

令和2年2月19日

報道機関 各位

東北大学大学院農学研究科(教授 牧野 周、助教 石山 敬貴)
岩手大学農学部(准教授 鈴木 雄二)
国立研究開発法人国際農林水産業研究センター (国際農研)
生物資源・利用領域(主任研究員 小原 実広)

イネの光合成機能を増強し、最大3割の増収

【発表のポイント】

- 急激な人口増加によって、世界的な食糧危機が懸念されている。人類は緑の革命^{注1}と呼ばれた作物の短稈種^{注1}の育成に成功し、多量の窒素肥料の投与による食糧の増産を実現させてきた。しかし、多量の窒素肥料投与は深刻な環境汚染の原因になっている。
- 食糧危機と環境問題を解決するためには、同じ窒素肥料投与量に対してより高い収量を示す穀物を作成しなければならない。
- 東北大学、岩手大学、国際農研の共同研究グループは、光合成の炭酸固定酵素ルビスコ^{注2}が約1.3倍量に増強された遺伝子組換えイネを隔離水田ほ場に供し、収量調査試験を行った。その結果、組換えイネは、同じ窒素施肥量に対して最大で28%の増収効果があることを確認した。光合成の機能改善により、窒素利用効率が向上し、収量の増加に結び付いた事例は世界初である。

【概要】

国際連合食糧農業機関は、世界人口の増加に伴う深刻な食糧危機に警鐘を鳴らしています。一方で、人類は1960年代にイネやコムギの主要穀物において「緑の革命」と呼ばれる短稈種の開発に成功し、多量の窒素施肥に依存した増収を凶ってきました。しかし、多量の窒素施肥は、環境汚染の原因となり、大きな社会問題となっています。これからは、単に高い収量性を示す穀物を育種するのではなく、同じ窒素施肥量に対して、より高い収量性を示す穀物を開発することが喫緊の課題です。東北大学

大学院農学研究科 牧野 周(まきの あまね)教授、石山 敬貴(いしやま けいき)助教らの研究グループは、岩手大学農学部および国際農研との共同研究で、遺伝子組換え技術によって光合成の炭酸固定酵素ルビスコが約 1.3 倍量に増強されたイネ(ルビスコ増強イネ)を作出し、東北大学内にある隔離水田ほ場において収量評価試験を行いました。その結果、ルビスコ増強イネは、同じ窒素施肥量において、玄米収量が最大で 28%増加しました。高い窒素利用効率と光合成の機能改善により、穀物の増収に結び付いた実例は、世界で初めてです。この研究成果は、世界的な食糧危機回避と地球環境保全に大きく貢献するものと評価されています。

本研究の成果は、2020年2月18日、国際科学誌 Nature Food 1 巻 2 月号に発表されました。

【問い合わせ先】

東北大学大学院農学研究科

担当 1 牧野 周

電話 022-757-4287

E-mail

amanemakino@tohoku.ac.jp

担当 2 石山 敬貴

電話 022-757-4290

E-mail

keiki.ishiyama.e5@tohoku.ac.jp

【詳細な説明】

今世紀半ばには、世界の人口は100億人に達すると言われています。国際連合食糧農業機関は、人口の急激な増加と中国やインドなどの経済発展に伴う食生活の変化が、穀物の需給バランスを逼迫させ、世界的な食糧危機を到来させると警鐘をならしています。一方で、人類は1960年代に「緑の革命」と呼ばれる穀物の短稈種の開発に成功し、多量の窒素施肥に依存する食糧増産を図ってきました。しかし、多量の窒素施肥は、地球生態系の富栄養化や河川・海洋・大気汚染などの原因となり、大きな社会問題となっています。今後、さらに穀物の増収を図るためには、単に高い収量性を示す穀物を育種するのではなく、同じ窒素施肥量に対してもより高い収量性を示す「窒素肥料の利用効率の高い穀物」を開発する「第二の緑の革命」が求められます。

本研究では、稲品種、能登ひかりを親品種に遺伝子組換え技術を用いて、炭酸ガス同化を担う光合成酵素ルビスコが約1.3倍量に増強されたイネ（ルビスコ増強イネ）を作出しました。日本においては、遺伝子組換え技術を用いて作出された穀物を野外のほ場で栽培するには、文部科学省および環境省から承認を得なくてはなりません。数年におよぶ生物多様性評価試験を行い、その後一年間両省の審査を経て、「ルビスコ増強イネが他の生態系へ影響を与えない」との判断が下され、2016年4月に、ほ場における栽培が承認されました。承認後の2016年から2019年までの4年間、宮城県農政部の視察のもと、厳密に管理された東北大学の「遺伝子組換え植物隔離ほ場」で栽培試験を行いました。なお、日本の大学機関および文部科学省管轄の研究機構の中で、「遺伝子組換え隔離水田ほ場」を所有するのは東北大学附属川渡フィールドセンターのみです(図1)。

その結果、 10 g N m^{-2} ($10\text{ kg N}/10\text{a}$)以上の窒素施肥区において、親品種の能登ひかりと比較してルビスコ増強イネの玄米収量が17%から28%増加しました(図2)。詳細な収量構成要素および生化学的解析を行った結果、組換えイネの葉のルビスコ量およびその活性が増加し、それに伴い光合成速度の向上が観察されました(図3)。この光合成機能の改善が、組換えイネの登熟歩合および稔実粒数増加につながり、収量増加に結び付いたことがわかりました。

この研究の学術的成果は、自然環境下のほ場において、遺伝子組換え技術を用いて作出された穀物の光合成機能の改善が、収量増加に結び付くことを実証した世界で初めての報告です。また、この研究の社会的意義として、本研究で使用したルビスコ増強イネは、遺伝子組換え技術を用いて作出されているため、すぐに農業現場に応用することはできませんが、光合成の増強が新しいイネの新品種の開発に応用できることを示したことです。さらに、世界的な食糧危機回避と地球環境保全に貢献する研究成果と高い評価を受けています。



図 1、 東北大学大学院農学研究科附属川渡フィールドセンターの「遺伝子組換え植物隔離ほ場」の全景。赤線の枠内が、本研究に使用した水田。

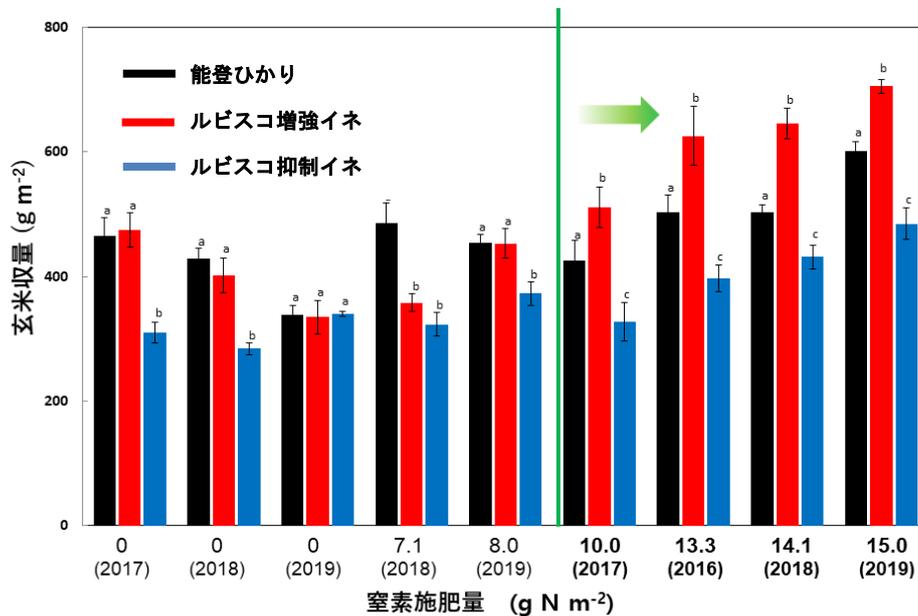


図 2、2016 年度から 2019 年度までの 4 年間の能登ひかり、ルビスコ増強イネ、ルビスコ抑制イネの玄米収量の結果。10 g N m⁻² 以上の窒素施肥区で、ルビスコ増強イネの玄米収量が増加した(図中、矢印より右側)。ルビスコ増強イネは、稲品種、能登ひかりを親品種に、遺伝子組換え技術を利用して、ルビスコ遺伝子の発現を増強したイネである。それとは逆に、ルビスコ遺伝子の発現を抑制したのがルビスコ抑制イネである。

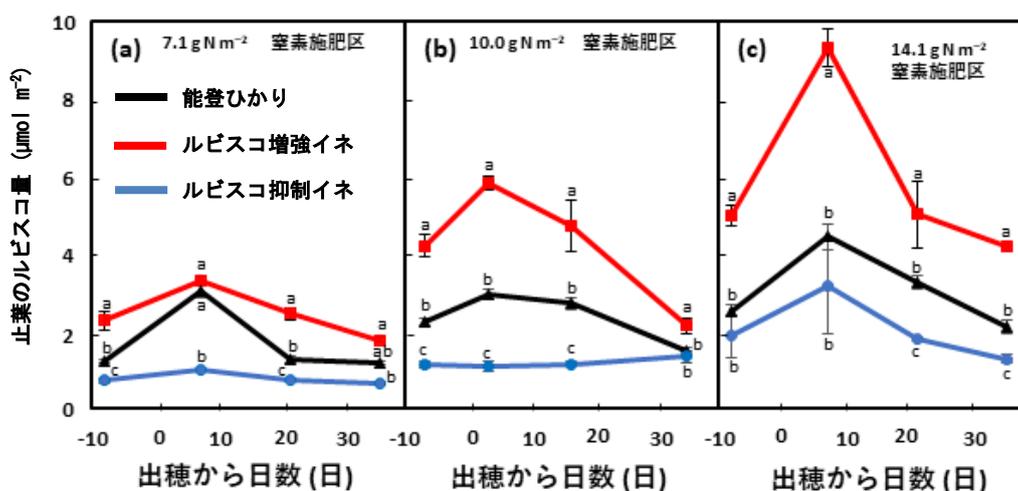


図 3、登熟期における葉のルビスコ量の推移。玄米収量の増加が観察された 2017 年度 10.0 g m⁻² および 2018 年度 14.1 g m⁻² 窒素施肥区において、能登ひかりと比べてルビスコ増強イネの葉のルビスコ量は、登熟期間を通して顕著に増加した。

掲載された論文および著者名 (英語)

掲載雑誌; *Nature Food* 1 巻 2 月号

DOI; <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0033-x>

タイトル; Transgenic rice overproducing Rubisco exhibits increased yields with improved nitrogen use efficiency in an experimental paddy field

著者名; Dong-Kyung Yoon, Keiki Ishiyama, Mao Suganami, Youshi Tazoe, Mari Watanabe, Serina Imaruoka, Maki Ogura, Hiroyuki Ishida, Yuji Suzuki, Mitsuhiro Obara, Tadahiko Mae & Amane Makino

著者と所属 (和名)

責任著者; 牧野 周 (東北大、教授)

筆頭著者; 尹 棟敬 (東北大)、石山 敬貴 (東北大、助教)

著者; 前 忠彦 (東北大、名誉教授)、鈴木 雄二 (岩手大、准教授)、小原実広 (国際農研、主任研究員)、石田 宏幸 (東北大、准教授)、田副 雄士 (東北大、特任助教)、菅波 真央 (東北大、学術振興会特別研究員)、渡邊 まり (東北大)、伊丸岡 芹菜 (東北大)、小倉 真紀 (東北大)

専門用語説明

注 1; 「緑の革命」と「短稈種」

1960 年代、人類の主要作物であるイネとコムギにおいて、短稈育種が行われた。人間の背丈ぐらいあった両作物は腰の高さぐらいまで小型化された短稈種の開発に成功、短稈種は倒伏に対して耐性を持ったことから、多量の窒素施肥を可能とした。

今日までのイネとコムギの増収は、短稈種の導入による多肥に依存したもので、緑の革命と呼ばれている。ハーバー・ボッシュ法の普及により、空気中の窒素から安価なアンモニア肥料が生産可能となった背景も見逃せない。多量の窒素施肥は、葉の窒素含量を増加させ、その窒素含量の増加によって光合成能力を増大にさせる効果があり、同時に穂数や籾数の増加効果もあるため、イネやコムギの増産に直接結びつくものであった。

注 2; 「ルビスコ」

光合成の CO₂ 固定を触媒する酵素で、現在の大気 CO₂ 濃度では、植物の光合成全体の速度を決定していると考えられている。一般的に植物の葉の可溶性タンパク質の 50%ほどを占め、地球上で最も多く存在するタンパク質であると推定されている。