

令和 6 年 5 月 21 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15511

研究課題名（和文）水稲のシンク活性に関する新規遺伝領域の同定と登熟生理メカニズムの解明

研究課題名（英文）Identification of a novel genetic region related to sink activity of rice for the physiology of grain filling

研究代表者

岡村 昌樹（Okamura, Masaki）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・中日本農業研究センター・主任研究員

研究者番号：00757908

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではシンク活性に関わる新規QTL（qGFR10）の候補領域約2Mb持つ水稲多品種「モミロマン」のNILを作出し、このNILとモミロマンの大規模栽培試験を行い、収量と登熟関連形質を調査した。しかし、NILでは茎部NSCの転流量が多い傾向があったものの、収量や登熟歩合に明確な差は見られなかった。またNILは出穂が6日ほど早まったおり、このことが収量に影響した可能性も考えられた。

研究期間終了後シンク活性を高めるQTLと出穂を早めるQTLが分離できるか検証し、qGFR10が登熟関連形質に与える影響をより詳細に検討していく予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「登熟」は水稲をはじめとする穀物全般の収量向上のため、非常に重要な形質である。にもかかわらず籾の数や大きさなどで決まる「シンク容量」と比較し不明な点が多く、その制御が難しい。本研究では水稲の「登熟向上」に関する新規の遺伝領域を同定するとともに、その知見を活かして、「登熟向上」の生理メカニズムを解明することを目指した。本研究で得られた知見は、登熟の生理メカニズム一端を解明したものであり、水稲をはじめとする穀物の収量向上や安定化に資するものと言える。

研究成果の概要（英文）：In this study, an NIL of high-yielding rice cultivar “Momiroman” with about 2 Mb candidate region of a novel QTL (qGFR10) involved in sink activity was developed, and a large-scale cultivation trial of this NIL and “Momiroman” was conducted to investigate yield and grain filling related traits. However, although the NIL tended to have higher stem NSC translocation, there was no clear difference in yield or ratio of filled grain. In addition, The heading day of NIL was 6 days earlier, which may have affected yield.

After the end of the study period, we will examine whether QTL that increase sink activity can be separated from QTL for heading day, and will examine the effects of qGFR10 on grain filling related traits in more detail.

研究分野：作物生理学

キーワード：イネ 登熟 シンク活性

### 1. 研究開始当初の背景

水稻の子実収量はシンクサイズ（穎果の数×サイズ）とシンクへの同化産物の充填率（登熟歩合）によって決定される。シンクサイズについては、これに関わる多くの遺伝子が単離されてきており、遺伝的改良が容易となってきた。このことも手伝い、近年開発された多収品種は国内外を問わず共通して大きなシンクサイズを持っている。しかしながら、こういったシンクサイズの大きな品種の多くは、登熟が不安定になりやすく、シンクサイズに見合った収量が確保できないことが散見される（Yang et al., 2010, J. Exp. Bot. 61, 1-4; Yoshinaga et al., 2013, Field Crops Res. 150, 74-82）。登熟歩合はソース（光合成能力）とシンクの複雑なバランスによって決定されるため、栽培環境やわずかな遺伝子型の差の影響を受けやすい。そのため、「登熟能力」の本質的な品種間差異の把握ができず、育種現場においても登熟の安定した系統を効率的に選抜することは困難である。したがって、登熟能力の生理的実態を解明し、それを制御するバイオマーカーや遺伝マーカーを開発し、育種に利用できれば、水稻の飛躍的な多収化に貢献する。

一方で、あらゆる作物において収量という複雑性質を理解し、人為的に制御するためには、数理モデル等を駆使し、ソースとシンクの相互作用を包括的に記述する必要がある（Chang et al., 2017, J. Exp. Bot. 68, 4417-4431）。そのためには、ソースとシンクそれぞれのサイズと活性、両者をつなぐ同化産物の転流といった、モデルを構成する各要素の特性を理解した上で、それぞれの相互作用を検討する必要がある。しかしながら、葉面積や光合成速度、乾物生産速度により推察されるソースのサイズおよび活性と、シンク器官の数およびサイズで決定されるシンクサイズと異なり、シンク活性（上記 Chang et al. (2017) は「シンク器官での同化産物の消費や蓄積に関わる代謝活性」と定義）については、その評価指標や定義が定まっておらず、シンク活性の実態を把握することは学術的に大きな課題となっている。

研究代表者は、これまでシンクサイズは大きいものの、登熟が不十分な水稻多収品種「モミロマン」に着目し、その生理的登熟律速要因を解明するため、圃場生産性や炭素代謝に着目した研究を行ってきた。その結果、モミロマンとシンクサイズは同程度であるが、登熟が比較的良い水稻品種である「北陸 193 号」や「特青」と比較して、モミロマンは強勢穎果（開花が早く同一穂内の他の穎果と比較し登熟が良い穎果）においても粒重増加速度が遅く、穎果間引きにより、一穎果あたりの炭素供給量を増大させても粒重増加速度は改善しないことを明らかにした（Okamura et al., 2018, Field Crops Res. 219, 139-147）。この結果は、モミロマンはソースの多少にかかわらず、デンプン合成速度が遅いこと、すなわちシンク活性が低いことを示唆している。そこでモミロマンと特青の交配後代を用いて、シンク活性の指標として、強勢穎果の粒重増加速度と単糖濃度を用いて量的形質遺伝子座（QTL）解析を行ったところ、第 10 染色体上に両形質に共通して関係する新規の QTL（qGFR10）が検出され、研究開始当所までに約 5Mbp まで領域を絞り込んでいた。

### 2. 研究の目的

本研究ではシンク活性に関わる新規 QTL（qGFR10）のファインマッピングを進め、原因遺伝子の単離を目指した。さらに qGFR10 に関するモミロマン背景の準同質遺伝子系統（NIL）の作出・評価を行うことで、その生理的機能を解明し、シンク活性の改善が収量やソース能に与える影響を明らかにする。これにより登熟を制御するバイオマーカーや遺伝マーカーが開発されるとともに、シンク活性の実態把握を通して登熟の生理メカニズムの一端が解明される。

### 3. 研究の方法

本研究ではまず研究代表者が所持している炭素安定同位体（<sup>13</sup>C）トレース実験や炭素代謝産物の解析結果をまとめた。

続いて図 1 に示した方法により、qGFR10 の候補領域の絞り込みをさらに進めた。

同時に qGFR10 の候補領域付近を特青型に持つモミロマンと特青の交配後代にモミロマンを戻し交配した。6 回戻し交配を終了後、候補領域近傍をヘテロに持つ分離集団から組み換え個体を選抜した。以上により、候補領域付近のみが特青型に持つモミロマン背景の qGFR10 の NIL を作出した。その後、種子の増殖を行い、大規模栽培試験に備えた。

作成した NIL およびモミロマンを群落の収量調査に十分な規模で多肥栽培し、収量性やソ-

モミロマンと特青の交配後代を圃場に展開し、遺伝子型を調査



出穂期に各個体の主茎かそれに準ずる茎について、強勢穎果の開花の有無を調べ、同日に開花した穎果3つ以上にマーカーで印をつける。



印をつけた穎果について、開花7日後に液体窒素による凍結サンプリングを行い、凍結乾燥後、穎果重、玄米重、単糖濃度を測定



連鎖解析

図1 シンク活性に関するQTL解析手法

ス・シンク関連形質を評価した。これにより、シンク活性の改変がソース・シンクバランスに与える影響を明らかにすることで、登熟の生理メカニズムの解明を目指した。

#### 4. 研究成果

本研究ではまず炭素安定同位体 ( $^{13}\text{C}$ ) トレース実験や炭素代謝産物の解析結果をまとめ、モミロマンの強勢籾では単糖の形で新規同化産物が滞留しており、単糖からのデンプン合成、すなわちシンク活性が登熟律速要因になっていること示した (Okamura et al., 2021, J. Exp. Bot. 72, 2570-2583)。

続いて、シンク活性に関わる qGFR10 のファインマッピングを進め、R4 年度までに、qGFR10 の候補領域約 2Mb 持つ NIL を作出した。

R5 年度はこの NIL とモミロマンの大規模栽培試験を行い、収量と登熟関連形質を調査した。しかし、NIL では茎部 NSC の転流量が多い傾向があったものの、収量や登熟歩合に明確な差は見られなかった。また NIL は出穂が 6 日ほど早まったおり、このことが収量に影響した可能性も考えられた。

一方で、ヘテロ集団を用いた解析により、候補領域をさらに絞ることに成功した。研究期間終了後シンク活性を高める QTL と出穂を早める QTL が分離できるか検証し、qGFR10 が登熟関連形質に与える影響をより詳細に検討していく予定である。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Okamura Masaki, Hirai Masami, Yokota, Sawada Yuji, Okamoto Mami, Oikawa Akira, Sasaki Ryosuke, Arai-Sanoh Yumiko, Mukouyama Takehiro, Adachi Shunsuke, Kondo Motohiko	4. 巻 72
2. 論文標題 Analysis of carbon flow at the metabolite level reveals that starch synthesis from hexose is a limiting factor in a high-yielding rice cultivar	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Botany	6. 最初と最後の頁 2570 ~ 2583
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jxb/erab016	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0件

〔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
---------	---------