

令和 4 年 5 月 19 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K14453

研究課題名（和文）イネ1穂粒数増加遺伝子の準同質遺伝子系統における穂首維管束系と登熟特性との関係

研究課題名（英文）Relationship between vascular bundle at panicle neck internode and ripening ability of near-isogenic lines introgressed with genes for increasing spikelet number in rice

研究代表者

菊田 真由実（KIKUTA, Mayumi）

広島大学・統合生命科学研究科（生）・助教

研究者番号：20788418

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）：ケニアにおけるイネ収量向上のため、現地の品種に粒数増加遺伝子（Gn1aおよびWFP）を導入し収量反応を調査した。粒数遺伝子導入系統では、粒数増加による増収効果が登熟歩合低下により抑制された。Gn1aとWFPを同時に導入した系統では、相加的遺伝子効果により1穂粒数が最も多くなり、収量も増加傾向を示した。両遺伝子導入系統では、籾への養水分の輸送経路である穂首維管束の数と断面積が親品種と比較して増大していることが明らかになった。環境条件や遺伝子を導入する品種次第で、粒数増加遺伝子導入による収量増加が可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、イネ収量に関連する遺伝子が数多く同定され、実際の生産現場に寄与することが期待されている。これまでに報告されている粒数増加遺伝子導入系統では、粒数は増加するものの登熟歩合が大きく低下し、収量増加には繋がっていない。本研究では、ケニアにおいて現地の品種に1穂粒数増加遺伝子（Gn1a および WFP）を導入した準同質遺伝子系統を評価し、収量が増加する系統を見いだした。Gn1aとWFPの両方を導入した系統を利用することでケニアのイネ収量を向上させ、食糧問題解決に貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：To improve rice yield in Kenya, we investigated the yield responses of lines of local rice varieties introgressed with the genes for increasing spikelet number (Gn1a and WFP). In the introgression lines, the yield increase due to increased spikelet number was suppressed by decreased filled grain ratio. The lines carrying both genes showed the highest grain number per panicle and higher yields due to additive gene effects. The number and cross-sectional area of vascular bundles at the panicle neck, the transport pathway for water and nutrition to the grain, were increased in the lines introgressed with both genes compared to the parental variety. These results indicate that the rice lines introgressed with genes for increasing spikelet number can increase yield depending on the environmental conditions and the parental variety.

研究分野：作物生産科学

キーワード：イネ 準同質遺伝子系統 ケニア

1. 研究開始当初の背景

世界の人口は、アジアやアフリカを中心に増え続けており、コメの需要は伸び続けている。一方で農業用地や天然資源の枯渇といった問題が顕在化しており、これまで以上に単位面積当たりのイネの生産性向上が求められている。近年の遺伝育種学の進歩により、1穂粒数増加に関わる遺伝子 [eg. *Gn1a* (Ashikari et al., 2005), *APO1* (Ikeda-Kawakatsu et al., 2009), *WFP* (Miura et al., 2010), *TAWAWAI* (Yoshida et al., 2013)] が同定された。これらの成果により、既に普及されている品種にマーカー育種で目的遺伝子のみを導入し、遺伝的背景が既存品種に非常に近く潜在的に高い収量性をもつ品種を育成することが可能となり、実際の生産現場に寄与することが期待されている。

これまで、研究代表者の属する研究グループでは、コメの増産が喫緊の課題であるケニアにおいて、イネの生産性向上に関する研究に取り組んできた。ケニア、ムエア灌漑地区は、海拔約1200 m に位置し、多収栽培に必要とされる高日射量と低夜温の条件を満たす地域であるが、冷涼な気象条件や現地消費者の嗜好により、新規多収性品種の導入には至っていない。現地の環境および市場条件に適した品種によるコメの生産性向上が求められている。

収量は遺伝的要因と環境要因の相互作用を受けて決まるため、遺伝子導入効果は、実際の現地の栽培環境下で検証する必要がある。しかし、実際のフィールド条件下において収量増加に関わる遺伝子の発現およびその収量性を調査した先行研究は少ない上に、これらの限られた先行研究では、収量増加に関わる遺伝子を導入し、目的形質は向上しても、その他の形質において負の効果がみられ、必ずしも収量増加に結びつかなかったとする報告がほとんどである。特に、1穂粒数増加遺伝子を導入した系統では、1穂粒数は増加してもソース能が不十分であるため、登熟歩合等が顕著に低下することが確認されている。以上の背景から、1穂粒数増加遺伝子 *Gn1a* および *WFP* に着目し、これらの遺伝子をケニア現地品種に導入した準同質遺伝子系統をケニアの栽培環境下で評価するとともに、先行研究で指摘されている登熟不良の要因を調査した。

2. 研究の目的

本研究では、ケニアの登録品種 *NERICA1* および *IRAT109* に1穂粒数増加に関わる遺伝子 *Gn1a* および *WFP* を導入した準同質遺伝子系統 (*NIL*; *NERICA1-Gn1a*, *NERICA1-WFP*, *NERICA1-Gn1a+WFP*, *IRAT109-Gn1a*, *IRAT109-WFP*, *IRAT109-Gn1a+WFP*) を用いて、現地での *Gn1a* および *WFP* 遺伝子の有用性を評価するために施肥管理や栽培環境条件が遺伝子導入系統に及ぼす影響を調査した。また、先行研究で報告されている1穂粒数増加遺伝子導入系統の登熟特性の違いについて、籾の登熟に関与することが知られている穂首維管束に着目し、遺伝子導入系統の穂首維管束を親品種と比較した。また、ケニアにおいて、現地の栽培品種に1穂粒数増加遺伝子を導入した系統を評価することで、現場の稲作生産に直結する研究成果を示す。

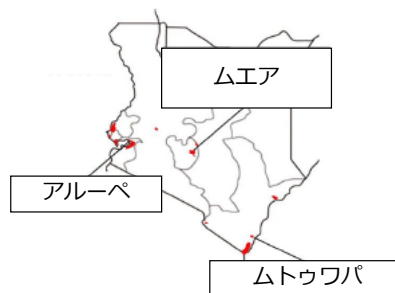
3. 研究の方法

(1) 施肥管理が遺伝子導入系統に及ぼす影響

ケニア農畜産業研究機構ムエア支所内の実験圃場において、施肥条件2水準(無施肥区と慣行施肥区)を設け、4品種/系統を供試し、湛水条件で栽培試験を実施した。収穫期にサンプリングを行い、地上部乾物重、収量および収量構成要素を調査した。主茎の穂の1次枝梗数、2次枝梗数および1次枝梗あたりの2次枝梗数も調査した。1作期目は、*NERICA1* に *Gn1a*, *WFP* を導入した *NIL* 系統 (*NERICA1-Gn1a*, *NERICA1-WFP*, *NERICA1-Gn1a+WFP*) および親品種、2作期目には、1作期目に供試した品種に加え、*IRAT109* に *Gn1a*, *WFP* を導入した *NIL* 系統 (*IRAT109-Gn1a*, *IRAT109-WFP*, *IRAT109-Gn1a+WFP*) および親品種も供試した。

(2) 栽培環境が遺伝子導入系統に及ぼす影響

ケニアの3カ所の地域(ムエア、アルーペ、ムトゥワバ)において、*NERICA1* に *Gn1a*, *WFP* を導入した *NIL* 系統 (*NERICA1-Gn1a*, *NERICA1-WFP*, *NERICA1-Gn1a+WFP*) および親品種を供試し、天水畑条件で栽培試験を実施した。研究(1)と同様に、収穫期にサンプリングを行い、地上部乾物重、収量および収量構成要素を調査した。



第1図 栽培試験を実施した場所。

- (3) 遺伝子導入が穂首維管束系に及ぼす影響
名古屋大学実験圃場において、NERICA1 に *Gn1a*, *WFP* を導入した NIL 系統(NERICA1-*Gn1a*, NERICA1-*WFP*, NERICA1-*Gn1a*+*WFP*) をポットや圃場で栽培し、穂首節間の維管束系 (穂首節間の直径、大維管束数および面積、維管束数比) および収量関連形質を NERICA1 と比較した。

4. 研究成果

- (1) 施肥管理が遺伝子導入系統に及ぼす影響



現地品種 NERICA1 NERICA1 -*Gn1a* NERICA1 -*WFP* NERICA1 -*Gn1a*&*WFP*

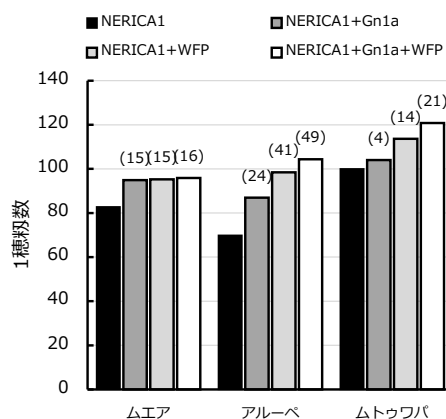
第2図 NERICA1 および *Gn1a* および *WFP* 導入系統の穂の写真。

施肥管理に関わらず、NERICA1 に *Gn1a*, *WFP* を導入した NIL3 系統 (NERICA1-*Gn1a*, NERICA1-*WFP*, NERICA1-*Gn1a*+*WFP*) において遺伝子導入効果が認められ、1 穂粒数は増加した(第2図)。1 つの遺伝子を導入した系統 (NERICA1-*Gn1a* および NERICA1-*WFP*) では、単位面積当たり粒数の増加程度に対応して、登熟歩合や千粒重が低下したため、収量は増加傾向示したが有意差は認められなかった。一方、2 つの遺伝子を導入した系統 (NERICA1-*Gn1a*+*WFP*) では、3 系統の中で最も単位面積当たりの粒数が増加し、登熟歩合や千粒重は単一遺伝子導入系統と比較して高く維持されたため、収量は有意に増加した。

また、IRAT109 に *Gn1a*, *WFP* を導入した NIL 系統 (IRAT109-*Gn1a*, IRAT109-*WFP*, IRAT109-*Gn1a*+*WFP*) の収量反応を、NERICA1 の NIL 系統と比較した。親品種に対する 1 穂粒数増加割合は、IRAT109-*WFP*, IRAT109-*Gn1a*+*WFP* において高かったが、IRAT109-*Gn1a* では 1 穂粒数の増加は見られなかった。また、すべての系統において、親品種と比較して登熟歩合が顕著に低く、収量は増加しなかった。以上のことから、*Gn1a* および *WFP* の導入による 1 穂粒数増加割合は親品種の遺伝背景によって異なり、登熟歩合の低下程度が異なることが明らかになった。また、NERICA1-*Gn1a*+*WFP* では、2 つの遺伝子を導入したことで、粒数増加による登熟歩合や千粒重の低下が抑制されたものと考えられる。

- (2) 栽培環境が遺伝子導入系統に及ぼす影響

ケニア 3 地域において複数年にわたり実施した栽培試験の結果、遺伝子導入系統の 1 穂粒数の増加程度および登熟歩合の低下程度には地域間差異が認められた (第3図)。収量における地域間差異は、1 穂粒数より大きかった。収量の高低には、1 穂粒数に加え、穂数が関係していることが示唆された。つまり、天水畑条件のような降水量に左右されやすい環境条件においては、土壌水分条件による茎数の変動の影響が大きかったと考えられた。また、研究 (1) と同様に、NERICA1-*Gn1a*+*WFP* の 1 穂粒数は、上述したように地域により増加程度は異なったものの、NIL3 系統の中で最も増加する傾向が見られた。その結果、収量も最も高い値を示す地域が多かった。つまり、異なる環境条件で栽培した場合にも、*Gn1a* と *WFP* には相加的な効果が認められ、2 つ遺伝子を導入した NERICA1-*Gn1a*+*WFP* の粒数は、3 系統の中で最も大きく増加することが明らかとなった。



第3図 ケニア 3 カ所の地域 (ムエア、アルーベ、ムトゥワパ) で実施した栽培試験の 1 穂粒数の結果。
() 内の数値は増加割合を示す。

- (3) 遺伝子導入が穂首維管束系に及ぼす影響

遺伝子導入系統の穂首節間の直径、維管束数およびその面積について調査したところ、系統間差異が認められた。NERICA1-*Gn1a* の 1 茎当たりの大維管束数および大維管束総面積は、親品種と変わらなかったが、大維管束 1 本当たりの断面積はやや大きかった。一方、NERICA1-*WFP* では、1 茎当たりの大維管束数および大維管束面積は増加したが、大維管束 1 本当たりの断面積は変化しなかった。NERICA1-*Gn1a*+*WFP* は、1 茎当たりの大維管束数、大維管束面積および大維

管束1本当たりの断面積のすべての項目で親品種より高い値を示した。1 粳当たりの大維管束面積および維管束比については、親品種と比較して *NERICA1-Gn1a* および *NERICA1-WFP* では変化が見られなかったが、*NERICA-Gn1a+WFP* ではやや高い値を示した。このように、系統間で穂首維管束形態に違いが見られたが、登熟歩合の良否との間には明確な関係が認められなかったため、穂の各枝梗分岐点の維管束形態と着粒粳数との関係についても調査する必要がある。

引用文献

Ashikari, M., Sakakibara, H., Lin, S., Yamamoto, T., Takashi, T., Nishimura, A., ... & Matsuoka, M. (2005). Cytokinin oxidase regulates rice grain production. *Science*, 309(5735), 741-745.

Ikeda-Kawakatsu, K., Yasuno, N., Oikawa, T., Iida, S., Nagato, Y., Maekawa, M., & Kyojuka, J. (2009). Expression level of *ABERRANT PANICLE ORGANIZATION1* determines rice inflorescence form through control of cell proliferation in the meristem. *Plant physiology*, 150(2), 736-747.

Miura, K., Ikeda, M., Matsubara, A., Song, X. J., Ito, M., Asano, K., ... & Ashikari, M. (2010). *OsSPL14* promotes panicle branching and higher grain productivity in rice. *Nature genetics*, 42(6), 545-549.

Yoshida, A., Sasao, M., Yasuno, N., Takagi, K., Daimon, Y., Chen, R., ... & Kyojuka, J. (2013). *TAWAWA1*, a regulator of rice inflorescence architecture, functions through the suppression of meristem phase transition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(2), 767-772.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3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 Kakehashi Takahiro, Kikuta Mayumi, Menge Daniel Makori, Gichuhi Emily Waringa, Samejima Hiroaki, Makihara Daigo	4. 巻 11
2. 論文標題 Alternate Wetting and Drying (AWD) Mitigates the Decline in Grain Filling of Basmati 370 Due to Low Temperature in Tropical Highlands	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Agronomy	6. 最初と最後の頁 2345 ~ 2345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agronomy11112345	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 Reyes Vincent P., Angeles-Shim Rosalyn B., Mendiolo Merlyn S., Manuel Ma. Carmina C., Lapis Ruby S., Shim Junghyun, Sunohara Hidehiko, Nishiuchi Shunsaku, Kikuta Mayumi, Makihara Daigo, Jena Kshirod K., Ashikari Motoyuki, Doi Kazuyuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Marker-Assisted Introgression and Stacking of Major QTLs Controlling Grain Number (Gn1a) and Number of Primary Branching (WFP) to NERICA Cultivars	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 844 ~ 844
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants10050844	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 土井 一行、芦苅 基行、菊田 真由実、榎原 大悟	4. 巻 7
2. 論文標題 イネ収量関連遺伝子の同定と利用 -ケニアでの試み-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 526 ~ 530
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Samejima Hiroaki, Katsura Keisuke, Kikuta Mayumi, Njinju Symon Mugo, Kimani John Munji, Yamauchi Akira, Makihara Daigo	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis of rice yield response to various cropping seasons to develop optimal cropping calendars in Mwea, Kenya	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Production Science	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) 10.1080/1343943X.2020.1727752	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 -

〔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 菊田真由実、Daniel M. Menge、Emily W. Gichuhi、鮫島啓彰、John M. Kimani、芦苺基行、土井一行、槇原大悟
2. 発表標題 NERICA1 にGn1a およびWFP を導入した準同質遺伝子系統のケニアの異なる施肥条件下における生育および収量 .
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gichuhi Emily、Maekawa Masahiko、 Kikuta Mayumi、 Menge Daniel、 Kimani John and Makihara Daigo.
2. 発表標題 Evaluation of yield-related traits of Kernel Basmati rice carrying <i>Oryza longistaminata</i> chromosome segments, in Kenya.
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富田怜那、Emily W. Gichuhi、菊田真由実、槇原大悟
2. 発表標題 オリザ・ロンギスタミナータ染色体断片置換系統群の生育初期における耐塩性および耐アルカリ塩性の評価 .
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅野晃良、関谷信人、菊田真由実、Daniel M. Menge、Emily W. Gichuhi、槇原大悟
2. 発表標題 ケニアで栽培された陸稲品種における出穂期以降の水不足に対する乾物生産と分配の応答 .
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kikuta, M., Samejima, H., Doi, K., Nthia, P., Sunohara, H., Menge, D., Gichuhi, E., Kimani, J., Yamauchi, A. and Makihara, D.
2. 発表標題 Growth and Yield Performance of Basmati 370 Lines Introgressed with Gn1a and AP01 under Three Levels of Nitrogen Fertilization in Kenya.
3. 学会等名 5th International Rice Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Gichuhi, E., Maekawa, M., Kikuta, M., Samejima, H., Menge, D., Kimani, J., Makihara, D. and Yamauchi, A.
2. 発表標題 Yield performance of Kernel Basmati lines Introgressed with TAWAWA1, AP01 and Ehd1 genes grown with and without fertilizer, in Kenya.
3. 学会等名 日本育種学会 第134回講演会プログラム 2018年秋季大会
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
---------------------------	-----------------------	----

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