

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05993

研究課題名（和文）イネの倒伏抵抗性を向上させる異なる稈内炭水化物蓄積機能の両立性に関する研究

研究課題名（英文）Evaluation of compatibility between different carbohydrate accumulation functions to contribute lodging resistance in rice culms

研究代表者

柏木 孝幸（Kashiwagi, Takayuki）

宇都宮大学・農学部・准教授

研究者番号：40595203

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）：本研究はイネの異なる稈内炭水化物蓄積特性に関する遺伝子座を複数導入することによる蓄積機能の両立性と倒伏抵抗性における効果を解析した。基部節間の非構造的炭水化物蓄積特性に関するpr15及びPRL4と上位部稈の構造的炭水化物蓄積に関するBSUC11の集積システムを解析した結果、pr15とBSUC11の集積システムでは炭水化物蓄積及び稈の物理強度において効果の両立性が確認された。一方でPRL4とBSUC11の集積システムではBSUC11機能が消失したことから、集積する遺伝子座の組み合わせが作用効果に影響することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果より示された非構造的炭水化物蓄積による下位部の支持力強化及び構造的炭水化物蓄積による上位部稈の物理特性強化に関する遺伝子座の集積効果は、その組み合わせにより稈内炭水化物蓄積特性及び物理特性における両立性が可能であることを明らかにした。稈の形態形質に関する遺伝子座の集積は優れた強稈性を獲得できることが報告されているが、形態形質の制御以外に稈内炭水化物蓄積に関する遺伝子座を集積することでも物理特性の強化が可能であることから、新たな倒伏抵抗性の育種デザインを提示できた。

研究成果の概要（英文）：This study analyzed the effects of pyramiding of different locus for culm carbohydrate accumulation in rice on compatibility of accumulation functions to contribute lodging resistance. The pyramiding lines with pr15 or PRL4, which are involved in non-structural carbohydrate accumulation in the basal culm, and BSUC11 for structural carbohydrate accumulation in the upper culm showed that the line with pr15 and BSUC11 had the coexistence on carbohydrate accumulation property or physical strength in culms. On the other hand, BSUC11 function was lost in the line with PRL4 and BSUC11. These results indicated that the combination of introducing locus for carbohydrate accumulation and physical strength in culms would affect the coexistence of functions.

研究分野：農学 作物学

キーワード：炭水化物蓄積 倒伏抵抗性 QTL集積 イネ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

イネ育種において、倒伏抵抗性の改良は主に形態形質をターゲットとして行われてきている。第一に理想型と考えられたのは草丈低下による草型の制御であり、半矮性あるいは矮性に関与する遺伝子の導入が行われてきた。第二にターゲットとなったのは稈径であり、太稈性を示す品種を育種材料として稈径増加による物理強度の向上が目指されてきた。実際に、国際稲研究所では半矮性を示す IR 系統から太稈性の New Plant Type 系統へと倒伏抵抗性のターゲットが移行している (Peng et al. Crop Sci 1999)。また太稈性の遺伝学的研究がいくつか報告され、稈径や稈壁厚を大きくする遺伝子座として *SCM2*、*SCM3*、*sdm8* 等が同定され、その倒伏抵抗性への影響も明らかになっている (Kashiwagi et al. Theor Appl Genet 2008, Ookawa et al. Nat Commu 2010, Yano et al. Mol Plant 2015)。

一方で形態形質の制御とは異なり、稈内成分蓄積を制御して稈の物理強度や下位部の支持力を高める倒伏抵抗性改良も明らかになっている。例えば、稈内の非構造性炭水化物再蓄積を高め下位部の支持力を高める *pr15* (Kashiwagi and Ishimaru Plant Physiol 2004, Kashiwagi et al. Plant Physiol Biochem 2006) や構造性炭水化物であるホロセルロース含量を高く維持することにより上位部稈の強度劣化を抑える *BSUC11* (Kashiwagi Euphytica 2014, Kashiwagi et al. Euphytica 2016) はすでに遺伝的要因として報告されている。これらの遺伝子座はいずれも草丈や稈径に関与せず、草型を変化させることなく倒伏抵抗性を向上させる特性が明らかになっている。このような稈内成分蓄積特性の制御は倒伏抵抗性向上の新たな改良型になり得ると考えられる。

より優れた倒伏抵抗性の獲得には複数の遺伝的要因を組み合わせることが必要となる。実際に Yano ら (Mol Plant 2015) は稈径に関与する遺伝子座 *SCM2* と *SCM3* の集積 (ピラミディング) により単独導入よりも太稈で優れた物理特性を得ている。さらに稈径に関与する 4 つ遺伝子座の導入では、単独の遺伝子座では効果を示さなかった下位部支持力も強化している (Kashiwagi et al. Theor Appl Genet 2008)。このように形態形質である太稈性については複数の遺伝的要因による集積効果の重要性が確認されている。同様に稈内炭水化物蓄積特性に関与する遺伝的要因においても、集積効果によりさらに優れた稈質強化が期待できる。しかしながら稈内炭水化物蓄積特性の場合、その機能の両立性について問題も考えられる。稈内の炭水化物蓄積特性においては登熟期以降の構造性炭水化物蓄積が上位部稈の物理強度、非構造性炭水化物が下位部の支持力に関与することが明らかとなったが、その源は登熟期以降の光合成産物であり、両炭水化物を同時に蓄積することが可能かどうか不明である。稈内炭水化物蓄積特性の制御による優れた倒伏抵抗性を実現するために、関与する遺伝的要因の集積効果を明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、稈内炭水化物蓄積特性に関与する遺伝子座を複数導入することによる蓄積機能の両立性と倒伏抵抗性における効果を明らかにすることである。これにより倒伏抵抗性における理想的な稈内の構造性及び非構造性炭水化物蓄積特性を構築できると考えられる。本研究で対象とする倒伏抵抗性の遺伝子座は、稈内炭水化物蓄積特性を制御して稈径や稈長等を変えことなく収穫期の物理強度を高めるものである。これらの遺伝子座は収量がほぼ決定する登

熟期以降に蓄積を高めて倒伏抵抗性を向上させるため、収量との競合もないことが明らかとなっている。このような登熟期以降の稈質のみを改良できる機能は育種ツールとして有用であり、複数の遺伝子座を集積してより高い倒伏抵抗性を付与できればさらに強力なツールになり得ると考えられる。そこで本研究では稈内の構造的性及び非構造的炭水化物蓄積特性による稈質強化に關与する遺伝子座を対象として、近似同質遺伝子系統及び機能の異なる遺伝子座を集積した集積系統を作出し、各機能の両立性と倒伏抵抗性における集積効果を解析した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 稈内の構造的・非構造的炭水化物蓄積特性に關与する遺伝子座の集積系統選抜

構造的炭水化物蓄積特性を制御する倒伏抵抗性遺伝子座 (*BSUC11*) 及び非構造的炭水化物蓄積特性を制御する遺伝子座 (*pr15*, *PRL4*) 有する導入系統 (NIL-*BSUC11*, NIL-*pr15*, IL-*PRL4*) を育成し、両系統を交配して遺伝子座を集積させた集積系統 (PL-*BSUC11+pr15*, PL-*BSUC11+PRL4*) について遺伝子型及び表現型を指標に選抜した。

#### (2) 集積系統の稈内炭水化物蓄積特性及び倒伏抵抗性の解析

コシヒカリ、*BSUC11*, *pr15*, *PRL4* の導入系統、選抜した集積系統を水田圃場で育成し、稈内炭水化物蓄積特性及び倒伏抵抗性を解析した。稈内炭水化物蓄積特性では上位部節間の構造的炭水化物 (ホロセルロース、ヘミセルロース、 $\beta$ -セルロース) と基部節間の非構造的炭水化物 (デンプン、ショ糖、単糖類) を出穂から 2 週間毎に測定し、収穫期である 6 週目には両節間の構造的・非構造的炭水化物をすべて測定した。倒伏抵抗性では圃場条件下での倒伏程度、材料試験機による稈物理特性、押し倒し抵抗、稈形態を解析し、加えて草丈などの形態学的特性や収量性も解析した。

### 4. 研究成果

#### (1) 各遺伝子座の導入系統及び集積系統の選抜

*BSUC11* 及び *pr15* を有する近似同質遺伝子系統 (NIL-*BSUC11*, NIL-*pr15*) を交配し、集積系統を育成した (図 1)。また、実験により新たに同定された押し倒し抵抗に關与する QTL (*PRL4*) が *pr15* と同様に非構造的炭水化物を蓄積する QTL であることが確認されたので、導入系統 (IL-*PRL4*) を選抜し、NIL-*BSUC11* と交配した集積系統を育成した。遺伝子型解析の結果から、実験に用いた NIL-*BSUC11* 及び NIL-*pr15* はいずれも導入されたドナー由来の染色体断片が 1.5Mb 以下のサイズであり、IL-*PRL4* では約 6.6Mb のドナー由来の染色体断片を有することを確認した。これらの導入系統及び集積系統について表現型解析を行った結果、*pr15* を有する導入系統及び集積系統はいずれも *pr15* の特徴である押し倒し抵抗の向上と葉身の老化遅延を示した。一方で IL-*PRL4* は NIL-*pr15* と同様に押し倒し抵抗の向上を示したが、葉身の老化遅延は示さず、集積系統においても

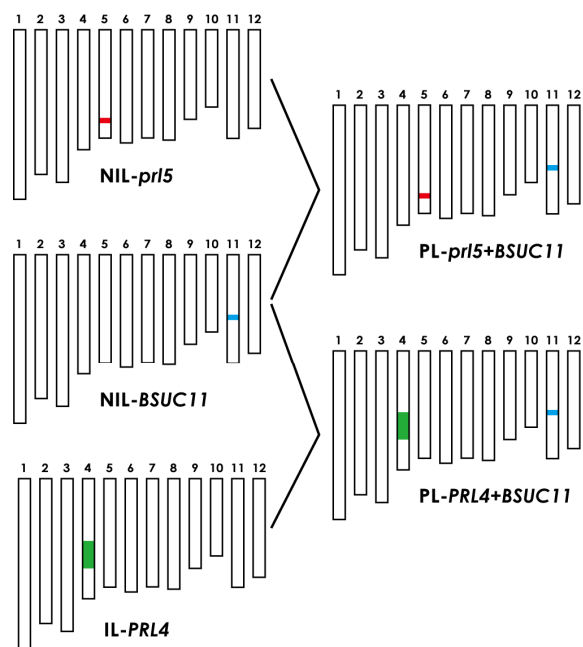


図 1 炭水化物蓄積特性に關与する倒伏抵抗性 QTL の集積系統

同様の特徴を示した。これらの遺伝子型及び表現型の結果から、機能の両立性と倒伏抵抗性における集積効果を解析するための実験系統を選抜した。

## (2) 機能の両立性と倒伏抵抗性における集積効果の評価

異なる稈内炭水化物蓄積特性を有する遺伝子座を集積したピラミディング系統 (PL-*BSUC11+pr15* 及び PL-*BSUC11+PRL4*) について、稈内の構造的及び非構造的炭水化物 (NSC) 蓄積特性、倒伏抵抗性、形態形質及び収量特性をコシヒカリと比較した。コシヒカリにおける上位部稈 (第2節間) の構造的炭水化物蓄積量は出穂以降ホロセルロース及びヘミセルロースが減少し、 $\beta$ -セルロースは出穂後2週目まで蓄積量が増加し、その後減少した (図2A)。PL-*BSUC11+pr15* はコシヒカリと比べて出穂後4~6週目において約20%高い構造的炭水化物蓄積量を示した。一方

で PL-*BSUC11+PRL4* は出穂~6週目にかけてコシヒカリと同等の構造的炭水化物蓄積量を示した。また、2つのピラミディング系統は、コシヒカリと異なり出穂後4週目まで $\beta$ -セルロースを蓄積した。コシヒカリにおける基部節間のNSC蓄積量は出穂後4週目まで減少し、6週目に再蓄積を示した (図2B)。2つのピラミディング系統は出穂後4週目までコシヒカリと類似した蓄積特性を示したが、6週目にコシヒカリと比較して PL-*BSUC11+pr15* は3.0倍、PL-*BSUC11+PRL4* は2.4倍のNSCを蓄積していた。倒伏抵抗性において、PL-*BSUC11+pr15* は出穂後2週目以降に基部節間の圧縮抵抗をコシヒカリよりも高く維持し、出穂後6週目には第2節間の挫折抵抗

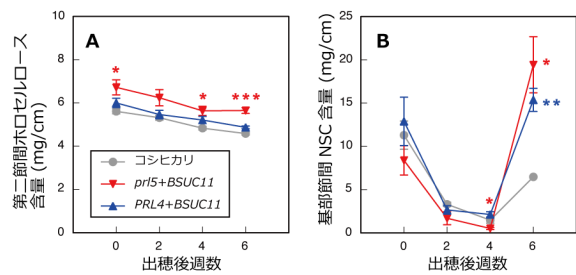


図2 出穂後の稈内炭水化物蓄積特性

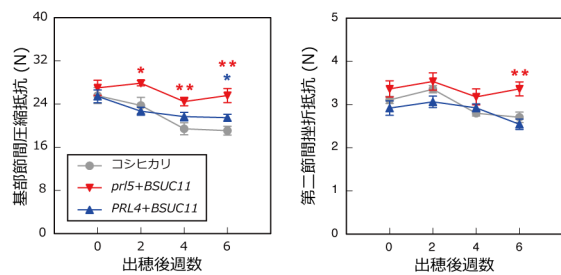


図3 出穂後の稈における物理特性

を高くした (図3)。一方で PL-*BSUC11+PRL4* は出穂後6週目にコシヒカリよりも高い基部節間の圧縮抵抗を示したが、第2節間の挫折抵抗は同等であった。下部部の押し倒し抵抗では PL-*BSUC11+pr15* がコシヒカリの1.9倍、PL-*BSUC11+PRL4* が1.3倍高い値を示し、出穂後6週目の植物体角度は PL-*BSUC11+PRL4* のみ有意に向上した。草丈及び個体あたりの収量において PL-*BSUC11+pr15* のみコシヒカリよりも増加を示したが、収量構成要素に関しては有意な違いは確認されなかった。本研究の結果、*BSUC11* と *pr15* の集積では稈の炭水化物蓄積特性及び物理特性における集積効果が確認されたが、*BSUC11* と *PRL4* の集積では *BSUC11* の機能が消失することが明らかになった。また *BSUC11* と *pr15* の集積は草丈及び収量の増加により植物体角度の向上に寄与しなかった。以上のことから、異なる稈内炭水化物蓄積特性を有する遺伝子座を集積した場合、その組み合わせによって稈内の構造的及び非構造的炭水化物の両方の蓄積を増加させ、物理強度を高めることが可能である。一方で、*BSUC11* と *pr15* の様に遺伝子座の集積により草丈や収量形質などの他の形質への影響が生じた場合は、倒伏抵抗性を総合的に向上させる効果が得られないことが示唆された。

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 Takayuki Kashiwagi	4. 巻 218
2. 論文標題 Novel QTL for lodging resistance, PRL4, improves physical properties with high non-structural carbohydrate accumulation of basal culms in rice ( <i>Oryza sativa</i> L.)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Euphytica	6. 最初と最後の頁 83
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10681-022-03036-6	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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 柏木孝幸
2. 発表標題 イネにおける下位部の支持力強化に関与する倒伏抵抗性QTL「PRL4」の同定と機能解析
3. 学会等名 日本作物学会第251回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柏木 孝幸、宗方 淳
2. 発表標題 イネの上部部稈物理的強度に関与するBSUC11領域の矮小化及び湾曲型倒伏に対する効果
3. 学会等名 日本作物学会第255回講演会
4. 発表年 2023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
---------	---------