

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02111

研究課題名(和文) イネの光合成と個体生育の窒素利用効率の改良：炭酸固定とその基質再生産の同時増強

研究課題名(英文) Trial for the improvement of N use efficiency in photosynthesis and plant growth in rice: simultaneous enhancement of carbon fixation and regeneration of its substrate

研究代表者

鈴木 雄二 (Suzuki, Yuji)

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：80374974

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：光合成の鍵酵素である炭酸固定酵素Rubiscoと、Rubiscoへの基質供給の鍵酵素の一つであるグリセルアルデヒド-3-リン酸脱水素酵素(GAPDH)をイネにおいて同時増強することで、光合成能力の強化を図ったものの、残念ながら光合成能力に変化は見られなかった。その一方で、GAPDHを単独で増強したイネでは、高CO₂濃度での光合成能力を若干ではあるが強化することに成功した。ただし、高CO₂濃度での個体生育の改善までには至らなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、光合成炭素代謝の改変により光合成能力を強化したという、貴重な研究例となった。また、本研究の成果は、今後のさらなる光合成能力強化に向けた方向性を考えるための重要な情報となるとともに、作製した遺伝子組換えイネは、光合成能力強化のための母材料となる。本研究をさらに発展させることで、イネの物質生産能力の強化、および、食糧供給の増加に向けた、基礎的な技術を得ることができる。

研究成果の概要(英文)：Rubisco is a key enzyme for photosynthesis. Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH) is a key enzyme for supply of the substrate for Rubisco. In the present study, Rubisco and GAPDH were simultaneously overproduced in rice to improve the photosynthetic capacity. However, improvement in the photosynthetic rates were not observed. Instead, the photosynthetic capacity at elevated CO₂ conditions was slightly improved in rice plants with overproduction of GAPDH alone, although such improvement in photosynthesis was not sufficient for improvement in plant growth.

研究分野：植物栄養学

キーワード：光合成 炭酸同化 遺伝子組換え イネ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1960年代の「緑の革命」以降、作物の収量は窒素肥料の多投入により増加してきているが、これは葉の窒素含量の増加により光合成能力を増加させるものであった。このような現状に対し、窒素肥料の多投入に依存しない作物増産がエネルギー資源の利用や環境問題の面から必要である。その解決策の一つが、葉の窒素量当たりの光合成能力、すなわち、光合成窒素利用効率の改良である。

現在の環境下の最大光合成速度の律速因子は、炭素同化を担うカルビンサイクルの酵素 Rubisco による炭酸固定能力である。そこでイネを用いて世界で初めて Rubisco 量を増強したものの、葉身窒素量当たりの光合成速度に変化は見られなかった。その原因として、Rubisco の能力の増加をカルビンサイクルの代謝が支えられていない可能性が考えられた。Rubisco の反応生成物から Rubisco の基質であるリブローズ 1,5-ビスリン酸 (RuBP) を再生産する過程では、グリセルアルデヒド 3-リン酸 (GAP) の量が極めて少ないだけでなく、カルビンサイクルの進行方向を見ると GAP を基質として3つの平衡反応が競合している。このため、GAP が不足し RuBP の再生産がスムーズに行われていないため、増加した分の Rubisco の能力が発揮されていないと考えられた。

2. 研究の目的

そこで本研究では、イネを材料とし、酵素 Rubisco と代謝産物 GAP の量を同時に増強することで、光合成と個体生育の窒素利用効率の改良を目指すこととした。この方向性が有効であれば、本研究の成果は将来的に作物の増産と窒素肥料の節減を両立するための有力な基礎的技術となり、その社会的波及力は極めて大きい。さらに、既存の光合成数理モデルでは記述できなかった、光合成の制御メカニズムを解明するための強力なツールとしての利用も期待できる。なお、GAP 量の増強のみで光合成能力が変化した場合には、追加で詳細な解析を行うこととした。

3. 研究の方法

(1) GAP 代謝抑制および生成増強イネの作製 (H30 年度)

カルビンサイクルにおいて GAP はジヒドロキシアセトンリン酸 (DHAP) と平衡状態にあり、DHAP が大過剰となっていると考えられている。本研究では、この代謝反応を担うトリオースリン酸イソメラーゼ (TPI) の活性を抑制することで、GAP 量の増加を試みた。このために、TPI 遺伝子をアンチセンス法により抑制した遺伝子組換えイネを作製した。これと並行して、GAP の生成を担うグリセルアルデヒド 3-リン酸脱水素酵素 (GAPDH) の量も増強した。このため、GAPDH の A サブユニットおよび B サブユニットを同時に過剰発現する遺伝子組換えイネを作製した。組換え当代の選抜は TPI または GAPDH のタンパク質の量ないし活性を基準として行った。採種の後、T1 世代でリアルタイム PCR 法にて導入遺伝子数の測定を行い、導入遺伝子がホモ化され安定している系統を得た。

(2) GAP 代謝抑制および生成増強イネの光合成能力評価 (H30-R1)

選抜した遺伝子組換えイネの後代を屋内型人工気象器内で、現在の大気環境および晴天時を模した強光条件で、水耕法にて栽培した。光合成能力は CO₂ 固定速度をガス交換法にて測定することで評価した。測定は強光、および異なる CO₂ 濃度で行った。

(3) Rubisco 量・GAP 生成増強イネの作製 (H30-R1 年度)

GAP 生成増強イネと Rubisco 量増強イネ (野生型の 120-130%) を交配し、F1 世代の Rubisco 量と GAPDH 活性を基準として選抜した。

(4) GAP 生成増強イネの光合成・個体生育の解析 (R1 年度)

栽培と光合成測定は(2)と同様に行った。ただし、栽培時の CO₂ 濃度は現在の大気濃度(40 Pa)と高 CO₂ 濃度(80 Pa)の2段階で行った。これに加えて、葉の全窒素量も測定し、葉身窒素量当たりの光合成速度から光合成窒素利用効率を評価した。個体生育は栄養生長後期に評価した。このため、個体を部位別にサンプリングし、乾物重を測定した。

(5) Rubisco 量・GAP 生成増強イネ、および GAP 生成抑制イネの光合成の解析 (R1-2 年度)

(4)と同様に行った。ただし、Rubisco 量・GAP 生成増強イネの栽培は屋外型の空調付き隔離温室で行った。

4. 研究成果

(1) GAP 代謝抑制および生成増強イネの作製

GAP 代謝抑制イネとして、TPI の量が野生型イネの 14%から 45%となった 3 系統が得られた。

GAP 生成増強イネとして、GAPDH の活性が野生型イネの 3.2 倍および 4.5 倍となった 2 系統が得られた。いずれも導入遺伝子が安定したホモ系統となった。これらの遺伝子組換えイネのうち、GAP 生成増強イネにおいて、高 CO₂ 濃度における光合成速度が高い傾向にあったため、Rubisco 増強イネとの交配に用いることとした。一方、GAP 代謝抑制イネでは、高 CO₂ 濃度の光合成速度が予想に反して低下する傾向にあった。

(2) GAP 生成増強イネの光合成・個体生育の解析

GAP 生成増強イネの光合成速度は、現在の大気 CO₂ 濃度およびそれ以下では野生型イネと差はなかったものの、高 CO₂ 濃度では光合成速度に野生型と比べ 10% 程度の増加が見られた。さらに、葉身全窒素量当たりの光合成速度にも同様の傾向が見られた (図 1)。その一方で、個体生育には CO₂ 濃度が 40 Pa および 80 Pa の両方において、野生型との間に差は見られなかった。ただし、GAP 生成増強イネでは個体のデンプン含量が若干多くなる傾向にあった。以上のことから、GAP 生成増強により RuBP 再生産能力が強化されることで、高 CO₂ 濃度における光合成能力がわずかではあるが強化されることが強く示唆された。さらに、光合成能力の強化が高 CO₂ 濃度で生育した際のデンプン含量のわずかな増加に反映されていると考えられた。また、個体生育の改良のためには、さらなる光合成能力の強化が必要であると考えられた。

(3) Rubisco 量・GAP 生成増強イネの作製およびその光合成解析

Rubisco 量増強イネと GAP 生成増強イネを交配することで、Rubisco 量と GAPDH 活性がそれぞれ野生型の 1.1-1.2 倍および 2.1-3.2 倍に増加した系統を得た。しかし、光合成速度はいずれの CO₂ 濃度においても野生型イネを上回ることはなかった (図 2)。その理由として、GAPDH 以外にも RuBP 再生産を共に律速する因子があることが予想された。また、同時増強イネにおいては GAP 生成増強イネにおいてみられた高 CO₂ 濃度での光合成速度の増加が見られなかった。その理由として、Rubisco 量の増強により葉内の窒素分配が変化することで、GAP 生成増強イネの効果がキャンセルされたことが予想された。

なお、カルビンサイクルのボトルネックであると考えられてきたセドヘプツロース-1,7-ビスフオスファターゼ(SBPase)の量を増強したイネについても解析を行ったものの、光合成に野生型との違いはなく、Rubisco と同時増強しても同じく光合成には変化は生じなかった。このことは、少なくともイネにおいては SBPase は RuBP 再生産の律速因子とはならないことを意味している。

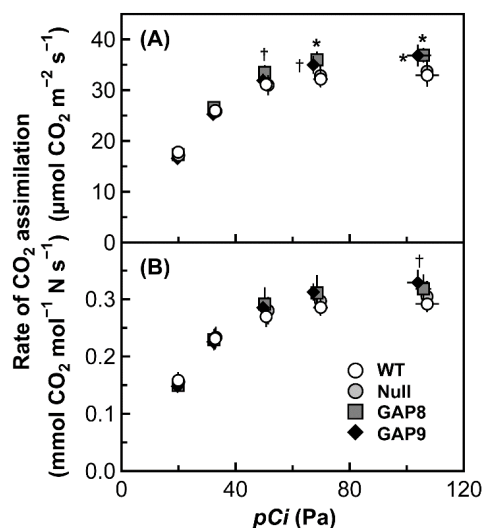


図 1. GAP 生成増強イネ(GAP8 および GAP9)の異なる CO₂ 濃度における光合成速度。対照植物として野生型イネ(WT)、導入遺伝子が脱落したイネ(null)を用いた。光合成速度は単位葉面積当たり(A)および単位葉身窒素量当たり(B)で表した。GAP8 と GAP9 では、GAPDH 活性が野生型のそれぞれ 4.5 倍および 3.2 倍であった。

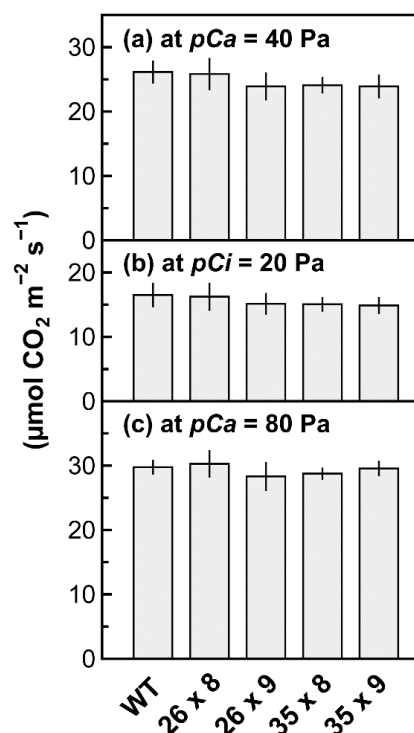


図 2. Rubisco 量・GAP 生成増強イネ(26 x 8, 26 x 9, 35 x 8, および 35 x 9)および野生型イネ(WT)の異なる CO₂ 濃度における光合成速度。

(4) GAP 代謝抑制イネの光合成の解析

GAP 代謝抑制イネとして TPI 抑制イネの光合成解析を行ったところ、高 CO₂ 濃度の光合成速度が、TPI の量的減少に伴い減少することが明らかとなった (図 3)。ただし、光合成速度の低下の程度は TPI の量的減少の程度より小さかった。TPI の活性は光合成に対して過剰に存在すると考えられてきたが、本研究の結果は TPI も光合成速度を決定する要因となることを示唆している。

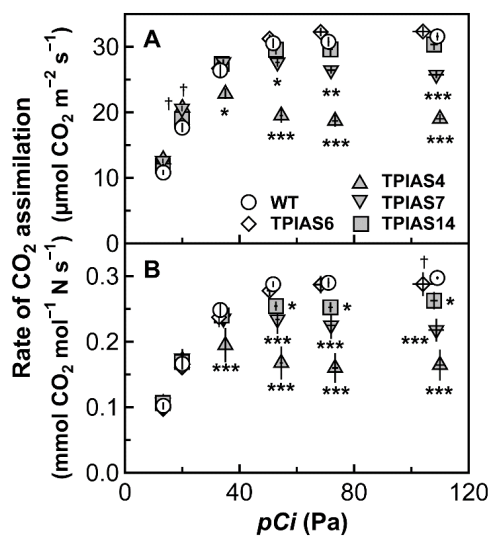


図 3. GAP 代謝抑制イネ(TPIAS4, 7, および 14)の異なる CO₂ 濃度における光合成速度。対照植物として野生型イネ(WT)、遺伝子導入はなされているものの、TPI 量が野生型と同じイネ(TPIAS6)を用いた。光合成速度は葉面積当たり(A)および単位葉身窒素量当たり(B)で表した。TPIAS4, 7, 14 における TPI 量は、野生型のそれぞれ 14%、22%および 45%となっている。

(5) その他

また、さらなる光合成能力強化のために、葉の一生を通じた Rubisco 量増強の試み、Rubisco アクティベースと Rubisco の同時増強、さらには環境ストレス耐性強化に向けた光化学系を含めた基礎的試験も実施した。今後は、本研究とこれらの試み等を組み合わせることで、さらなる光合成能力の強化を図る予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Wada Shinya, Takagi Daisuke, Miyake Chikahiro, Makino Amane, Suzuki Yuji	4. 巻 20
2. 論文標題 Responses of the Photosynthetic Electron Transport Reactions Stimulate the Oxidation of the Reaction Center Chlorophyll of Photosystem I, P700, under Drought and High Temperatures in Rice	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 2068
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ijms20092068	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 Suganami Mao, Suzuki Yuji, Kondo Eri, Nishida Shinji, Konno So, Makino Amane	4. 巻 21
2. 論文標題 Effects of Overproduction of Rubisco Activase on Rubisco Content in Transgenic Rice Grown at Different N Levels	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 1626
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ijms21051626	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 Suzuki Yuji, Wada Shinya, Kondo Eri, Yamori Wataru, Makino Amane	4. 巻 65
2. 論文標題 Effects of co-overproduction of sedoheptulose-1,7- biphosphatase and Rubisco on photosynthesis in rice	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 36 ~ 40
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00380768.2018.1530053	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 Kudo Natsumi, Mano Kazuhisa, Suganami Mao, Kondo Eri, Suzuki Yuji, Makino Amane	4. 巻 66
2. 論文標題 Effects of overexpression of the Rubisco small subunit gene under the control of the Rubisco activase promoter on Rubisco contents of rice leaves at different positions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 569 ~ 578
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00380768.2020.1780898	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 Wada Shinya, Miyake Chikahiro, Makino Amane, Suzuki Yuji	4. 巻 11
2. 論文標題 Photorespiration Coupled With CO ₂ Assimilation Protects Photosystem I From Photoinhibition Under Moderate Poly(Ethylene Glycol)-Induced Osmotic Stress in Rice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 1121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2020.01121	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 Suganami Mao, Suzuki Yuji, Tazoe Youshi, Yamori Wataru, Makino Amane	4. 巻 185
2. 論文標題 Co-overproducing Rubisco and Rubisco activase enhances photosynthesis in the optimal temperature range in rice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 108 ~ 119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/plphys/kiaa026	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 Suzuki Yuji, Ishiyama Keiki, Sugawara Misaki, Suzuki Yuka, Kondo Eri, Takegahara-Tamakawa Yuki, Yoon Dong-Kyung, Suganami Mao, Wada Shinya, Miyake Chikahiro, Makino Amane	4. 巻 62
2. 論文標題 Overproduction of Chloroplast Glyceraldehyde-3-Phosphate Dehydrogenase Improves Photosynthesis Slightly under Elevated [CO ₂] Conditions in Rice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 156 ~ 165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcaa149	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 Takahashi Yuki, Wada Shinya, Noguchi Ko, Miyake Chikahiro, Makino Amane, Suzuki Yuji	4. 巻 -
2. 論文標題 Photochemistry of Photosystems II and I in Rice Plants Grown under Different N Levels at Normal and High Temperature	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcab020	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 Suzuki Yuji, Ishiyama Keiki, Cho Ayaka, Takegahara-Tamakawa Yuki, Wada Shinya, Miyake Chikahiro, Makino Amane	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of co-overproduction of Rubisco and chloroplast glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase on photosynthesis in rice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2021.1915100	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26件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Suganami Mao, Suzuki Yuji, Nishida Shinji, Konno So, Makino Amane
2. 発表標題 Is there a trade-off between the amounts of Rubisco and Rubisco activase (RCA)?-Analysis of transgenic rice plants with changes in RCA or Rubisco contents-
3. 学会等名 International Symposium on Photosynthesis and Chloroplast Biogenesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takagi Daisuke, Tazoe Youshi, Suganami Mao, Ueda Akihiro, Suzuki Yuji, Makino Amane
2. 発表標題 Excess phosphorus declines the Rubisco activation state and inhibits photosynthesis in rice leaves
3. 学会等名 International Symposium on Photosynthesis and Chloroplast Biogenesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅波真央, 石山敬貴, 渋谷暁一, 渡邊まり, 小倉真紀, 尹棟敬, 田副雄士, 鈴木雄二, 前忠彦, 牧野周
2. 発表標題 Rubisco過剰生産・生産抑制イネの隔離圃場栽培における光合成の解析
3. 学会等名 日本光合成学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和田慎也, 鈴木雄二, 高木大輔, 三宅親弘, 牧野周
2. 発表標題 イネにおけるP700吸光パラメーターによる水ストレス診断
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木雄二, 和田慎也, 高木大輔, 三宅親弘, 牧野周
2. 発表標題 光呼吸による過剰光エネルギーに対する防御
3. 学会等名 日本土壌肥料学会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wada Shinya, Suzuki Yuji, Takagi Daisuke, Miyake Chikahiro, Makino Amane
2. 発表標題 Photorespiration contributes to oxidation of the reaction center chlorophyll of photosystem I and the robustness of photosystem I against excess light stress under CO ₂ -limited conditions in rice
3. 学会等名 3rd Agriculture and Climate Change Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅波真央, 鈴木雄二, 田副雄士, 牧野周
2. 発表標題 イネにおけるRubiscoとRubisco activaseの多重増強が光合成に与える影響
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今野壮, 菅波真央, 太田吉哉, 高木大輔, 田副雄士, 鈴木雄二, 牧野周
2. 発表標題 Rubisco activase過剰発現イネの光合成特性
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木大輔, 田副雄士, 菅波真央, 上田晃弘, 鈴木雄二, 牧野周
2. 発表標題 リン酸毒性はRubiscoの活性化率と抗酸化活性の低下によってイネの生育を抑制する
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 尹棟敬, 石山敬貴, 菅波真央, 香川昂亮, 渡邊まり, 伊丸岡芹菜, 小倉真紀, 田副雄士, 石田宏幸, 鈴木雄二, 小原実広, 前忠彦, 牧野周
2. 発表標題 遺伝子組換え隔離ほ場におけるRubisco 過剰生産イネのバイオマス生産、窒素利用および収量解析
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木大輔, 田副雄士, 菅波真央, 上田晃弘, 鈴木雄二, 牧野周
2. 発表標題 イネ生葉における過剰なリン酸蓄積が枯死を引き起こすメカニズムの解明
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木雄二、和田慎也、高木大輔、三宅親弘、牧野周
2. 発表標題 高温条件下で水ストレスを受けたイネにおける光合成電子伝達反応の応答と光化学系I 反応中心クロロフィルP700の酸化促進
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田慎也、三宅親弘、牧野周、鈴木雄二
2. 発表標題 イネにおけるRubiscoの特異的増減が水ストレスへの感受性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takagi Daisuke, Tazoe Youshi, Suganami Mao, Ueda Akihiro, Suzuki Yuji, Makino Amane
2. 発表標題 Phosphorus toxicity decreases both electron sink activity and anti-oxidative activity in rice leaves
3. 学会等名 10th International Conference Photosynthesis and Hydrogen Energy Research for Sustainability (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅波真央、鈴木雄二、田副雄士、牧野周
2. 発表標題 RubiscoとRubisco activase の同時過剰生産がイネの光合成に与える影響
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尹棟敬、石山敬貴、菅波真央、香川昂亮、渡邊まり、伊丸岡芹菜、小倉真紀、田副雄士、石田宏幸、鈴木雄二、小原実広、前忠彦、牧野周
2. 発表標題 遺伝子組換え作物隔離ほ場におけるRubisco過剰生産イネの4年間の収量試験評価
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木雄二、和田慎也、三宅親弘、牧野周
2. 発表標題 Rubisco量の抑制はイネの水ストレス耐性を低下させる
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅波真央、鈴木雄二、田副雄士、牧野周
2. 発表標題 イネにおけるRubiscoとRubisco activaseの同時過剰生産が光合成に与える影響
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尹棟敬、香川昂亮、石山敬貴、菅波真央、前忠彦、鈴木雄二、石田宏幸、牧野周、小原実広
2. 発表標題 欠損GS3遺伝子により大粒性を有した準同質遺伝子系統ノトヒカリの作出とほ場での収量評価試験
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅波真央、鈴木雄二、田副雄士、牧野周
2. 発表標題 イネにおけるRubiscoとRubisco activaseの同時増強が光合成に与える影響
3. 学会等名 日本土壤肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木雄二、石山敬貴、菅原水彩季、鈴木優佳、玉川夕紀、和田慎也、菅波真央、近藤依里、三宅親弘、牧野周
2. 発表標題 カルビンサイクル酵素グリセルアルデヒド-3-リン酸デヒドロゲナーゼおよびトリオースリン酸イソメラーゼの遺伝子組換えがイネ葉の光合成に及ぼす影響
3. 学会等名 日本土壤肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尹棟敬、香川昂亮、石山敬貴、菅波真央、前忠彦、鈴木雄二、石田宏幸、小原実広、牧野周
2. 発表標題 遺伝子組換え植物専用隔離ほ場水田を用いたRubisco増強イネの収量評価試験
3. 学会等名 日本土壤肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋佑季、和田慎也、野口航、三宅親弘、牧野周、鈴木雄二
2. 発表標題 異なる窒素施肥量・生育温度がイネの光化学系IIおよびIの光化学反応に及ぼす影響
3. 学会等名 日本土壤肥料学会東北支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤口尚生、影山創大、宮澤真一、牧野周、鈴木雄二
2. 発表標題 6種の針葉樹におけるRubisco比活性の評価
3. 学会等名 日本土壌肥料学会東北支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古谷吏侑、牧野周、鈴木雄二、嶋川銀河、和田慎也、三宅親弘
2. 発表標題 イネの不安定な気孔開閉によるCO ₂ 固定反応効率の変動と光呼吸によるP700 酸化誘導
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木雄二、石山敬貴、菅原水彩季、鈴木優佳、近藤依里、竹ヶ原（玉川）夕紀、尹 棟敬、和田慎也、菅波真央、三宅親弘、牧野周
2. 発表標題 葉緑体型グリセルアルデヒド-3-リン酸デヒドロゲナーゼの過剰発現がイネの光合成と個体生育に及ぼす影響
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2021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
連携研究者	牧野 周 (Makino Amane) (70181617)	東北大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授 (11301)	

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