

報道関係各位

2021 年 4 月 15 日
茨 城 大 学
東 京 農 工 大 学

【プレスリリース】

イネの葉の栽培期間を通じた大規模な光合成測定実験に成功 新開発の装置を活用 出穂後の 4 週間の光合成改良が収量増の鍵

茨城大学の安達俊輔 助教、東京農工大学の本田爽太郎 学部生（研究当時）、大久保智司 研究員（研究当時）、桂圭佑 准教授、大川泰一郎 教授、龍谷大学の永野惇 准教授らの研究グループは、独自に開発した測定装置を用いて、複数のイネ系統の栽培期間全体を通じた大規模な光合成測定実験を行い、イネの葉の光合成変化を詳細に評価するとともにそのバイオマス生産との関係性を明らかにしました。

葉の光合成は作物の収量形成の根幹をなす機能であり、光合成の改良を目指した研究が世界各地で行われていますが、光合成の指標である CO_2 同化速度の測定には多くの時間や労力、コストを要し、多数のサンプルを簡便に測定できる手法は確立していませんでした。そのため、遺伝子組換えを利用しない、交配育種によって光合成能力を高めて作物収量の増加を実現した例はありません。

本研究では、京都大学・東京農工大学・(株)マサイナショナルが共同開発した光合成速度高速測定装置（MIC-100）を利用し、水田圃場で栽培したイネ 78 系統の CO_2 同化速度を移植から収穫までの約 4 ヶ月間にわたり週 1 回以上の頻度で測定し続けることによって、その推移を示すことに成功しました。さらに、イネ系統の間で CO_2 同化速度の違いが最も顕著となる生育期間を解明し、その期間の光合成の積算量が収穫時のバイオマス生産と密接に関わることを明らかにしました。併せて、従来のように特定の時期に限定した光合成測定では、生産性の高いイネを選抜できない恐れがあることを指摘しました。

本研究手法が様々な作物に利用され、高収量作物品種の育成の加速化に繋がることが期待されます。

この成果は、2021 年 4 月 7 日、学術雑誌 *Scientific Reports* に掲載されました。

■背景

将来的な世界の人口増によって食糧の需要増加が見込まれる中、作物栽培に利用する土地面積の拡大は望めないため、土地面積当たりの作物の収量をいっそう増加させることが求められます。葉の光合成は作物収量を形成するもっとも基本的な機能であることから、光合成の効率を高めるための研究が世界各地で行われています。近年、遺伝子組換え技術を利用した光合成改良によって作物収量の増加につながった研究例が多数報告されていますが、遺伝子組換えを利用しない、いわゆる交配育種によって光合成能力を高め、作物収量の増加を実現した研究例はこれまでにありません。

その理由の一つとして、光合成測定の難しさが挙げられます。植物の光合成の効率は、 CO_2 同化速度（葉面積当たり・時間当たりの CO_2 吸収量）※¹ で表され、一般的には光合成蒸散測定装置によって測定が行われます。ところが従来の装置では CO_2 同化速度の測定に葉 1 枚当たり数分から数十分の時間、さらにはその分の労力やコストを要し、多数のサンプルを扱う育種研究の場合には大きな障壁となります。とくに作物の生育に伴って大きく変化する CO_2 同化速度を正確に捉える目的で、多数のサンプルに対して測定を繰り返すことは非常に骨の折れる作業です。そのため、1 つの作物の CO_2 同化速度が栽培期間中どのように変化していくのか、その変化のパターンが品種や系統によってどの程度異なるのか、どの時期の光合成を強化すれば生産性を効果的に高められるのか、といった疑問に答えるためにも、新たな測定技術の確立が

求められていました。

■研究手法

京都大学 田中佑 助教・東京農工大学 安達俊輔 特任助教（現・茨城大学助教）・（株）マサイインタナショナルは、2018 年 2 月に新型光合成速度高速測定装置（MIC-100）を共同開発しました。この装置は従来の装置とは異なる測定原理を有し、1 枚当たりわずか 20～30 秒の短時間で CO_2 同化速度を測定することを可能にしたものです。本研究ではこの MIC-100 を利用して、多数のイネ系統の葉の CO_2 同化速度を栽培期間全体を通じて解析し、それぞれのイネ系統の間で CO_2 同化速度の変化パターンがどのように異なるのか、そして CO_2 同化速度の変化パターンがどのように生産性に関わるのかを明らかにすることを目的としました。

■結果

本研究では、日本の代表的品種コシヒカリとインド型多収品種タカナリ、そしてコシヒカリとタカナリを交配して育成された染色体断片置換系統群^{*2}の計 78 系統を東京農工大学の水田圃場で栽培しました。そして全系統の CO_2 同化速度を、移植から収穫までの約 4 ヶ月間にわたり週 1 回以上（通算 20 日）の頻度で測定しました（測定サンプル数 4632 点）（図 1）。その結果、イネの栽培期間全体にわたる網羅的な光合成変化を評価することができました（図 2）。この大規模測定から、タカナリに類似するゲノムを持つ系統（タカナリ系統）は、コシヒカリに類似するゲノムを持つ系統（コシヒカリ系統）に比較して、生育前半には CO_2 同化速度がやや低く推移する一方、生育後半に違いが著しく大きくなり、その後一貫して高く推移することが明らかになりました。またタカナリ系統間あるいはコシヒカリ系統間の CO_2 同化速度の違いが、生育後半において大きくなることもわかりました。さらに出穂期にあたる 8 月上旬以降の約 4 週間の CO_2 同化速度の積算値（論文の中では A_{50} と表記）が生育後半のバイオマス生産速度や収穫時のバイオマス量と最も密接な関係にあることを明らかにしました（図 3, 4）。

本研究結果は、出穂後の約 4 週間に光合成能力を高く維持できる系統ほど高い生産性を発揮すること、すなわちこの時期の光合成を改良することが生産性向上の鍵となることを示しています。また従来の研究では、生育後半の最大 CO_2 同化速度（論文の中では $A_{\max}$ と表記）のみを集中的に測定することが一般的でしたが、本研究において $A_{\max}$ とバイオマス生産速度との相関は認められず、 $A_{\max}$ の測定のみでは生産性の高いイネを選抜できない恐れがあることもわかりました。以上の成果は、MIC-100 という新たな測定装置の活用により、従来は実現できなかった網羅的な光合成データ取得を通じて初めて得られた成果といえます。



図 1：MIC-100 を用いた光合成測定の様子

MIC-100 を用いた光合成測定は、基本的に 2 人 1 組になって行う。測定者（右）は測定に利用する葉を選び、同化箱に挟み込む。補助者（左）はノートにサンプル番号を記録するとともに、装置本体のボタンを操作して測定を実行する。

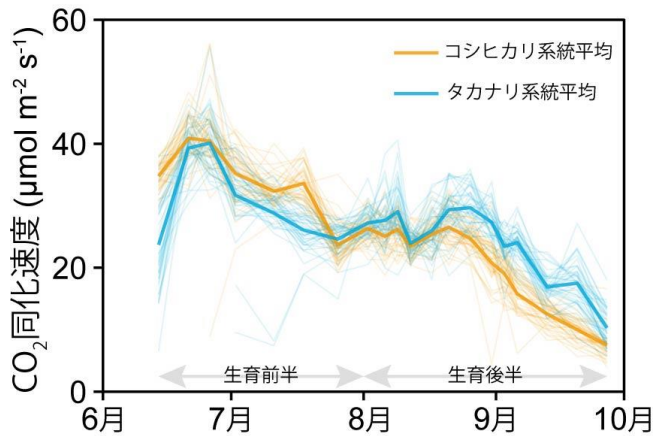


図2: 生育期間全体を通じたCO₂同化速度の推移

タカナリに類似するゲノムを持つ系統（タカナリ系統）のCO₂同化速度は、コシヒカリに類似するゲノムを持つ系統（コシヒカリ系統）に比較して、生育前半にはやや低く推移する一方、生育後半に違いが著しく大きくなり、その後一貫して高く推移する。

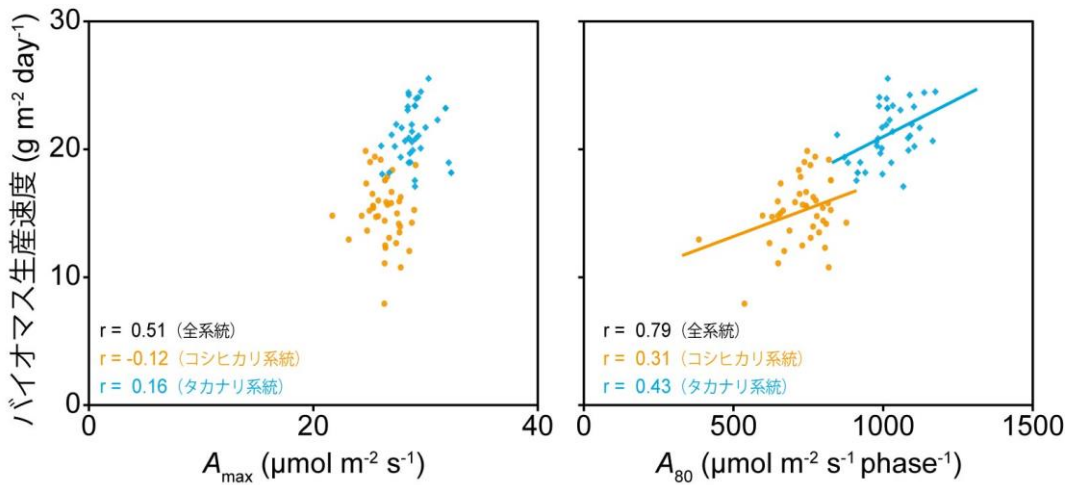


図3: 生育後半のバイオマス生産速度と A_{max} および A_{80} との関係

A_{max} は生育後半における最大CO₂同化速度を、 A_{80} は A_{max} に対して80%以上のCO₂同化速度を維持する期間（8月上旬から約4週間）におけるCO₂同化速度の積算値を示す。バイオマス生産速度は A_{80} と高い相関を示す。

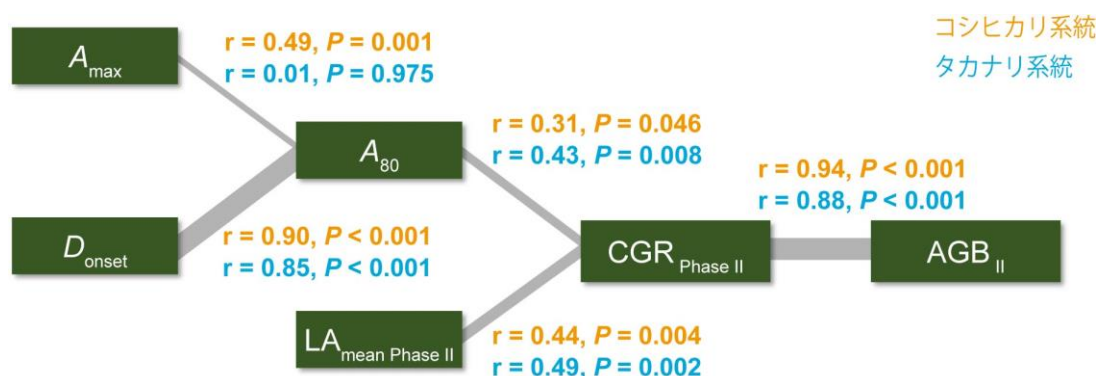


図4：CO₂同化速度とバイオマス生産との関係性を示した模式図

r は各パラメータ間の相関係数を、 P は t 検定による P 値を表す。生育後半のバイオマス生産速度 ($CGR_{Phase\ II}$) は、この期間の葉面積の平均値 ($LA_{mean\ Phase\ II}$) ならびに生育後半のうち約4週間の光合成維持能力 (A_{80}) と高い相関があり、さらに A_{80} はCO₂同化速度が最大値の80%を下回るまでの日数 (D_{onset}) と高い相関がある。 AGB_{II} ：収穫時のバイオマス量。

■今後の展望

新たな光合成測定装置である MIC-100 を活用することで、多数のイネ系統の光合成の変化を栽培期間を通じて網羅的に解析することが可能となり、さらにバイオマス生産量と密接に関わる生育期間を特定することができました。本研究で用いたイネはコシヒカリとタカナリの2品種とその交配系統のみであり、より多様なイネ品種に今回の知見が当てはまるかについては今後確かめる必要があります。CO₂同化速度を従来に比べ簡便に測定できるようになったことで、QTL解析やGWAS^{※3}などの遺伝解析技術との融合、さらには最新の分子生物学技術との融合による光合成関連遺伝子の特定が加速すると期待されます。またイネに限らず様々な作物を対象とした研究に本研究手法が利用され、高収量作物品種の育成の加速化に繋がることが期待されます。

■論文情報

タイトル：Maintaining higher leaf photosynthesis after heading stage could promote biomass accumulation in rice

著者：Sotaro Honda, Satoshi Ohkubo, Nan Su San, Anothai Nakkasame, Kazuki Tomisawa, Keisuke Katsura, Taiichiro Ookawa, Atsushi J. Nagano, Shunsuke Adachi

雑誌：Scientific Reports (Nature Publishing Group)

公開日：2021年4月7日午前10時（イギリス夏時間）[日本時間4月7日午後6時]

※本研究は、科学技術振興機構 CREST (JPMJCR15O2：永野淳，安達俊輔)、日本学術振興会科学研究費補助金 (科研費) (JP18K05585, JP19H02939：安達俊輔) (JP19H02940：大川泰一郎，安達俊輔)、茨城大学特色研究加速イニシアチブ (安達俊輔) の支援によって実施されました。

■用語説明

※1：CO₂同化速度……一般に利用されている光合成の指標で、葉面積当たり・時間当たりのCO₂吸収量で表される。

※2：染色体断片置換系統群……親品種とほぼ同じゲノムを持つが、数%のゲノム領域のみ他の品種に置換した系統のセット。コシヒカリ系統はコシヒカリに類似したゲノムを持ち一部がタカナリのゲノムに置換した系統、タカナリ系統はタカナリに類似したゲノムを持ち一部がコシヒカリのゲノムに置換した系統を指す。

※3：QTL 解析、GWAS……品種や系統の間での表現型の違いに関わる原因ゲノム領域を推定する手法。