

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14841

研究課題名（和文）広域評価に向けた作物生育情報収集技術の開発

研究課題名（英文）Development of a method for gathering crop growth information for wide-area evaluation

研究代表者

廣岡 義博（Hirooka, Yoshihiro）

近畿大学・農学部・准教授

研究者番号：80780981

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：近年、土地利用型作物栽培の一層の効率化が求められており、非破壊計測によって簡易的に作物の生育状態を評価し、その評価手法を広域展開していくことが重要であると考えられる。本研究では、現在までに開発してきた生育動態に関するパラメータと実際の作物の生産性の比較検証を行うことで、群落閉鎖後の品種固有の生理パラメータを利用することによって、収量の推定精度が改善されることを示唆した。また、イネとダイズの生育動態の広域評価に適した植生指標を特定することができた。さらに、連続的な非破壊計測によって得られた作物生育情報と機械学習を利用したササゲ収量予測モデルを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リモセンを用いた作物生育の広域評価手法の開発によって、従来の観測手法では難しかった広範な農地の状態を効率的に把握することが可能になると考えられる。また、異なる環境条件下での作物の生育パラメータと生産性との関連性を解明し、品種ごとの生育特性や生理パラメータの影響を詳細に調査した本研究は、作物生理学的な理解を深め、新たな育種戦略の提案にもつながると考えられる。さらに、今後気候変動などの影響を受ける農地においては、効率的な作物栽培管理は持続可能な農業を実現するために不可欠であり、本研究で開発した機械学習を利用した作物収量予測モデルは安定したストレス環境下の農業生産に寄与することが期待される。

研究成果の概要（英文）：In recent years, there has been a growing demand for increased efficiency in land-use crop cultivation. It is considered important to evaluate crop growth conditions through non-destructive measurements and develop evaluation methods suitable for a wide geographical area. In this study, we compared and verified the parameters of growth dynamics with crop productivity and suggested that the accuracy of yield estimation can be improved by using cultivar-specific physiological parameters during the late growth stage. Additionally, we identified suitable vegetation indices to evaluate the growth dynamics of rice and soybeans. Furthermore, a cowpea yield prediction model was developed using machine learning and crop growth information obtained through continuous non-destructive measurements.

研究分野：作物学

キーワード：イネ ダイズ ササゲ 非破壊計測 機械学習 植生指標 収量予測

様式 C - 19 , F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、土地利用型作物栽培の一層の効率化が求められており、国内外問わず多数の農地において管理支援が必要とされている (Mariano et al., 2012). 気候変動下の世界各地で、干ばつや豪雨による一時的な洪水状態が原因となり、作物の発芽不良や生育阻害が生じるなど、多様な環境ストレスによる問題が引き起こされている (Lesk et al., 2016). 例えば、日本国内での水田転換畑におけるコムギやダイズの栽培においては湿害が生じやすく、施肥法から病害虫管理まで課題が多い (Iijima et al., 2022). さらに、発展途上国ではこれらの問題はより一層深刻である。このような気候変動下の農家圃場における作物栽培の効率化のための方策として、リモートセンシングを利用した生育状態の把握、評価およびそれらの情報の可視化が注目されている。

リモートセンシングによって生育情報の収集を行う場合、播種や移植日、品種、肥料の違いなどの影響があると一般化が困難である。また、1回の計測より、経時的な複数回の計測を用いて推定を行う方が、原理的に精度を高めることができる。研究代表者はこれまでに非破壊計測機器によって生育動態モニタリングを行い、温度関数を用いて最大増加率などの生育パラメータを算出することで、多様な環境下での作物の生育動態を定量的に評価する手法を開発してきた (Hirooka et al., 2016). しかしながら、上記の手法だけでは群落閉鎖後 (生育後期) の生育情報の収集は難しく、また、群落内からの計測であるため広域評価が困難であった。したがって、今後は、生育期間を通じた広域評価への応用を前提に、作物生育情報の収集技術を開発していくことが重要であると考えられる。

2. 研究の目的

上記のような背景に対して、非破壊計測による作物生育の評価手法を確立し、広域展開可能性を検討することが重要であると考えられる。そこで、本研究では、1) 非破壊計測によって得られた生育動態に関するパラメータと実際の作物生産性の比較検証を行うこと、2) 作物生育動態の広域評価に適した植生指標を検討すること、3) 非破壊計測と機械学習を利用した作物収量予測モデルを開発することによって、広域評価に向けて、作物生育情報を簡易的に収集するための技術を提案することを目的としている。

3. 研究の方法

上記の目的に対して、以下の3つの実験・解析を実施した。

1) 生育動態に関するパラメータと実際の生産性の比較検証

イネ6品種を多様な栄養環境下で3か年栽培し、プラントキャノピーアナライザー (LAI-2200, LI-COR, USA) によって多頻度の生育動態モニタリングを行い、温度関数を用いて葉面積や被覆率に関するパラメータを算出した。実測値として移植から出穂期までの乾物生産速度 (CGR)、窒素吸収速度 (NUE)、日射利用効率 (RUE)、および出穂期の葉身窒素含量 (LNC) を算出した。さらに、登熟期に収量および地上部乾物重を実測した。非破壊計測値から算出したパラメータとそれぞれの実測値の比較およびパラメータを用いた収量予測を行った。

2) 広域評価に向けた生育動態推定に適した植生指標の検討

多様な水環境下でのダイズ栽培試験

ダイズ (フクユタカ) を水環境が多様である農家圃場で異なる施肥・栽植密度条件で2か年栽培した。播種後50日目以降に24プロットを分光放射計 (MS-720, EKO Instruments, Japan) を用いて分光反射率計測を行った。同時に、ドローン (Mavic pro 2, DJI Technology, Japan) を用いてRGB画像を取得し、被覆率を算出した。分光反射率からは正規化植生指標 (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), EVI2 を算出し、それぞれのプロットの収量の実測値と比較解析を行った。

多様な栄養環境下での異なるイネ品種栽培試験

イネ2品種を異なる栄養条件の3つの圃場で2か年栽培した。移植3週間後以降出穂期まで、1週間に1回の頻度で分光放射計とマルチスペクトルカメラ付きドローン (P4 Multispectral, DJI Technology, Japan) を用いて生育調査を行った。同時にプラントキャノピーアナライザーによって葉面積指数 (LAI) を計測した。分光放射計とマルチスペクトルカメラ付きドローンから得られたデータから8つの植生指標 (NDVI, EVI, EVI2, MERIS Terrestrial Chlorophyll index (MTCI), Chlorophyll Vegetation Index (CVI), Green Atmospherically Resistant Vegetation Index (GARI), Green Red Vegetation Index (GRVI), RGB Vegetation Index (RGBVI), Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)) を算出し、それぞれのプロットのLAIと比較解析を行った。

3) 非破壊計測と機械学習を利用した収量予測手法の開発

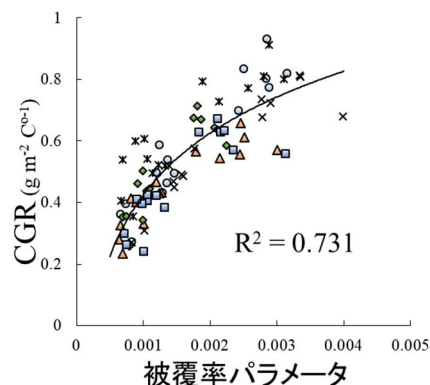
ブルキナファソの中央高原に位置する実験圃場で、異なる3種の土壌環境下でササゲ20品種 (3品種型) を2か年栽培した。播種後5, 7, 9週目にデジタルカメラを用いて非破壊計測を行い、画像解析ソフトウェアを使用して、被覆率 (LCR5, 7, 9) を算出した。また、播種から開花

までの日数 (DTF) と土壌窒素含有量 (soilN) を測定した。さらに、ササゲ収量を実測した。本研究では、のべ 600 圃場 (2 ケ年×3 圃場×20 品種×5 反復) における 5 つの特徴量 (LCR5, LCR7, LCR9, DTF, soilN) と収量を用いて、ササゲの収量予測に用いたモデルの精度を評価した。4 つの機械学習 (Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVR), Neural Network (NN), XGBoost (XGB)) アルゴリズムと 7 つの特徴量の組み合わせによる 28 のモデルによる収量予測精度を検証した。

4. 研究成果

1) 生育動態に関するパラメータと実際の生産性の比較検証

非破壊計測値から得られた生育動態パラメータ (Hirooka et al., 2016) は実測の生育パラメータ (CGR, NUE, RUE) との関係性が強く、特に、被覆率増加に関するパラメータが生産性をよく反映していることがわかった (第 1 図)。一方で、その関係性はイネ品種によって異なり、本実験で用いた改良品種の生産性評価により効果的であることを示した。このことから、本実験で用いた改良品種では葉面積の増大がイネの生産性を向上させる主要因であると考えられた。さらに、これらの関係性の品種間差は、出穂期の LNC によって説明され、生育動態パラメータに加えて、群落閉鎖後の品種固有の生理パラメータを利用することで、収量の推定精度が改善されうること示唆した。したがって、継続的にモニタリングした非破壊計測値は品種間差と生理パラメータを考慮することで、イネ生産性評価により効果的な指標になると考えられる。



第 1 図 被覆率に関するパラメータと乾物生産速度 (CGR) は強い対数関係にあった (Hirooka et al., 2021 Fig. 2 一部改変)

2) 広域評価に向けた生育動態推定に適した植生指標の検討

多様な水環境下でのダイズ栽培試験

肥沃度が比較的高い圃場においては、生育中期以降に NDVI が飽和してしまい、NDVI による評価では生育中期以降の生育量推定が困難であるのに対して、EVI を用いることで生育中期以降の生育量を評価できる可能性が示された。また、異なる距離からのドローン撮影による被覆率計測に関して、近距離撮影より遠距離からの撮影の方が雑草等の誤差要因を小さくすることが明らかとなった。

多様な栄養環境下での異なるイネ品種栽培試験

近距離ハイパースペクトル計測とドローンを利用した遠距離からのマルチスペクトル計測を行った。上記と同様に、近距離、ドローン計測ともに NDVI は飽和するのに対して、CVI と GRVI は LAI が大きい場合の評価に際しても飽和の傾向が比較的小さく、LAI 動態評価に適している指標である可能性を指摘した。また、ドローン計測はレッドエッジの波長帯の推定において、近距離計測と比較して誤差が生じやすいことが明らかとなった。

3) 非破壊計測と機械学習を利用した収量予測手法の開発

土壌の肥沃度が低く、降雨量が限られているような生育環境下では、継続的に非破壊計測した被覆率を入力変数とした SVR と NN アルゴリズムがササゲ収量予測に有効であることが明らかになった。一方で、土壌肥沃度や生育期間の変数を追加しても予測精度は改善しなかった。また、土壌の種類や品種型によっても最適モデルが異なることが明らかとなり、複数の環境や栽培品種を用いた圃場試験に適用する場合にはこれらを考慮すべきだと考えられた。環境ストレス条件下での予測誤差を最小化するために、生理学的特性や品種型を表す特徴量についての入力を検討するなど、予測精度の改善にはさらなる研究が必要であると考えられる。

<引用文献>

- Hirooka, Y., Homma, K., & Shiraiwa, T. (2021). A leaf area-based non-destructive approach to predict rice productivity. *Agronomy Journal*, 113(5), 3922-3934.
- Hirooka, Y., Homma, K., Shiraiwa, T., & Kuwada, M. (2016). Parameterization of leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.) utilizing a plant canopy analyzer. *Field Crops Research*, 186, 117-123.
- Iijima, M., Hirooka, Y., Kawato, Y., Shimamoto, H., Yamane, K., & Watanabe, Y. (2022). Close mixed-planting with paddy rice reduced the flooding stress for upland soybean. *Plant Production Science*, 25(2), 211-217.
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84-87.
- Mariano, M. J., Villano, R., & Fleming, E. (2012). Factors influencing farmers' adoption of modern rice technologies and good management practices in the Philippines. *Agricultural systems*, 110, 41-53.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hirooka Yoshihiro, Homma Koki, Shiraiwa Tatsuhiko	4. 巻 113
2. 論文標題 A leaf area based non destructive approach to predict rice productivity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Agronomy Journal	6. 最初と最後の頁 3922 ~ 3934
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/agj2.20813	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yu Iwahashi, Yoshihiro Hirooka, Hiromo Inoue, Zhenjing Xu, Tatsuhiko Shiraiwa, Tetsuya Nakazaki
2. 発表標題 Canopy structure affects the estimation accuracy of the leaf area index when using vegetation index derived from spectral reflectance in rice
3. 学会等名 6th International Rice Congress（国際学会）
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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------