

令和 4 年 6 月 5 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02940

研究課題名(和文)スーパー台風に強いイネの多収・強稈遺伝子集積の発現機構と最適組合せの解明

研究課題名(英文) Expression mechanism and optimal combination of high-yield and strong culm gene accumulation in super typhoon-resistant rice

研究代表者

大川 泰一郎(Ookawa, Taiichiro)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：80213643

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)：水稻の4つの多収・太稈遺伝子SCM1, SCM2, SCM3, SCM4の2～4集積系統の挫折型およびたわみ型倒伏抵抗性の評価を行い、4集積系統はコシヒカリより挫折型、たわみ型倒伏抵抗性が強化されていることを確認した。強稈質品種リーフスターとコシヒカリより作出した組換え自殖系統群(RILs)を用いて、第5染色体のセルロース、ヘミセルロース密度を高めるQTL候補領域を絞り込み、NILを育成するため、リーフスターの第5染色体断片をもつコシヒカリ遺伝背景のNIL-SC1, NIL-SC2を作出した。多収、太稈遺伝子と強稈質遺伝子を集積した系統を作出し、収量性、倒伏抵抗性の向上が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来のイネの倒伏抵抗性の品種改良において短稈化する方向で育種されてきた結果、短稈化以外のもう一つの方法である強稈化する方向での多収品種の改良は、国内外においてイネではほとんど行われておらず、強稈性に関する生理学的、遺伝学的研究もほとんど行われてこなかった。強稈性は稈の太さや稈質などに関わる複数の遺伝子が作用する量的形質であり、短稈化に比べて改良が難しかった。本研究の成果により、多収性、強稈性に関わるQTLが特定され、それらを複数集積し、組合せを選択することによって強稈化による倒伏抵抗性の改良が効率的にできることが実際に示され、スーパー台風に強いイネの効率的な品種改良の道が開かれた。

研究成果の概要(英文)：Rice lines with the accumulation of four thick culm genes, SCM1, SCM2, SCM3 and SCM4 were evaluated their lodging resistance. These accumulation lines had enhanced lodging resistance. Using recombinant inbred lines (RILs) derived from Leaf Star and Koshihikari, the QTL candidate regions for cellulose and hemicellulose density on chromosome 5 were narrowed down, and generated NILs, NIL-SC1 and NIL-SC2, in the Koshihikari genetic background. New lines with the accumulation of thick and stiff culm genes were developed This new line had a superior lodging resistance.

研究分野：作物学

キーワード：イネ 倒伏抵抗性 集積 多収 強稈 スーパー台風

1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化により東南アジアではスーパー台風の発生が増加しており、我が国でも超大型台風による倒伏などの農業被害が拡大し、将来は日本でもスーパー台風の上陸が予測されている。栽培面積の最も多い良食味品種コシヒカリは稈が細く倒伏しやすく、収量、品質低下など生産現場で大きな問題となっており、コシヒカリの倒伏抵抗性の改良が課題となっている。今後、スーパー台風にも耐えうるコシヒカリなど良食味品種や、最近生産現場でニーズの高い業務用多収品種の倒伏抵抗性の改良が喫緊の課題である。

これまで水稻品種の多収性、倒伏抵抗性の改良は、半矮性遺伝子 *sd1* を利用した短稈化とそれに伴う収獲指数の向上により成し遂げられてきた。しかしながら、*sd1* は短稈化のみで稈を細くすること、バイオマス生産能力の低下などの負の効果があることが指摘されている (Okuno et al. 2014, Ookawa et al. 2010)。さらに、最近のスーパー台風など台風の大型化によって、改良された半矮性多収品種の倒伏が東南アジアをはじめ国内外で問題となっており、さらにスーパー台風、ゲリラ豪雨などの発生が頻発する将来においては、多収品種の倒伏抵抗性の飛躍的な向上が課題となっている。

従来の倒伏抵抗性の品種改良において短稈化する方向で育種されてきた結果、短稈化以外のもう一つの方法である強稈化する方向での多収品種の改良は、国内外においてイネではほとんど行われておらず、強稈性に関する生理学的、遺伝学的研究もほとんど行われてこなかった。強稈性は稈の太さや稈質などに関わる複数の遺伝子が作用する量的形質であり、短稈化に比べて改良が難しい。しかしながら、現在、品種改良に量的形質遺伝子座 (QTL) 解析とマーカー選抜の適用が進みつつあり、強稈性に関わる太稈、強稈質に関わる QTL と原因遺伝子を特定し、さらに NIL を育成しそれらを複数集積し、組合せを選択することによって強稈化による倒伏抵抗性の改良が効率的にできると考えられる。

多収関連遺伝子では、量的形質遺伝子座 (QTL) の解析により、穎花数を増加させる遺伝子 (*Gn1*, *WFP* など) や初サイズの遺伝子などがいくつか同定されている (Miura et al., *Nature Genetics*, 2010) 一方で、強稈関連遺伝子では、これまで稈の太さや稈質に関わる突然変異体が見つかっており、細稈遺伝子 (*fine culm1* など) (Minakuchi et al., *Plant Cell Physiol.*, 2010) が報告されているが、実用的な太稈遺伝子の報告はない。また、もろい稈の遺伝子 (*brittle culm1* など) は報告されているが (Iwata et al., *Japan J. Breed.*, 1985) 折れにくさ、曲げ強さに関係する遺伝子はみつかっていない。強稈性は複数の遺伝子が関与する量的形質であり (大川ら 1997) 関与する遺伝子の特定が困難であったが、最近では、イネゲノム情報を利用した農業重要形質の量的形質遺伝子座 (QTL) 解析が進み、染色体上の QTL が特定できるようになり、個々の遺伝子座の解析により、本研究の強稈・多収遺伝子の同定と生理機能の解析、遺伝子の集積が可能となる状況となっている。細胞分裂活性を高め、稈を太くするとともに穂の穎花数を増加させ収量ポテンシャルを高める多面発現遺伝子 *AP01* であること (Ookawa et al., *Nat. Commun.*, 2010) 中国 117 号の太稈、多粒遺伝子 *SCM3* の原因遺伝子はストリゴラクトンのシグナル伝達に関与する *FC1* であること (Yano et al., *Mol. Plant*, 2015) を解明している。

2. 研究の目的

将来、我が国にも上陸が予測されているスーパー台風にも耐える倒伏抵抗性極強のイネ良食味品種やニーズの高い業務用多収良食味品種を効率的に開発するためには、多収化とともに重い穂、地上部を支えるための太稈と強稈質を合わせもつ強稈化による倒伏抵抗性の改良が不可欠となる。複数の強稈、多収品種に由来する多収・太稈 QTL、強稈質 QTL を複数組合せて集積することにより、さらに収量ポテンシャルと倒伏抵抗性の飛躍的な向上が可能となる。本研究では、地球温暖化に適応した倒伏抵抗性極強の多収・良食味品種を開発するため、多収・太稈品種八バタキと太稈品種中国 117 号に由来する多収・太稈遺伝子と極強稈質品種リーフスターに由来する強稈質遺伝子を低収で倒伏しやすい品種コシヒカリに組み合わせ集積し、その集積効果の発現メカニズムを解明し、生産現場に適用するため、栽培地、施肥条件の異なる栽培環境下で最も高い集積効果をあげる最適な遺伝子の組み合わせを解明することを目的とする。

3. 研究の方法

強稈遺伝子 *SCM1*, *SCM2*, *SCM3*, *SCM4* のコシヒカリ背景の NIL を用いて、マーカー選抜により 2 集積系統 (*SCM1+2*, *SCM1+3*, *SCM1+4*, *SCM2+3*, *SCM2+4*, *SCM3+4*)、3 集積系統 (*SCM1+2+3*, *SCM1+2+4*, *SCM1+3+4*, *SCM2+3+4*)、4 集積系統 (*SCM1+2+3+4*) を作出した。また、強稈質のリーフスターで特定された第 5 染色体のセルロース含有率を高める遺伝子座を特定するため、候補領域の組換え固定系統を用いて候補領域の絞り込みのためのマッピングを行い、NIL の作出を行った。本学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター FM 本町水田 (多摩川沖積土壌) に 22. 2 株/m² (30cm×15cm)、1 株 1 本植の 3 反復で 5 月中旬に移植した。肥料は基肥として化成肥料 N, P₂O₅, K₂O 各成分で 5kg, 6kg, 6kg/10a を施用した。出穂 15 日後に材料試験機テンシロン (RTG1210, エーアンドディ社) を用い、主

稈の第 節間中央部の挫折時モーメントを測定した。断面二次モーメントと断面係数は稈外径および内径から算出し、曲げ剛性は断面二次モーメントとヤング率の積より、また稈の挫折時モーメントを断面係数で除して曲げ応力を求めた。株のたわみ型および挫折型倒伏抵抗性評価のための人工台風試験では、株を掘りとり根元を固定し、シャワー付き大型ファンで風速 15m/s の暴風雨を再現し、湾曲角度および挫折茎数の測定を行った。皮層繊維組織の厚さは稈の切片をフロログルシン塩酸でリグニン染色後、光学顕微鏡で観察、測定を行った。強稈関連遺伝子の発現解析はリアルタイム RT-PCR により行った。

4. 研究成果

(1) 多収・太稈遺伝子の集積効果

4 つの多収・太稈遺伝子 *SCM1*, *SCM2*, *SCM3*, *SCM4* の 2 ~ 4 集積系統の挫折型およびたわみ型倒伏抵抗性の評価を行った。挫折型倒伏抵抗性に関わる断面係数は四集積系統、三集積系統、二集積系統の順で大きく、集積の効果が認められた。四集積系統の *SCM1+2+3+4* の断面係数はコシヒカリの約 2 倍に増加した。曲げ応力は集積により減少し、その結果、断面係数と曲げ応力の積である稈の挫折時モーメントは集積により増加し、*SCM1+2+3+4* はコシヒカリに比べて約 1.3 倍に増加した。たわみ型倒伏抵抗性に関わる断面二次モーメントは四集積系統、三集積系統、二集積系統の順で大きく、集積効果があり *SCM1+2+3+4* はコシヒカリの約 2.2 倍と著しく増加した。台風ジェネレーターによる倒伏抵抗性の評価から、四集積系統はコシヒカリより挫折型、たわみ型倒伏抵抗性が強化されていることを確認した。

(2) 強稈質遺伝子のマッピングと NIL の作出

強稈質品種リーフスターとコシヒカリより作出した組換え自殖系統群 (RILs) を用いて、太稈および強稈質に関わる稈の断面係数、細胞壁成分のセルロース、ヘミセルロース含有率および密度を分析し QTL 解析を行い、第 2, 3 染色体にリーフスターの対立遺伝子が断面係数を大きくする QTL を検出し、第 5 染色体にリーフスターの対立遺伝子がセルロース、ヘミセルロース密度を高める QTL を検出した。候補領域の絞り込みのため、コシヒカリ遺伝背景の第 5 染色体の組換え固定系統の育成し、組換え固定系統を用いてマッピングを行った。その結果、第 5 染色体のセルロース、ヘミセルロース密度を高める QTL 候補領域を絞り込み、NIL を育成するため、リーフスターの第 5 染色体断片をもつコシヒカリ遺伝背景の NIL-SC1, NIL-SC2 を作出した。

コシヒカリとタカナリの正逆 CSSLs および組換え固定系統から第 2 染色体に推定された強稈質に関わる皮層繊維組織の厚さに関わる QTL について、候補領域内の組換え固定系統を作出し、第 2 染色体の皮層繊維組織の厚さに関与する QTL 候補領域の絞り込みを行った。第 2 染色体の組換え固定系統の皮層繊維組織の厚さを比較した結果、稈の皮層繊維組織の厚さはタカナリとの 2 系統では有意に厚くなった。これらの系統はいずれもタカナリに比べて、リグニンが蓄積した皮層繊維組織が厚く発達し、細胞数が多かった。最終的に、コシヒカリの対立遺伝子が皮層繊維組織を厚くする第 2 染色体の QTL の候補領域を解析し、1.5Mbp に絞り込み NIL-CF1 を作出した。

(3) 太稈遺伝子と強稈質遺伝子の集積

リーフスターとコシヒカリの太稈遺伝子と強稈質遺伝子を集積した系統を作出し、強稈形質の評価を行った。その結果、コシヒカリに比べて、太稈化、強稈質化し、収量性および倒伏抵抗性の向上が確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Koki Chigira, Natsuko Kojima, Masanori Yamasaki, Kenji Yano, Shunsuke Adachi, Tomohiro Nomura, Mingjin Jiang, Keisuke Katsura and Taiichiro Ookawa	4. 巻 10
2. 論文標題 Landraces of temperate japonica rice have superior alleles for improving culm strength associated with lodging resistance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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） 10.1038/s41598-020-76949-8	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 該当する

1. 著者名 Nomura, T., Arakawa, N., Yamamoto, T. 他8名	4. 巻 14
2. 論文標題 Next generation long-culm rice with superior lodging resistance and high grain yield, Monster Rice 1	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0221424	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 Tomohiro Nomura, Yoshiaki Seki, Makoto Matsuoka, Kenji Yano, Koki Chigira, Shunsuke Adachi, Francisco J. Piera-Chavez, Matthew Reynolds, Satoshi Ohkubo and Taiichiro Ookawa	4. 巻 11
2. 論文標題 Potential of rice landraces with strong culms as genetic resources for improving lodging resistance against super typhoons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 15780
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-95268-0	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 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 西羽瑞希・千装公樹・小島奈津子・野村知宏・前田英郎・桂圭佑・大川泰一郎
2. 発表標題 近年育成されたイネ品種の倒伏抵抗性と強稈関連遺伝子のハプロタイプの特性
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 千装公樹・小島奈津子・山崎将紀・安達俊輔・大川泰一郎
2. 発表標題 水稻在来品種「雄町」と「亀治」に由来する新規の強稈遺伝子座の探索
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石谷 英謙・野村 知宏・劉 昊・大川 泰一郎
2. 発表標題 水稻の倒伏抵抗性に関わる葉鞘関連形質のゲノムワイド関連解析
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野村知宏・関佳彬・矢野憲司・松岡信・平野恒・安達俊輔・大川泰一郎
2. 発表標題 我が国のイネ在来品種に存在する未利用の強稈関連遺伝子座の同定
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小島奈津子・千装公樹・山崎将紀・大川泰一郎
2. 発表標題 水稻の強稈性に関する稈成分におけるゲノムワイド関連解析
3. 学会等名 日本作物学会第249回講演会
4. 発表年 2020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
研究 分担 者	安達 俊輔 (Adachi Shunsuke) (30717103)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授 (12605)	

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