

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：82104
研究種目：挑戦的研究（開拓）
研究期間：2019～2023
課題番号：19H05541・20K20456
研究課題名（和文）超越的高収量・高水生産性水稲ヒコバ工栽培法のメカニズムと環境負荷低減効果の解明
研究課題名（英文）Mechanism of high yield and high water productivity cultivation method for ratooning rice and its effect on reducing environmental impact
研究代表者
白木 秀太郎（Shiraki, Shutaro）
国立研究開発法人国際農林水産業研究センター・農村開発領域・主任研究員
研究者番号：90837501
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 20,050,000円

研究成果の概要（和文）：栽培試験結果から前作稲収穫前後の4週間の土壌乾燥が再生イネの籾収量を50%以上増加させることが確認された。これにより、前作収穫前後の水管理が再生イネの収量向上に重要であることが示された。また、再生二期作の水分消費特性は水稲一期作と異なること明らかになり、再生二期作の旺盛な分げつ特性が影響していることが示された。再生二期作の灌漑計画は一期作との水消費特性の違いを考慮する必要がある。メタ解析により、再生イネの穂数は一期作に比べて19%増加し、生育期間は41%短縮するが、一穂籾数と籾収量はそれぞれ48%、56%減少することが明らかになった。再生イネは穂数に依存する収量形態を持つことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、低収量を引き起こすイネの再生特性を明らかにし、その特性に応じた栽培技術や水管理に関する新たな知見を提供した。これにより、農学分野における再生イネ研究の関心が高まり、新たな栽培技術の開発が促進されることが期待される。また、低投入型の再生イネ栽培技術が向上し普及することで、持続可能な農業の推進と食料安全保障の向上に寄与する。特に、途上国における農業生産の効率化と環境負荷の低減に貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：Results from the cultivation trials found that soil drying during the harvest period of the main crop increased the grain yield of ratoon crop by over 50%. This indicates that water management before and after the main crop's harvest is crucial for improving the yield of ratoon crop. Additionally, our study revealed that the water consumption features of ratoon crop differ from those of the main crop, influenced by the vigorous tillering of the ratoon crop. Therefore, irrigation planning for the ratoon rice cropping needs to consider these differences in water consumption features. Our analysis showed that the number of panicles in ratoon crop increased by 19% compared to the main rice crop, while the growth period was shortened by 41%, and the number of spikelets per panicle and grain yield decreased by 48% and 56%, respectively. Our study also showed that the ratoon crop has a yield component dependent on the number of panicles.

研究分野：灌漑農業、再生稲栽培

キーワード：水稲再生栽培 生育モニタリング 栄養塩類

1. 研究開始当初の背景

再生イネによる水稻二期作栽培（一期作収穫後のイネの株から生えるヒコバエを栽培する農法）は、育苗、代かき・田植えを必要としないため、従来水稻二期作に比べて労働および生産コストを削減できることが知られている。また、気候変動への適応および緩和策として有用であると報告されている。しかし、再生イネの単収は従来の移植栽培による一期作と比較して 40～60%に留まるため、商業規模の栽培は限定され、主に一期作の補充栽培として実施されている。

近年、インドネシアの西スマトラ州で開発された新たな熱帯多年生イネ栽培（現地名 SALIBU Teknologi）は、従来の再生イネの収量概念を覆し、一期作と同等の収量を維持しつつ、二期作目以降も連続的に作付けと収穫を繰り返すことが実証されている。

本研究の目的は、再生イネ栽培である SALIBU 農法が、高収量を低資源（水、土地、労働力等）投入量で達成する一連のメカニズムを解明し、この栽培法による環境負荷低減効果を評価することである。

2. 研究の目的

ミャンマー、ベトナム、インドネシアにおいて再生イネに関する栽培試験を行い、品種および環境条件（土壌、水、気候および栽培法）の違いがイネの収量に与える影響を明らかにし、再生イネ栽培が高収量を低資源投入で達成するメカニズムを解明する。また、水田ほ場の水位・水質モニタリングおよび水質分析を通じて栄養塩収支および動態を分析し、この栽培法による環境負荷低減効果の評価を行う。

3. 研究の方法

品種と栽培条件の交互作用に着目した再生イネ栽培試験および SALIBU 栽培試験は、ミャンマー農業畜産灌漑省農業研究局、ベトナム・クーロンデルタ稲研究所およびフエ農林大学、インドネシ・ポゴール農科大学の試験圃場で実施した。また、ミャンマーの農業研究局実験水田において、水質動態の傾向を明らかにするため、田面水の各種溶存栄養塩類濃度（硝酸態窒素、アンモニア態窒素、窒素、リン酸態リン、全リン濃度）の分析およびモニタリングを実施した。

令和 2 年度以降はコロナ禍やミャンマー国内情勢の混乱の影響でミャンマーへの渡航が困難となったことから、ベトナムにおいて再生イネの栽培試験を実施するとともに、水田圃場からの栄養塩排出負荷量の推定手法の確立に向けて、国内の水田圃場において、田面水の栄養塩等濃度の分析およびモニタリングを実施した。

4. 研究成果

(1) 再生イネ栽培のための前作収穫前後の水管理

本課題では、SALIBU 栽培管理における前作収穫前後の土壌水分と株刈り回数が再生イネの収量性に及ぼす影響について検証した。試験の結果、前作稲収穫前後の 4 週間にわたって土壌乾燥条件で水管理を行った再生イネの初収量は、飽和条件で水管理を行った場合に比べて 50%増加した。一方、前作収穫後に行う再生作のための追加的な株刈りは、増収効果を示さなかった。これらの結果は、SALIBU 農法と一致しないものであり、再生イネ栽培が品種の遺伝的要因や栽培条件などの環境要因に強く影響されることを示唆している（図 1）。

以上から、再生イネの収量性向上には前作収穫前後の土壌乾燥が有効であることが示された。また、再生作のための追加的な株刈りの効果は限定的であり、今後は栽培条件や品種の選定が重要な課題となる。

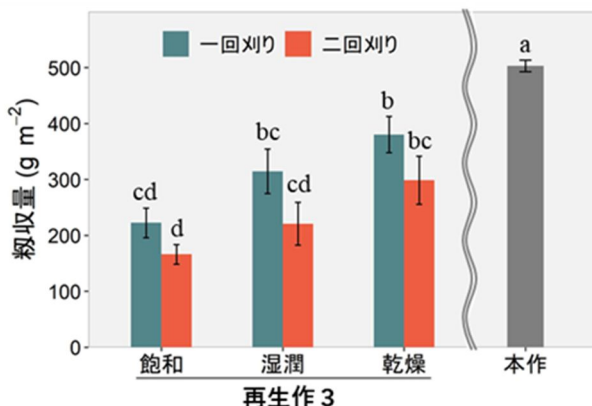


図 1 刈り取り回数・土壌水分処理の違いと再生イネの初収量 Modified Shiraki et al. 2020)

(2) 再生二期作の水分消費

本課題では、水稻再生二期作の用水計画策定に必要な再生イネの水分消費割合を明らかにした。その結果、一期作に対する再生二期作の蒸発散量と蒸発量の割合は次のとおりであった。雨

期作では蒸発散量が 59%、蒸発量が 55%であり、冷涼乾季作では蒸発散量が 74%、蒸発量が 82%であった。これらのデータは、再生二期作の一期作に対する蒸発散量と蒸発量の割合はほぼ同等であることを示しており、一期作と再生二期作の水分消費量の違いは主に作付期間の気候条件の違いに起因することを示唆している。再生二期作と同時期に栽培される水稻一期作の水消費量に大きな違いはない可能性がある。さらに、再生二期作では生育初期から分けつが旺盛であり、株当たり茎数は一期作の約 2 倍であった。この分けつ形態の違いが水分消費割合に影響していることが明らかとなった（図 2）。以上の結果から、再生イネを用いた水稻二期作では、一期作と再生二期作の水分消費特性の違いを考慮した用水計画の策定が必要であることが示された。

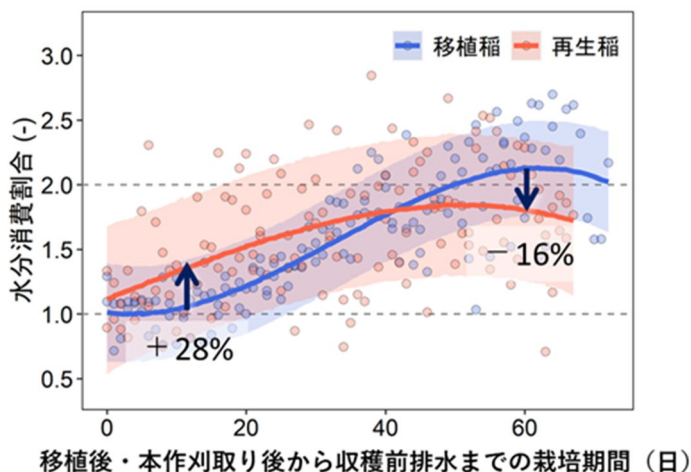


図 2 移植イネと再生イネの生育に応じた水分消費割合 (Modified Shiraki et al. 2021)

(3) イネの再生特性

イネの収量性、早晩生、栽培地などの栽培条件の違いが収量関連形質の再生能に与える影響を評価し、イネの再生特性と収量性との関係を明らかにした。1976 年から 2022 年までの先行研究および本研究の栽培試験データを用いて分析した結果、以下の点が明らかになった。

- ・ 再生二期作の単位面積当たりの穂数は一期作に比べて 19%増加する一方、生育期間は 41%短縮し、一穂籾数や籾収量はそれぞれ 48%、56%減少する (中央値)(図 3)
- ・ 生育期間の短縮は草丈、穂長、籾収量の減少に影響を与え、再生イネ栽培は出穂を早め、幼穂分化を制限することで一穂籾数を半減させ、収量を穂数に依存する収量構成へと転換させることを示唆している。
- ・ 再生イネの茎数は品種や栽培環境などの遺伝的および環境的要因の影響を受けやすく、変動が大き一方で、一穂籾数、生育期間、千粒重は比較的影響を受けにくい(図 4)
- ・ 相関・因果関係の分析から、再生二期作の減収要因は再生イネの生育期間の短縮による出穂の早期化が節間伸長や幼穂分化を制限し、一穂籾数を半減させることにありと仮説立てられた。

以上の成果は、再生二期作における品種や栽培管理技術の開発において重要な指針となるものである。

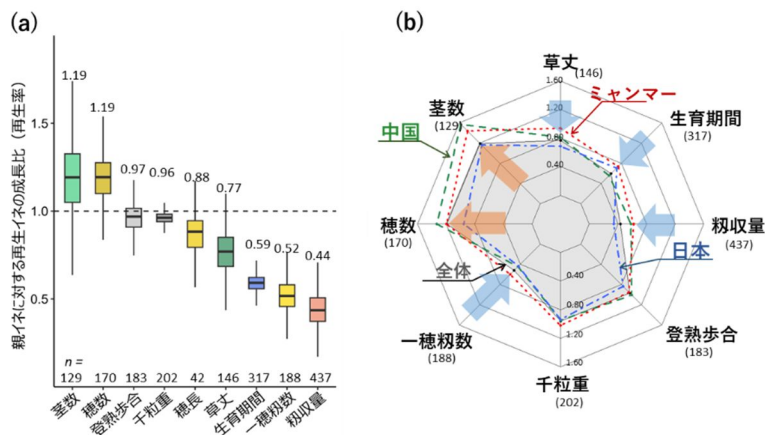


図 3 収量関連要素の(a) 再生比 (一期作に対する二期作の生長比) (b) 再生比の国別比較 (Modified Shiraki et al. 2024)

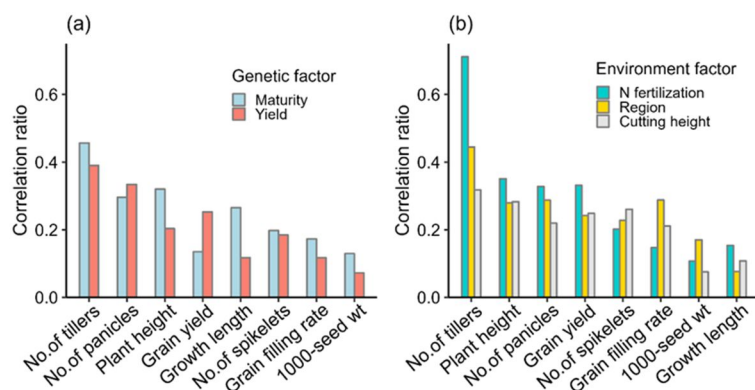


図 4 品種や栽培管理などの(a) 遺伝的および (b) 環境的要因が収量関連形成の再生比に与える影響 (Modified Shiraki et al. 2024)

(4) SALIBU 栽培実験

本研究では、地下灌漑と伝統的な湛水面灌漑の2つの灌漑供給システムにおける SALIBU 栽培実験を実施した。品種は IPB 3S を用いて稲作集約化システム (SRI) 法により、苗 14 日齢を株間 $30 \times 30\text{cm}$ (1 本/株) で移植した。肥料は堆肥と化成肥料を併用した。実験には $2 \times 2 \times 0.5\text{m}^3$ の2つの実験箱を用い、2つの異なる灌漑システムを比較した：a) シートパイプ灌漑 (SSI) と b) 従来の湛水面灌漑 (CFI) システム (図 5)。

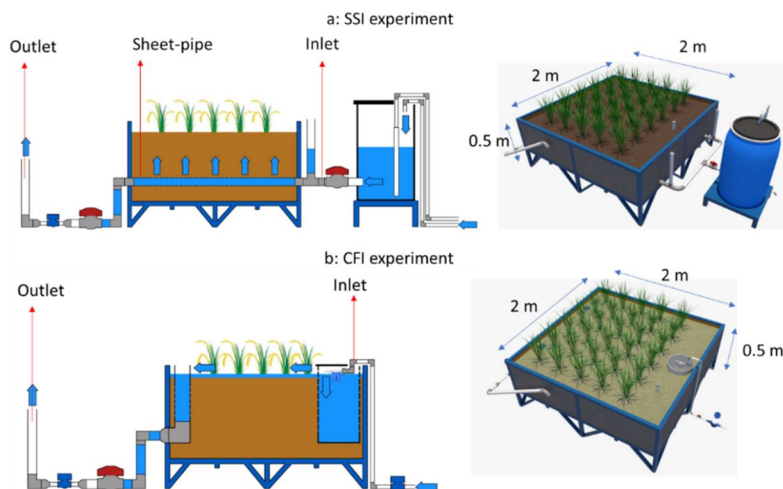


図 5 実験ボックス: a) SSI 処理、b) CFI 処理

圃場データから、栽培期間中の水位動態には CFI 処理と SSI 処置の間で明瞭な差異が見えられた。SSI 処理区と CFI 処理区の平均水位深度は、それぞれ土壌表面から 3.6cm、3.8cm であった。SSI 処理区の土壌水分の平均は $0.285 \text{ m}^3/\text{m}^3$ で、SSI 処理区の方が乾燥していた。一方、CFI 処理の平均土壌水分は $0.471 \text{ m}^3/\text{m}^3$ であった。CFI 処理区の平均土壌 EC は 0.669 mS/cm 、SSI 処理区の平均土壌 EC は 0.391 mS/cm であった。一期作の籾収量については、CFI 処理区が 4.84 トン/ha 、SSI 処理区が 3.64 トン/ha であり、CFI 処理は SSI 処理より 24.5%増収した。しかし、CFI 処理は SSI 処理よりも 39.2%多く灌漑を必要とした。水利用効率は、CFI 処理と SSI 処理がそれぞれ 1.10 kg/m^3 と 1.36 kg/m^3 であった。本実験では、刈り株からヒコバエが発芽せず、SALIBU 栽培の効果を確かめることができなかった (図 6)。SALIBU 栽培に適した品種の探索や品種改良を含むさらなる研究が必要である。



図 6 一期作収穫後の SALIBU 処理

(5) 栄養塩濃度の簡易推定手法の構築

ミャンマー再生イネ栽培試験区および慣行移植農法区の 2 種類の実験対象水田区画における田面水中の各種栄養塩濃度のうち、全窒素および全リン濃度の推移を図 7 に示す。移植日以降、各実験区での施肥や刈り取りのタイミング、その後の経過日数に応じた各種栄養塩濃度の変遷の様子や特徴が捉えられた。再生イネ栽培試験区および慣行移植農法区のどちらにおいても、施肥直後の栄養塩濃度の急激な上昇やその後数日での減少の様子が確認され、栄養塩流出量抑制のためには施肥直後の水田水管理が重要であることが示唆された。

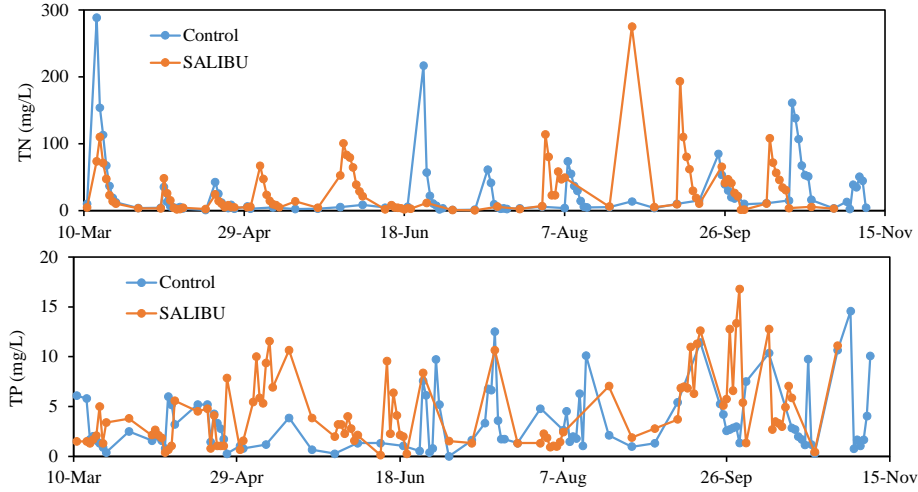


図 7 現地実験対象水田区画における田面水中の栄養塩濃度

国内の水田圃場の田面水の全窒素、アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) 濃度、硝酸・亜硝酸態窒素、全リン、リン酸態リン、COD (化学的酸素要求量) の分析を行い、水温、水深、電気伝導度、SS (浮遊物質) 濃度の連続モニタリングデータを用いて、機械学習 (ANN) による栄養塩濃度の推計モデルのプロトタイプを作成した。推定値の検証例から、依然として精度改善の余地はあるものの、容易にモニタリング可能なデータを用いた栄養塩濃度の推定がある程度可能であることが示された (図 8)。今後は、本手法を応用した各圃場からの栄養塩類流出量の計算手法の構築が望まれる。

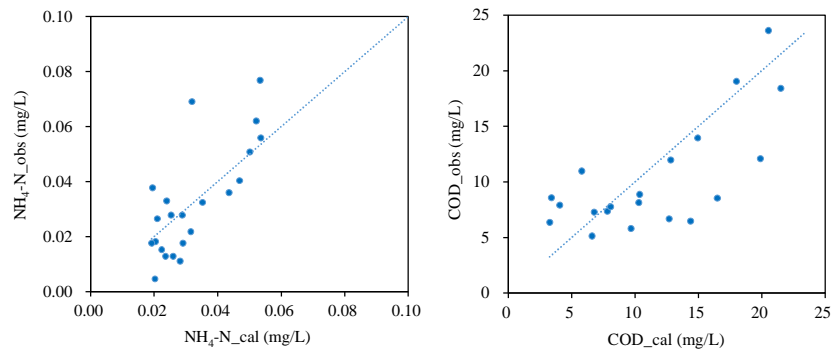


図 8 栄養塩濃度の簡易推定手法の検証例

< 引用文献 >

- Shiraki, S., Kywae, Thura, Lea, L. M., Thin, M.C., Kyaw, M, Ni, N., Oo, M. T., Loon, P. P., Aung, T. K. (2024). The general ratooning ability of rice yield-related traits: A meta-analysis. *Agron J*, 1-16.
- Shiraki, S., Thin, M.T., Khin, M.H., Yamaoka, K. (2020). Effects of the double-cutting method for ratooning rice in the SALIBU System under different soil moisture conditions on grain yield and regeneration rate. *Agron*, 10(11): 1621.
- Shiraki, S., Cho, T. M., Matsuno, Y., Shinogi, Y. (2021). Evapotranspiration and crop coefficient of ratoon rice crop determined by water depth observation and bayesian inference. *Agron*, 11(8): 1573.

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 3件／うちオープンアクセス 3件）

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名 白木秀太郎・Kywae・Thura・Lae Lae Mon・Thin Mar Cho・Kyaw Myaing・Nwe Ni・May That Oo・Loon Poe Poe・Aung kyaw Thu | 4. 巻 116 |
| 2. 論文標題 The general ratooning ability of rice yield-related traits: a meta-analysis | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Agronomy Journal | 6. 最初と最後の頁 504-519 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/agj2.21521 | 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 該当する |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1. 著者名 Shiraki Shutaro・Cho Thin Mar・Matsuno Yutaka・Shinogi Yoshiyuki | 4. 巻 11(8):1573 |
| 2. 論文標題 Evapotranspiration and Crop Coefficient of Ratoon Rice Crop Determined by Water Depth Observation and Bayesian Inference | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Agronomy | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/agronomy11081573 | 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 該当する |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. 著者名 Shutaro Shiraki, Thin Mar Cho, Khin Mar Htay, Kazumi Yamaoka | 4. 巻 10(11):1621 |
| 2. 論文標題 Effects of the Double-Cutting Method for Ratooning Rice in the SALIBU system under Different Soil Moisture Conditions on Grain Yield and Regeneration Rate | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Agronomy | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/agronomy10111621 | 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 該当する |

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 白木秀太郎・Kyawe・New Ni・Aung Kyaw Thu |
| 2. 発表標題 Cultivating perennial rice for climate adaptation: Temperature effects and yield benefits in Myanmar |
| 3. 学会等名 The 2023 Conference of International Society of Paddy and Water Environment Engineering（国際学会） |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|----------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 白木秀太郎・Thin Mar Cho・Kyaw Myaing・Aung Kyaw Thu. |
| 2. 発表標題 多年生稲の収量関連形質の再生長特性：メタ分析 |
| 3. 学会等名 日本作物学会第255回講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---------------------------------------------|
| 1. 発表者名 白木秀太郎・Thin Mar Cho・Aung Kyaw Thu |
| 2. 発表標題 再生稲（ひこばえ）栽培による節水型水稲作付け体系の構築に向けて |
| 3. 学会等名 農業農村工学会大会講演会（第70回） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 Yi Zhengming・溝口勝・杉野弘明 |
| 2. 発表標題 SRIにおける稲倒伏耐性に関する研究 |
| 3. 学会等名 土壤物理学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--------------------------------------------|
| 1. 発表者名 白木秀太郎、チョウミャン、テンマンチョウ、山岡和純 |
| 2. 発表標題 ミャンマー国におけるSalibu栽培法による再生イネの収量評価 |
| 3. 学会等名 日本作物学会第249回講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

再生稲の水分消費は、移植稲と比較して生育初期で大きく生育後期で小さい
https://www.jircas.go.jp/ja/publication/research_results/2021_a02
水稲再生作では前作稲収穫前後の土壌乾燥が再生稲の収量性を高める
https://www.jircas.go.jp/ja/publication/research_results/2020_a04
メタ解析で解き明かされたイネの再生特性と再生イネの穂数依存型の収量構成
https://www.jircas.go.jp/ja/publication/research_results/2023_a01

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 | 山岡 和純 (Yamaoka Kazumi) (70463883) | 国立研究開発法人国際農林水産業研究センター・企画連携部・再雇用職員 (82104) | 2022.3に退職 |
| 研究分担者 | 溝口 勝 (Mizoguchi Masaru) (00181917) | 東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授 (12601) | |
| 研究分担者 | 木村 匡臣 (Kimura masaomi) (80725664) | 近畿大学・農学部・准教授 (34419) | |

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1件

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 国際研究集会 ミャンマー農業研究局再生稲研究ワークショップ(JIRCAS-DAR Workshop for Ratoon Rice Research) | 開催年 2022年~2022年 |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|

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 |
|---------|---------|

| | | | | |
|--------|-------------|--------|--|--|
| ミャンマー | 農業研究局 | | | |
| ベトナム | ケーロンデルタ稲研究所 | フエ農林大学 | | |
| インドネシア | ボゴール農科大学 | | | |