

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K15192

研究課題名(和文)分光イメージングと微気象要因解析による光合成調節メカニズムの植物種間差の解明

研究課題名(英文) Investigation of interspecific differences in regulatory mechanism of photosynthesis by spectroscopic imaging and microclimate analysis

研究代表者

杉浦 大輔 (Sugiura, Daisuke)

名古屋大学・生命農学研究科・助教

研究者番号：50713913

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)：マメ科作物やイネにおける、個葉光合成や群落成長の微気象応答およびその品種間差の解明を目的として研究を行った。ダイズやインゲンを用いた研究では、葉に蓄積する非構造的炭水化物による個葉光合成ダウンレギュレーションの生理メカニズムの種間差を明らかにした。群落成長の指標であるLAI(葉面積指数)の非破壊測定法の開発に取り組んだ研究では、イネ群落内外の微気象観測・分光計測から、移植から登熟期までのLAIを連続かつ非破壊的に推定可能になった。この手法を用い、イネ群落成長の微気象応答の品種間差・地域間差を解析する手法までを確立できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物の物質生産の基盤である光合成の調節機構の生理メカニズムや種間差、群落レベルの成長量の非破壊測定法を確立できたことで、野外環境における微気象が植物の光合成や成長に与える影響を容易に評価できるようになった。これらの研究成果は、将来環境において、大気CO2濃度の上昇や温暖化が作物の生産性に与える影響を予測することに役立つことが期待される。

研究成果の概要(英文)：This study aimed at elucidating responses of photosynthetic characteristics and canopy growth to micro-climate and their interspecific or intercultivar differences in crops. Physiological mechanisms of down-regulation of photosynthesis responding to non-structural carbohydrates in soybean and French bean were closely examined. We also developed a technique to estimate rice canopy growth non-destructively by measuring near infra-red radiation (NIR) and photosynthetically active radiation (PAR) inside and outside rice canopy. This technique allowed us to trace seasonal dynamics of canopy growth from transplanting to maturity stage and to evaluate varietal and regional differences in the canopy growth characteristics.

研究分野：植物生理学

キーワード：微気象 光合成 イネ 葉面積指数 近赤外光 光合成有効放射

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

植物は葉の光合成・形態的特性を環境に応じて可塑的に変化させ、成長や生存を最適化していると考えられる。光、気温、土壌 N・P・水分条件が大きく変動するフィールド環境において、これらの環境要因の変化に応じた植物の特性変化の時空間動態や種間差の解明することは、植物の成長戦略の理解や、気候変動環境における保全生態学や食糧安全保障の観点からも重要な課題である。

多くの先行研究は、人工気象室などの調節環境下でモデル植物などを対象に、葉の光合成などの生理機能や形態的特性の環境応答や、成長速度への影響を評価してきた。1990年代には、葉に糖やデンプンなどの非構造的炭水化物 (NSC) が蓄積すると、光合成色素やタンパク質の減少により光合成速度が低下する現象 (光合成ダウンレギュレーション) が注目され (Sheen 1994)、NSC が蓄積しやすい高 CO₂ 環境下ではこの現象が顕著になることが報告された (Ainsworth et al. 2004)。研究代表者は、モデル植物から作物までの 9 種の植物を用いて、人工気象室内で急激な環境変化に応じた光合成速度の変化を解析してきた。その結果、光合成ダウンレギュレーションの程度やメカニズムの種間・品種間の多様性は非常に大きいことが分かってきた (Sugiura et al. 2015, 2016, 2019)。

しかし、土壌の N や P の変化に応じた光合成ダウンレギュレーション応答の実態や、環境変動の大きいフィールドにおける光合成の調節が作物の成長速度に与える影響の実態や種間差については依然不明な点が多い。この理由の一つとして、葉の形態観察や炭水化物・窒素などの評価や、植物体の成長量の評価には破壊的な測定が必要とされることが挙げられる。また、携帯型光合成測定装置による光合成測定は、最大光合成速度や最大炭酸同化速度・電子伝達速度といった、葉のキャパシティを評価した研究は多くあるが、これらが最大値に至るまでの連続的な光合成や気孔応答の変化・推移は見過ごされがちであった。

一方で、観測機器の進歩に伴い、植物の葉からの反射スペクトルやクロロフィル蛍光の測定による光合成特性の評価方法の開発も進んできている。これらは光合成特性を反映するパラメータとして利用可能であり、非破壊的な光合成特性の評価に有用である。また、植物群落からの近赤外光や光合成有効放射の反射光や透過光を測定することで、群落の葉面積指数 (LAI) を推定する手法も提案されている。これらの手法に、野外における光合成有効放射・気温湿度といった微気象測定を組み合わせることで、人工気象室のような調節環境下だけでなく、野外の変動環境におけるイネやダイズなどの作物の光合成ダウンレギュレーションや、群落レベルの成長量の環境応答を評価できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究は、人工気象室レベルからフィールドレベルの研究を行い、以下の 3 つの研究目的達成を目指した。

研究① 土壌の N・P 条件の変化に応じたダイズとインゲンの NSC 蓄積に応じた光合成ダウンレギュレーションの生理メカニズムの解明

研究② 水田における微気象測定系および携帯型ハイパースペクトルセンサーと携帯型クロロフィル蛍光測定装置を用いたイネの個葉形質の非破壊評価法の確立

研究③ 光合成有効放射・近赤外光放射測定による、イネ群落 LAI の非破壊測定法の開発

3. 研究の方法

研究① ダイズ、インゲン、ダイズの野生種であるツルマメを人工気象室内で栽培した。NSCの蓄積と減少を企図し、栽培途中でCO₂、N、P条件を変化させ、これらの栄養塩の欠乏と、欠乏からの回復状態を作り出した。同時に、光合成速度の測定とサンプリングを継続的に行うことで、光合成速度の変化及び根のN・P吸収速度の変化とそれに伴う植物体のN、P、NSC濃度の変化を解析した。

研究② 名古屋大学附属農場東郷フィールドの水田において、ジャポニカ型、インディカ型、野生稻を含むイネ11品種を栽培し、生育期間を通じた個葉の分光反射特性およびクロロフィル蛍光を測定した後、破壊的にサンプリングしてN濃度、NSC量を測定した。分光反射特性は、400~1000nmの可視光域を測定可能なハイパースペクトルセンサーを用いた携行型システムを構築して用いた。クロロフィル蛍光は、携帯型クロロフィル蛍光測定器によって測定を行った。

研究③ イネ群落外の微気象測定と、イネ群落内の光合成有効放射および近赤外光の測定を組み合わせ、イネ群落成長の指標であるLAI(葉面積指数)を非破壊的に推定する手法の開発を行った。材料として、ジャポニカ型イネ品種(日本晴)およびインディカ型イネ品種(北陸193号)を用い、名古屋大学附属農場東郷フィールドおよび長野農業試験場で栽培した。各圃場の群落外にリモートモニタリング可能な微気象センサー・ロガーを設置し、微気象測定とデータ解析がスムーズに行えるようにした。イネ群落内に光合成有効放射および近赤外光を測定するセンサーを設置し、1分間隔で測定を行った。

4. 研究成果

研究① ダイズ、インゲン、およびツルマメにおいて、土壌P条件の変化に対するNSCの増減と、それに伴う光合成ダウンレギュレーション応答は見られなかった。一方で、N条件の変化に対しては、すべての種で根のN吸収速度の調節とそれに伴う個体レベルのNとNSC濃度の変化、さらには個葉の光合成速度な調節が見られた。また、これらの応答は野生種と現行栽培品種とで同様であったことから、本研究で用いた現行栽培品種は、栽培化の過程で土壌の窒素欠乏とその回復に対するこれらの応答性を失わず、野生種と同等の環境応答能力を維持していることが示唆された。

研究② イネ11品種におけるハイパースペクトルセンサーを用いた個葉の分光反射特性の測定から、葉のN濃度を非破壊的に推定可能な式を構築することができた。また、クロロフィル蛍光測定による電子伝達速度は葉のN濃度と高い相関を示したことから、フィールドにおける携帯型クロロフィル蛍光測定器による光合成特性の評価の有用性が示された。フィールド環境において、個葉に蓄積した非構造的炭水化物量が光合成をダウンレギュレートしている可能性を検証するため、電子伝達速度とNSCの関係を精査した。その結果、電子伝達速度はグルコース、スクロース、デンプンのいずれとも負の相関を示さなかったことから、フィールド環境下でこれらの非構造的炭水化物は光合成ダウンレギュレーションを引き起こさないことが示唆された。

研究③

イネ群落内外の微気象観測・分光計測を組み合わせることで、LAIを高精度で推定する手法を開発することができた。さらに、この手法を用いてLAIの季節変化を非破壊的かつ連続的に追跡

できるようになった。各品種の連続的な LAI の変化を日付に対するロジスティック曲線で回帰することで、LAI 増加特性の品種間および地域間差を定量的に評価することを可能とした。その結果、同様の施肥条件にも関わらず、両品種とも東郷フィールドより長野圃場で高い LAI 増加率を示すこと、長野圃場において日本晴は北陸 193 号並みの LAI 増加率を示すことが、定量的に明らかとなった。各圃場の微気象測定の結果、日射量は長野圃場と東郷フィールドでほぼ同等であったが、夜間気温に大きな差があったことから、その差が長野圃場における非常に高いバイオマス生産の主要因である可能性が示唆された。また、積算日射や積算気温に対する応答性のイネ品種間差・地域間差も定量的に明らかにすることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sugiura D, Betsuyaku E, Terashima I.	4. 巻 123
2. 論文標題 Interspecific differences in how sink-source imbalance causes photosynthetic downregulation among three legume species.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Annals of Botany	6. 最初と最後の頁 715-726
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1093/aob/mcy204	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 Sugiura D, Watanabe CKA., Betsuyaku E, Terashima I.	4. 巻 58
2. 論文標題 Sink-Source Balance and Down-Regulation of Photosynthesis in Raphanus sativus: Effects of Grafting, N and CO ₂	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant & Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 2043-2056
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1093/pcp/pcx132	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 Mizokami Y, Sugiura D, Watanabe CKA, Betsuyaku E, Inada N, Terashima I.	4. 巻 70
2. 論文標題 Elevated CO ₂ -induced changes in mesophyll conductance and anatomical traits in wild type and carbohydrate-metabolism mutants of Arabidopsis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Botany	6. 最初と最後の頁 4807-4818
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1093/jxb/erz208	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6件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 杉浦大輔, 福田将大, 細井淳, 近藤始彦
2. 発表標題 近赤外光・光合成有効放射比の連続測定によるイネ群落の非破壊LAI計測法の開発
3. 学会等名 日本作物学会第247回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福田将大, 杉浦大輔
2. 発表標題 非破壊的LAI計測法を応用したイネ群落成長の微気象応答の品種間・地域間差の解明
3. 学会等名 日本生態学会第66回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Okamoto, Mikiko Kojima, Yumiko Takebayashi, Daisuke Sugiura, Takamasa Suzuki, Hitoshi Sakakibara, Takushi Hachiya
2. 発表標題 Genome-Wide Analysis of Gene Expression Regulated by Internal Nitrate in Arabidopsis Thaliana
3. 学会等名 Taiwan-Japan Plant Biology 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉浦 大輔, 河野 優, 矢守 航, 寺島 一郎
2. 発表標題 ダイズとインゲンにみる光合成ダウン/アップレギュレーションの生理生態学的意義
3. 学会等名 日本作物学会第244回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡本悠希, 杉浦大輔, 鈴木孝征, 榊原均, 蜂谷卓士
2. 発表標題 体内の硝酸イオンと同化窒素を一方または両方欠乏させた植物体における遺伝子発現応答の解析
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2017年度仙台大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡本 卓哲, 新庄 莉奈, 田中 愛子, 杉浦 大輔, 近藤 始彦
2. 発表標題 イネ品種における内生窒素固定能と非構造的炭水化物含量の関係
3. 学会等名 日本作物学会第245回講演会
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----