

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15944

研究課題名(和文) 落水と再灌水のタイミングおよび水ストレスレベルがイネ個葉の光合成能力に与える影響

研究課題名(英文) Effect of timing of water fall, re-irrigation and water stress on photosynthetic capacity of individual rice leaves

研究代表者

辰己 賢一 (Tatsumi, Kenichi)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40505781

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：落水と再灌水のタイミングおよび水ストレスレベルがイネ個葉の光合成能力に与える影響の評価と、効果的な水管理の在り方の提案を目的とし、ファイトロン内にて、水ストレスと施肥ストレス別の4処理区でイネの生育調査、ガス交換測定、収量調査を実施した。その結果、1) 元肥が草丈やバイオマス成長速度や分けつ数を決定すること、2) 水ストレスが光合成活動を抑制し、水ストレス期間中の穂の登熟がストレス期間前の貯蔵同化物質が使われること、3) 生育期間・ステージによって水ストレスを受ける影響の程度は異なり、出穂期前であれば水ストレスによって登熟が相対的に抑制されない、ことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水ストレス下での栽培において、元肥を抑制して、分けつ数を減らし、出穂期前に間断灌漑を実施することで水利用効率、窒素利用効率を高めた資源節約型の水稲栽培が可能となる。また、イネ個葉の光合成能力を調べるにとどまらず、実際の水田圃場への適用を通じて得られる検証結果をもとに、気象・水・土壌がイネ生産性に与える複合影響の農業現場での応用が可能な高汎化型モデルの実現・確立を視野に入れている。以上、農学と情報科学の協同的発展を目指す点においても各専門分野でこれまで提示されてこなかった点で学術的意義や社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：To evaluate the effects of timing of water fall and re-irrigation and water stress level on photosynthetic capacity of individual rice leaves, and to propose effective water management, we conducted a growth survey, gas exchange measurement, and yield survey of rice plants in four treatments of water stress and fertilizer stress at Phytotron. The results showed that: 1) the original fertilizer determines plant height, biomass growth rate, and the number of offshoots; 2) water stress suppresses photosynthetic activity, and ear emergence during water stress is dependent on the use of assimilated substances stored before the stress period; 3) the degree of effect of water stress depends on the growth period and stage, and the effect of water stress before the ear emergence stage is relatively low. 3) The degree of effect of water stress varies depending on the growth period and stage, and water stress relatively does not suppress ear emergence before the ear emergence stage.

研究分野：農業情報気象学

キーワード：作物モデル 光合成 落水 再灌水 水ストレス イネ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界の水資源の約70%が農業用水として消費されており、例えばアジアの灌漑水田では1kgの玄米重を生産するために、1900ℓ以上の水が必要とされている。水管理の必要性に端を発した節水栽培がイネの収量や品質・水生産性に与える影響に関する研究は複数実施されてきた。

一方、イネの生産性に深く関わる葉の光合成活動を理解するための理論・実証研究は、Monsi and Saeki (1953)に始まり、Farquhar (1980)の生化学的数値モデルは、光合成速度を律速する環境要因の正確な予測・分析に応用され、様々な分野で利用されている。その中において、申請者は、「農学」と「情報科学」の融合に着目し、まったく同一の農場は二つと存在しない現実問題を踏まえ、複数の野外水田圃場において、イネの生育調査やガス交換測定、気象観測を実施してきた。得られたデータを駆使し、合理的な栽培設計の実現と潜在的な栽培リスクに関する具体的な検討に資する高汎化型のイネ成長応答モデルの開発を続けている。

以上、個々の学術分野において、イネ個葉の光合成への理解は大きな発展を遂げているが、「水」のファクターである落水と再灌水のタイミングおよび水ストレスレベルがイネ個葉の光合成能力に与える影響については、光や気温・葉温、CO₂濃度、施肥レベルがそれに与える影響と比較すると研究事例が非常に少ない。また、水管理までを俯瞰した既往研究は極めて少ない。したがって、イネの光合成能力と生産性の関係を明確に述べることができ、水資源問題の解決に資する水管理・イネ成長応答のモデルを確立するためには、「気象・施肥レベルが光合成に与える影響」に加え、「水が光合成に与える影響」の詳細な解析と知見の蓄積が不可欠なのではないかとの学術的「問い」が研究開始当初の背景である。

2. 研究の目的

「水がイネ個葉の光合成能力に与える影響」を落水と再灌水のタイミングおよび水ストレスレベルの観点で定量的に評価し、光合成と収量に立脚した水管理の効果検証を実施する。

3. 研究の方法

(1) 栽培試験

東京農工大学内に設置されているファイトトロンを利用し、イネの栽培実験を行った。また、イネの品種はコシヒカリ (*Oryza sativa*. L. koshihikari) を用いた。ファイトトロン内の温度・相対湿度の設定値を表1に示す。また、実際のファイトトロン内の温度、相対湿度はおんどとり (TR-72wb; 株式会社ティアンドデイ) を設置し20分間隔で測定した。

表1. 設定したファイトトロン内の温度及び相対湿度

	温度 (°C)	相対湿度 (%)
10時~16時	32°Cに固定	50%に固定
16時~22時	6時間かけ32°Cから20°Cへ	6時間かけ50%から70%へ
22時~4時	20°Cに固定	70%に固定
4時~10時	6時間かけ20°Cから32°Cへ	6時間かけ70%から50%へ

(2) 実験プロットデザイン

ファイトトロン内に1/5000アールのポット(アズワン株式会社)計24ポット(No.1~No.24)を設置(図1)し、荒木田土(千成株式会社)を詰め、湛水した。また、元肥としてNo.1~No.6(T1), No.13~No.18(T3)の計12ポットそれぞれにN 1.43 g, P 2.74 g, K 0.5 gをポットの表面に散布した後、6月1日に葉齢2~2.5歳のイネ3本を1株とし、1ポット当たり2株ずつ苗植した。苗植してから53日後の7月24日に、追肥としてN 1.43 g, P 2.74 g, K 0.5 gを全24ポット(No.1~No.24)に投入した。苗植してから67日後から、水ストレスをNo.13~No.18(T3), No.19~No.24(T4)の計12ポットに8月12日~17日の6日間、8月28日~9月1日の5日間、9月5日~8日の4日間与え、水ストレスをかけた後、再び湛水するサイクルを収穫までに計3度行った。全24ポットを処理ごとに計6ポットからなるT1~T4の4つの区分に分類した(表2)。

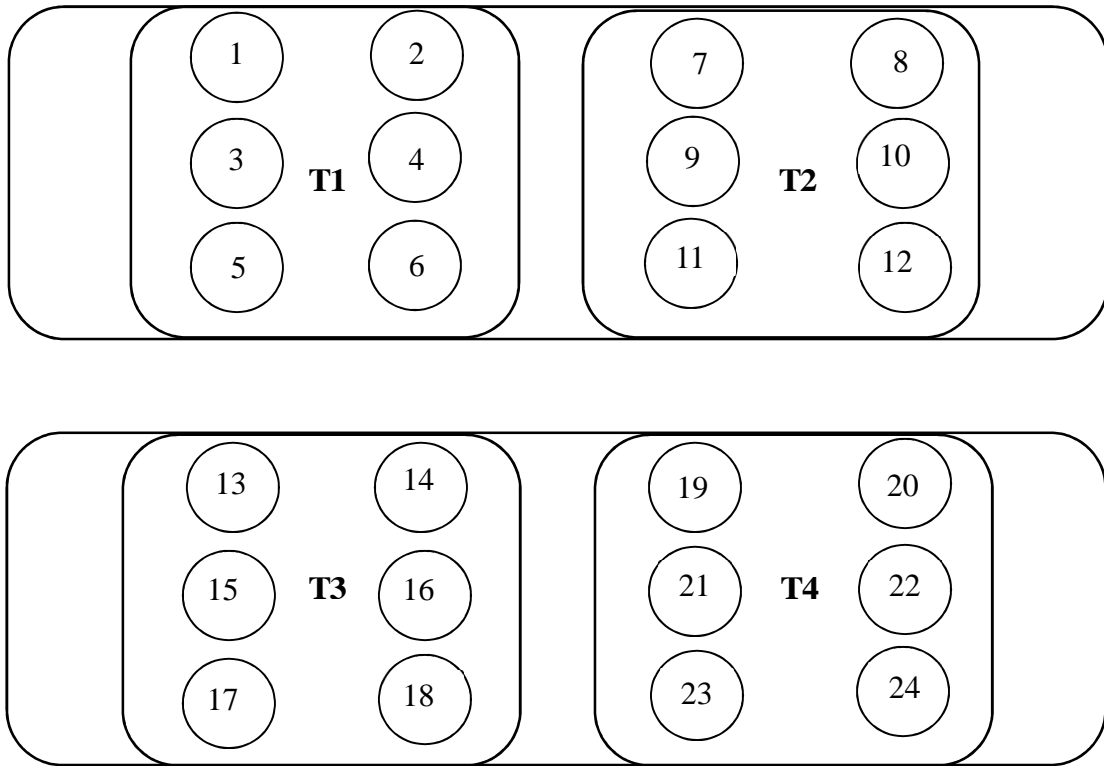


図1. 各ポットの配置

表2. 処理別ポットの分類

	処理区	ポット番号	水ストレス	施肥量
T1	No.1 ~ No.6		水ストレスなし(W _S -)	元肥あり(N ₊)
T2	No.7 ~ No.12		水ストレスなし(W _S -)	元肥なし(N ₋)
T3	No.13 ~ No.18		水ストレスあり(W _S +))	元肥あり(N ₊)
T4	No.19 ~ No.24		水ストレスなし(W _S -)	元肥なし(N ₋)

4. 研究成果

(1) 光合成機能

苗植以降元肥のあった T1, T3 は元肥のなかった T2, T4 より V_{cmax} , J_{max} 共に大きかったが、次第に小さくなっていき苗植して 43 日目にはほとんど差が見られなくなった。苗植して 53 日後に追肥してから全ての処理区で V_{cmax} , J_{max} は大きくなり、その中でも T2, T4 は T1, T3 に比べてより大きくなった。また、一回目の水ストレス期間中、苗植して 73 日後と 77 日後の T3 と T4 の V_{cmax} , J_{max} は、水ストレスにより水ストレス期間前と比べて有意に小さくなった。また、一回目の水ストレス期間後、苗植して 80 日後の T4 の V_{cmax} , J_{max} は水ストレス期間中の V_{cmax} , J_{max} より有意に大きくなったが、T3 は大きくならなかった。T2 と T4 の A_{max} は追肥した 53 日以降追肥前と比べて有意に大きくなった。また、一回目の水ストレス期間中、苗植して 74 日後の T3 と T4 の A_{max} の値は水ストレス期間前に比べて有意に小さくなった。また、一回目の水ストレス期間後、苗植して 81 日後の T4 の V_{cmax} , J_{max} は水ストレス期間中の A_{max} より有意に大きくなったが、T3 は大きくならなかった。一回目の水ストレス期間中、苗植して 74 日後の T3 の Φ と R_d は水ストレスにより水ストレス期間前と比べて有意に小さくなった。

(2) 収量調査結果

生葉面積、枯葉面積は T2 と T4 の間に有意差は認められなかった。また、枯葉面積は T1 と T3 の間に有意差は認められなかったが、生葉面積は、T3 の生葉面積は T1 と比べて有意に小さくなるのが認められた。穂以外の地上部分の乾燥重量は元肥の有無により有意差が認められ、T1, T3 の穂以外の地上部分の重量は T2, T4 に比べ有意に大きくなるのが認められた。穂の乾燥重量は T2 と T4 の間に有意差は認められなかったが、T1 と T3 の間には有意差が認められ、T3 の穂の乾燥重量は T1 と比べて有意に小さくなるのが認められた。T2 と T4 の間には、収量構成要素及び収量の有意差は認められなかった。T1, T3 の籾数は T2, T4 に比べ有意に大きくなるのが認められた。T3 の登熟歩合、千粒重は他の処理区より有意に小さくなり、特に登熟歩合が大幅に減少した。収量は $T1 > T4 > T2 > T3$ となり、T3 は T1 と比較して有意に小さくなるのが認められた。T2, T4 の収穫指数は T1, T3 に比べ有意に大きくなるのが認められた。精玄米中の水分量に関しては、元肥と水ストレスによる影響は見られず、有意差は認められなかった。

<引用文献>

Monsi M, Saeki T. 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany* 14: 22–52.

Farquhar G.D, von Caemmerer S, Berry, J.A. 1980. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* 149: 78–90.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kenichi Tatsumi, Tomoya Yamazaki, Hirohiko Ishikawa	4. 巻 9
2. 論文標題 An Open-Source, Low-Cost Measurement System for Collecting Hydrometeorological Data in the Open Field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 technologies	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/technologies9040078	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 Kenichi Tatsumi	4. 巻 64
2. 論文標題 A Dynamic Model for the Relationship between Rice Growth and Meteorology, Water, Nitrogen, and Canopy Structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of the ASABE	6. 最初と最後の頁 1581-1610
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.13031/trans.14371	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 -
1. 著者名 柴原 良樹、辰己 賢一	4. 巻 89
2. 論文標題 中山間地域における光環境の差異が水稻の収量に与える影響の定量的評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 I_63-I_69
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11408/jsidre.89.I_63	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 本多誠之, 辰己賢一, 中川正樹	4. 巻 30
2. 論文標題 LSTMによる光環境変動下におけるイネ個葉の光合成速度の予測	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 農業情報研究	6. 最初と最後の頁 98-110
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3173/air.30.96	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 Kenichi TATSUMI; Noa Igarashi; Xiao Mengxue	4. 巻 17
2. 論文標題 Prediction of plant-level tomato biomass and yield using machine learning with unmanned aerial vehicle imagery	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant Methods	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s13007-021-00761-2	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 Kenichi Tatsumi, Yoshiki Kuwabara, Takashi Motobayashi	4. 巻 3
2. 論文標題 Photosynthetic light use efficiency of rice leaves under fluctuating incident?light	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Agrosystems, Geosciences & Environment	6. 最初と最後の頁 e20030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/agg2.20030	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 Kenichi TATSUMI, Yoshiki KUWABARA, Takashi MOTOBAYASHI	4. 巻 75
2. 論文標題 Monthly variability in the photosynthetic capacities, leaf mass per area and leaf nitrogen contents of rice (<i>Oryza sativa</i> L.) plants and their correlations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural Meteorology	6. 最初と最後の頁 111-119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2480/agrmet.D-18-00043	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 -

1. 著者名 Kenichi Tatsumi, Tamami Abiko, Yoshiyuki Kinose, Shiro Inagaki & Takeshi Izuta	4. 巻 26
2. 論文標題 Effects of ozone on the growth and yield of rice (<i>Oryza sativa</i> L.) under different nitrogen fertilization regimes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Science and Pollution Research	6. 最初と最後の頁 32103-32113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11356-019-06358-6	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8件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 辰己賢一
2. 発表標題 作物成長モデルの高精度化に向けた根群域モデルの役割と課題
3. 学会等名 2021年度 土壌物理学学会大会 第63回シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辰己賢一
2. 発表標題 UAV 撮影画像を用いた機械学習によるトマトの果実重予測に関する研究
3. 学会等名 第79回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐乃愛・辰己賢一
2. 発表標題 データ同化を実装した作物モデルによるトマトの生育及び収量の再現シミュレーション
3. 学会等名 第79回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本多誠之・辰己賢一
2. 発表標題 深層学習を用いた画像の作物検出およびその領域抽出に関する研究
3. 学会等名 第79回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenichi Tatsumi
2. 発表標題 Prediction of plant-level tomato biomass and yield using machine learning with unmanned aerial vehicle imagery
3. 学会等名 JpGU2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本多誠之, 辰己賢一
2. 発表標題 機械学習を用いたイネ個葉の光合成速度の予測
3. 学会等名 日本農業気象学会2020年全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Xiao Mengxue, Kenichi Tatsumi
2. 発表標題 Correlation analysis between land surface temperature and vegetation coverage based on Landsat-8 remote sensing imagery: a case study of Beijing, China
3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 辰己賢一
2. 発表標題 イネの鉛直葉群構造を考慮した成長応答モデルの開発
3. 学会等名 日本農業気象学会2020年全国大会
4. 発表年 2020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
---------	---------