに認められた。立ち枯れ発生により、試験区間のバラツキが大きくなったが、平均値で比較すると亀裂処理により湿害緩和が可能であることが伺われた。したがって、今後の社会実装の可能性がありうることが判明した。いっぽう粘質土壌では亀裂処理効果は認められなかった。粘質土での通気性改善効果が根の切断に伴う一時的な生育抑制を上回らなかったと考察できる。2022年試験では、苗立ち確保のために、黒ダイズの播種時期を例年よりも早くした。また、立ち枯れ発生に備えて、土壌湛水期間を短めに設定したところ、6月~7月が例年になく高日射条件となったため、黒ダイズの栄養成長が過剰で著しく蔓化した。その結果、乾物生産量と収量のバランスが損なわれたことから、対照条件の収量が前年度の6割程度の低収となり、亀裂処理の効果は明確にはならなかった。今後、立ち枯れ性病害の発生が少ない黒ダイズ品種を導入し、適切な播種時期に作業を実施することで、明確な処理効果を得られるように検討を進めていく必要がある。



第3図 兵庫県立農林水産技術総合センターで実施した黒ダイズの亀裂処理試験の俯瞰図  
左図 2021年度試験 上から壤土・対照区、壤土・湛水区、軽埴土・対照区、軽埴土・湛水区  
右図 2022年度試験 上から軽埴土・対照区、軽埴土・湛水区、壤土・対照区、壤土・湛水区

以上の成果は、気候変動が進行する近未来において、ダイズの湿害緩和技術を構築するうえでの基礎的な知見となることが期待できる。なお、本研究で用いた接触混植も亀裂処理も、国内外において他に例をみない萌芽的な栽培技術であるため、以上の基礎的な知見が契機となって、さらなる栽培技術の飛躍に結びついていくことが期待されよう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Iijima Morio, Hirooka Yoshihiro, Kawato Yoshimasa, Shimamoto Hitoshi, Yamane Koji, Watanabe Yoshinori	4. 巻 25
2. 論文標題 Close mixed-planting with paddy rice reduced the flooding stress for upland soybean	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant Production Science	6. 最初と最後の頁 211-217
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/1343943x.2021.2021093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yamane Koji, Mariyama Miki, Hirooka Yoshihiro, Iijima Morio	4. 巻 22
2. 論文標題 Root pruning is effective in alleviating the inhibition of soybean growth caused by anaerobic stress for a short period	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Integrative Agriculture	6. 最初と最後の頁 1035 ~ 1044
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jia.2022.08.028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大塚 珠映, 赤司 匠, 廣岡 義博, 飯嶋 盛雄
2. 発表標題 イネ/ダイズ接触混植における競合と補完関係
3. 学会等名 日本作物学会第 253 回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大塚 珠映, 廣岡 義博, 泉 泰弘, 庄司 浩一, 飯嶋 盛雄
2. 発表標題 接触混植と亀裂処理の組み合わせによるダイズの湿害緩和効果の検討
3. 学会等名 日本作物学会第255回講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	泉 泰弘  (Izumi Yasuhiro)  (90305558)	滋賀県立大学・環境科学部・教授   (24201)	
研究 分担者	牛尾 昭浩  (Ushio Akihiro)  (60463353)	兵庫県立農林水産技術総合センター・農業技術センター・主 席研究員   (84508)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------