

令和 6 年 5 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02161

研究課題名(和文) 孢子体型の開葯しない激レア・高二ーズな細胞質雄性不稔性イネの分子基盤解明

研究課題名(英文) Molecular analysis of the extremely rare and high-needs cytoplasmic male sterile rice plant with sporophytically-controlled indehiscent anthers

研究代表者

鳥山 欽哉 (Toriyama, Kinya)

東北大学・農学研究科・教授

研究者番号：20183882

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：一代雑種品種の育種に細胞質雄性不稔性(CMS; ミトコンドリアゲノムと核ゲノムの相性が悪く花粉が死滅する現象)が使われている。我々はインディカイネ品種Tadukanに由来するミトコンドリアを持ち、核が日本型品種の細胞質雄性不稔(CMS)系統、及び稔性回復(RF)系統を見出し、ミトコンドリアのCMS原因遺伝子の同定とゲノム編集を用いた証明、及び、稔性回復遺伝子のマップベースクローニングによる同定を行い、雄性不稔・稔性回復の分子基盤の一端を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一代雑種品種は、F1が両親に比べ旺盛な生育を示す性質を利用したもので、市販されているほとんどの野菜、トウモロコシ、ソルガムなどは一代雑種品種であり、その育種に細胞質雄性不稔性(CMS; ミトコンドリアゲノムと核ゲノムの相性が悪く花粉が死滅する現象)が使われている。我々が発見したインディカイネ品種Tadukanに由来するCMS系統は孢子体型の稔性回復様式を示す極めて稀なタイプであり、しかも育種の現場ニーズがあるCMS/RFシステムである。花粉の発育不良ではなく、葯の裂開不良が原因のCMSイネであり、ジャポニカイネの一代雑種品種の育種に利用できる。

研究成果の概要(英文)：Cytoplasmic male sterility (CMS; the phenomenon of pollen death due to incompatibility between the mitochondrial and nuclear genomes) is used in the breeding of F1 hybrid varieties. In this study, we found that a japonica rice cultivar carrying the mitochondria of an indica rice variety 'Tadukan' shows CMS and fertility restoration. We have identified a CMS-causing gene in the mitochondrial genome and proved by employing genome-editing. We have also identified a nuclear gene responsible for fertility restoration.

研究分野：植物分子育種学

キーワード：育種学 遺伝学 遺伝子 ゲノム 植物 イネ

1. 研究開始当初の背景

一代雑種品種は、F₁ が両親に比べ旺盛な生育を示す性質を利用したもので、市販されているほとんどの野菜、トウモロコシ、ソルガムなどは一代雑種品種であり、その育種に細胞質雄性不稔性 (Cytoplasmic Male Sterility; CMS; ミトコンドリアゲノムと核ゲノムの相性が悪く花粉が死滅する現象) が使われている。

一代雑種イネ (ハイブリッドライス) は、通常の品種と比較して 15~30%の収量増が期待され、その栽培面積は中国では 58%、世界全体では 13%を占めている。ジャポニカのハイブリッドライスの育種には、インディカ品種 Chinsurah Boro II に由来する BT 型細胞質雄性不稔 (CMS) 系統と稔性回復 (RF) 系統が使われ、インディカのハイブリッドライスには海南島野生イネ由来の WA 型 CMS が使われている。BT 型の場合は配偶体型の稔性回復を示し、F₁ の花粉稔性は 50%に低下するが、WA 型の場合は孢子体型の稔性回復を示し、F₁ の花粉稔性は 100%となる。そのため、配偶体型の CMS/RF は耐冷性が弱く、様々なストレス耐性を強化するためにも、ジャポニカにも利用可能な孢子体型 CMS/RF システムの発見が望まれている。

配偶体型 CMS の原因は花粉自身の遺伝子が制御する花粉発育不良であるが、一方、孢子体型の CMS の原因はタペート細胞の異常が原因であると考えられている。ミトコンドリアの分子遺伝学的な解析がなされたイネの CMS/RF のタイプを見ると、BT 型、LD 型、HL 型、W1112 型、RT98 型、RT102 型、CW 型は、配偶体型である (Toriyama et al. 2021)。孢子体型に分類されるものは、WA-CMS とそれに類似したものとして D、DA、GA、ID、K 型が報告されているが、いずれも CMS 原因遺伝子候補として *orf352* を保持し、花粉は発育初期に死滅する。

(Luo et al., 2013)。それ以外の報告はなく、孢子体型の CMS/RF はイネではレアである。

2. 研究の目的

インディカ品種「Tadukan」に、ジャポニカ品種「台中 65 号」を連続戻し交雑し、細胞質雄性不稔 (CMS) 系統 (TAA) と稔性回復 (RF) 系統 (TAR) を得た。予備実験の結果、この CMS 系統は、花粉にデンプンが蓄積し、光学顕微鏡で見ると正常であるが、種子は結実しない。しかも孢子体型の稔性回復様式を示すことを発見した。極めて稀なタイプであり、しかも育種の現場ニーズがある CMS/RF 系統である。本研究では、この Tadukan に由来する孢子体型の CMS/RF 系統について、ミトコンドリアの CMS 原因遺伝子の同定とゲノム編集を用いた証明、及び、稔性回復遺伝子のマップベースクローニングを行い、雄性不稔・稔性回復の分子機構を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 花粉発芽試験と葯の形態観察

Tadukan に台中 65 号を連続戻し交雑して作出した CMS 系統は、開花期の花粉にはデンプンが蓄積し、見た目は台中 65 号と同じである

(図 1)。花粉発芽不全か または葯の裂開不全かを明らかにするため、花粉の発芽試験、および、葯から人工的に取り出した花粉に発芽・受精能力があるかを調査した。葯のタペート細胞に異常が生じ花粉の発芽能力が欠損する、あるいは、葯の裂開に関わるストミウムに欠陥が生じるのではないかと予想し、葯の切片を作成し、形態観察を行った。また、葯の RNA-seq を行い、発現が変化している遺伝子を調査した。

(2) ミトコンドリアの CMS 原因遺伝子の解析

Tadukan ミトコンドリアの全ゲノム塩基配列を決定し、日本晴に

無い *orf* 遺伝子の中で、減数分裂期と開花期の葯で発現しており、稔性回復遺伝子が存在すると発現パターンが変化する遺伝子を探索した。候補の遺伝子について、ミトコンドリアゲノム編集技術 mitoTALEN を用いて、候補遺伝子をノックアウトし、稔性が回復するかを調査することによ

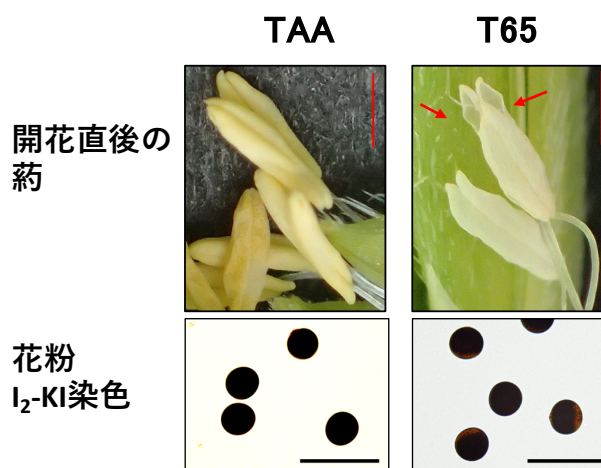


図1 Tadukan由来のミトコンドリアを持つCMS系統(TAA)と台中65号(T65)の形態。矢印は葯の裂開を示す。

り、候補遺伝子が CMS 原因遺伝子であることを証明した (図 2)。

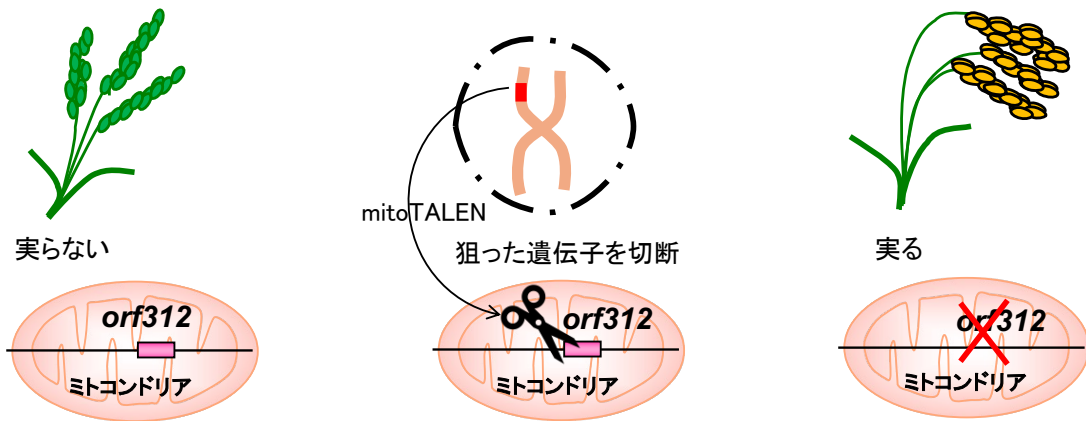


図2 ミトコンドリアゲノム編集ツール mitoTALENを用いた遺伝子破壊の様式図

酵母ツーハイブリッド(Yeast two hybrid)法を用いて、CMS 原因因子と相互作用するタンパク質を調査した。また、CMS 原因因子に対する抗体を作成し、その抗体を用いて CMS 原因因子がいつどこに蓄積しているかを調査した。

(3) 稔性回復遺伝子の解析

Tadukan に台中 65 号を戻し交雑する過程において、稔性のある個体を選抜して、稔性回復系統(TAR)を作出した。ファインマッピングと全ゲノム塩基配列解析 (Whole Genome Sequencing) を行い、稔性回復遺伝子 (Rf) 候補を同定し、相補性試験を行って稔性回復遺伝子 (Rf) を決定した。

Rfは RNA 結合タンパク質の PPR(pentatricopeptide repeat protein)をコードしていると予想した。Rf タンパク質が CMS 原因遺伝子 RNA に特異的に結合するかをゲルシフトアッセイ (EMSA) 法で調査した。

4. 研究成果

(1) 花粉発芽試験と葯の形態観察: 孢子体型の開葯しない葯のメカニズム解明

葯から人工的に取り出した花粉を柱頭に授粉したところ、通常通りに結実したため、花粉に発芽・受精能力があることがわかった。雄性不稔性は葯の裂開不全であることを明らかにした。開花期の葯の切片観察を行なった。葯の裂開に関わるセプタムのギャップが見られなかった。また、葯の RNA-seq を行ったところ、呼吸鎖複合体 I、II のサブユニット遺伝子の発現が低下していた。これより、ORF312 がミトコンドリア呼吸鎖複合体の機能を阻害することで活性酸素種の蓄積量が低下して、葯組織でプログラム細胞死が起こらないため葯が裂開しないという仮説が考えられた。

(2) ミトコンドリアの CMS 原因遺伝子の解析

ミトコンドリアの全ゲノム配列を決定し、Tadukan 特異的な遺伝子を発見し、*orf312* と命名した。*orf312* は、WA 型 CMS 原因遺伝子 WA352 と高い相同性を示した。減数分裂期と開花期の葯を用いたノーザンブロット解析の結果、RNA 蓄積量が CMS 系統に比べ稔性回復系統で減少していた (Takatsuka et al. 2021)。*orf312* が CMS 原因遺伝子候補と考え、ゲノム編集ツール mitoTALEN を用いて *orf312* をノックアウトすると、葯の裂開および稔性の回復が確認された (図 3)。これより、*orf312* が CMS 原因遺伝子であることを証明した (Takatsuka et al. 2022)。

酵母ツーハイブリッド(Yeast two hybrid)法を用いて、CMS 原因因子と相互作用するタンパク質をコードする cDNA をスクリーニングしたところ、5 個の候補遺伝子が明らかになった。その中の一つは既報の稔性回復因子 RF2 と相互作用するタンパク質 RIF2 をコードしていた (Fujii et al. 2014)。WA-CMS においては、WA352 タンパク質が呼吸鎖複合体 IV の COX11 と相互作用し、電子伝達を阻害することでタペート細胞のプログラム細胞死を引き起こすと報告されている

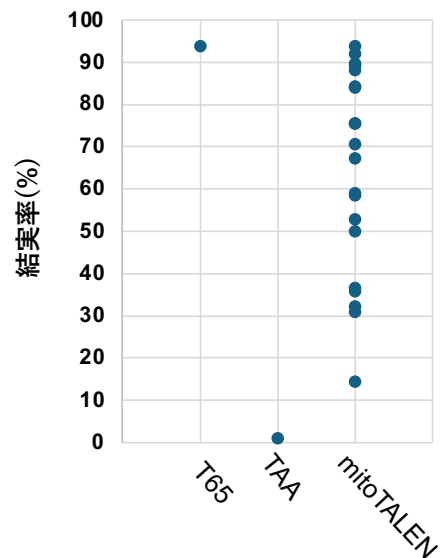


図3 mitoTALENで *orf312* を欠失させた TAA の結実率

(Luo et al. 2013)。ORF312 と相互作用する候補因子には COX11 が含まれていなかったため、更なる解析が必要であると考えられた。大腸菌で発現させた ORF312 タンパク質に対する抗体を作製し、薬から抽出したタンパク質を用いてウェスタンブロット解析を行ったが、ORF312 タンパク質を検出するには至らなかった。薬からミトコンドリアを精製してウェスタンブロット解析を行う必要があると考えられた。

(3) 稔性回復遺伝子の解析

Tadukan x T65 BC₃F₄ 集団を用いたマッピングにより、*Rf* 候補領域を第 10 染色体 18,572-19,134 kb (日本晴相当) へと絞り込んだ。Tadukan の全ゲノム塩基配列を PacBio で決定した。候補領域には、多くの CMS 系統に対する *Rf* 遺伝子として同定されている pentatricopeptide repeat (PPR) タンパク質をコードすると予測された遺伝子が 10 個存在していた (図 4)。その中で、ミトコンドリアゲノム中の特異的な配列を認識するのに必要と考えられる 10 個以上の PPR モチーフを有する遺伝子は *PPR796*, *PPR782*, *PPR794*, *PPR683*, *PPR762*, *PPR777*, *PPR506* の 7 個であった。*PPR506* は、Chinsurah Boro II/T65-CMS (BT-CMS) のミトコンドリア遺伝子 *orf79* に作用する *Rf1b* (Wang et al., 2006) と配列が一致していたため候補から除外した。6 個の PPR 遺伝子それぞれを含むゲノム断片を PCR で増幅してバイナリーベクターにクローニングし、CMS 系統に遺伝子導入した。その結果、*PPR796* を導入した時のみ、薬が裂開して結実した (図 5)。これより、*PPR796* が稔性回復遺伝子であることを明らかにした。

大腸菌で発現させた *PPR796* タンパク質と *in vitro* 転写した *orf312* RNA の一部を用いてゲルシフトアッセイを行ったところ、結合を示すシグナルが得られ、*orf312* RNA と *PPR796* タンパク質が相互作用することが示唆された。

以上のように、当初の計画通り、Tadukan に由来する細胞質雄性不稔 (CMS) /稔性回復 (RF 系統) について、ミトコンドリアの CMS 原因遺伝子の同定とゲノム編集を用いた証明、及び、稔性回復遺伝子の特定を完了し、さらに、雄性不稔・稔性回復の分子基盤の一端を明らかにすることができた。

引用文献

- Fujii et al. 2014 Doi:10.1186/s12284-014-0021-6
 Luo et al. 2013 Doi: 10.1038/ng.2570
 Takatsuka et al. 2021 Doi: 10.1007/BF00712968
 Takatsuka et al. 2022 Doi 10.1111/tpj.15715
 Toriyama et al. 2021 Doi:10.5511/plantbiotechnology.21.0607a

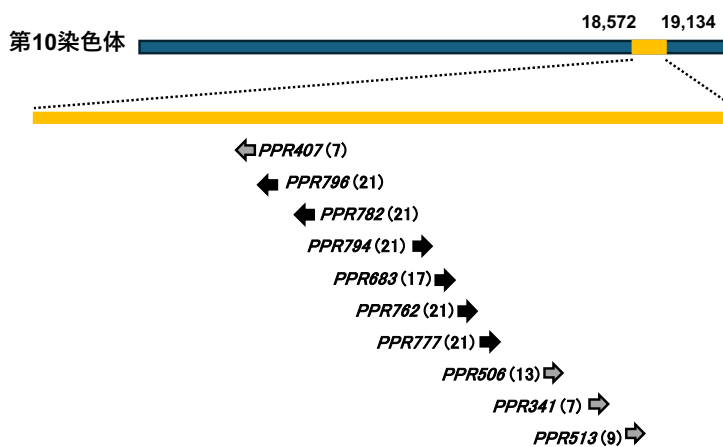


図4 候補領域に存在するPPR遺伝子 ()は予測されるPPRモチーフの数

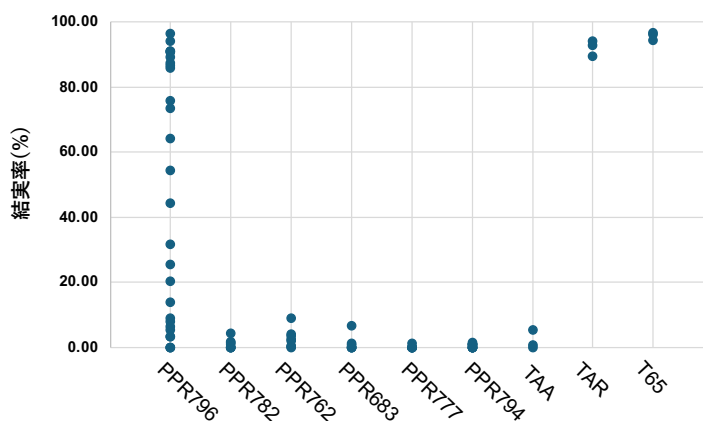


図5 PPR遺伝子の各ゲノム断片を導入したイネの结实率 TAA, CMS系統; TAR, 回復系統; T65, 台中65号

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1. 著者名 Ichida Hiroyuki, Kazama Tomohiko, Arimura Shin-ichi, Toriyama Kinya | 4. 巻 40 |
| 2. 論文標題 The mitochondrial and plastid genomes of <i>Oryza sativa</i> L. cv. Taichung 65 | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Plant Biotechnology | 6. 最初と最後の頁 109 ~ 112 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5511/plantbiotechnology.22.1213a | 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 Takatsuka Ayumu, Kazama Tomohiko, Arimura Shin ichi, Toriyama Kinya | 4. 巻 110 |
| 2. 論文標題 TALEN mediated depletion of the mitochondrial gene orf312 proves that it is a Tadukan type cytoplasmic male sterility causative gene in rice | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 The Plant Journal | 6. 最初と最後の頁 994 ~ 1004 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/tpj.15715 | 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 Takatsuka A, Kazama T and Toriyama K | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Cytoplasmic male sterility-associated mitochondrial gene orf312 derived from rice (<i>Oryza sativa</i> L.) cultivar Tadukan | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Rice | 6. 最初と最後の頁 1-11 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12284-021-00488-7 | 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 Toriyama K | 4. 巻 38 |
| 2. 論文標題 Molecular basis of cytoplasmic male sterility and fertility restoration in rice | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Plant Biotechnology | 6. 最初と最後の頁 285-295 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5511/plantbiotechnology.21.0607a | 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27件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件）

| |
|-------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 ミトコンドリア遺伝子orf312により雄性生殖器官の機能が阻害されるイネの形態観察とトランスクリプトーム解析 |
| 3. 学会等名 日本生化学会東北支部 第89回例会・シンポジウム |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 インディカイネTadukanに由来するミトコンドリア遺伝子が葯の裂開を阻害するメカニズムの解析 |
| 3. 学会等名 イネ遺伝学・分子生物学ワークショップ2023 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|-----------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 イネ品種Tadukanに由来する細胞質雄性不稔性イネの形態観察およびトランスクリプトーム解析 |
| 3. 学会等名 第40回日本植物バイオテクノロジー学会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 形態観察とトランスクリプトーム解析によるTadukan型細胞質雄性不稔性の分子機構考察 |
| 3. 学会等名 第144回日本育種学会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Ayumu Takatsuka, Tomohiko Kazama, Shin-ichi Arimura, Kinya Toriyama |
| 2. 発表標題 Mitochondria-targeted TALEN-mediated gene knockout and reorganization of mitochondrial genome in Tadukan-type cytoplasmic male sterile rice |
| 3. 学会等名 第65回日本植物生理学会年会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Takatsuka A, Kazama T, Arimura S, Toriyama K |
| 2. 発表標題 MitoTALEN-mediated mitochondrial gene knockout and mechanistic analysis of Tadukan-type cytoplasmic male sterile rice |
| 3. 学会等名 JSPS core-to-core meeting in France (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Takatsuka A, Kazama T, Arimura S, Toriyama K |
| 2. 発表標題 Gene identification and mechanistic analysis of cytoplasmic male sterility derived from <i>Oryza sativa</i> cv. Taduka |
| 3. 学会等名 6th Plants and People Conference Exploring Plants (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Takatsuka A, Kazama T, Arimura S, Toriyama K |
| 2. 発表標題 Identification of a mitochondrial gene causing Tadukan-type cytoplasmic male sterility by the mitochondrial genome reorganization mediated by TALEN |
| 3. 学会等名 15th International Association for Plant Biotechnology Congress (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Takatsuka A, Kazama T, Arimura S, Toriyama K |
| 2. 発表標題 Mitochondrial gene knockout and mechanistic analysis of Tadukan-type cytoplasmic male sterile rice |
| 3. 学会等名 6th International Rice Congress (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|-------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 有村慎一, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 イネの雄性生殖器官の発育不全を引き起こすミトコンドリア遺伝子のゲノム編集 |
| 3. 学会等名 日本生化学会東北支部第88回例会・シンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 市田裕之, 阿部知子, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 Tadukanに由来する細胞質雄性不稔性イネの稔性回復候補遺伝子 |
| 3. 学会等名 第39回日本植物バイオテクノロジー学会(堺)大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 市田裕之, 阿部知子, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 Tadukan型細胞質雄性不稔性イネを稔性回復させる遺伝子の探索 |
| 3. 学会等名 日本育種学会第142回講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Ayumu Takatsuka, Tomohiko Kazama, Hiroyuki Ichida, Tomoko Abe, Kinya Toriyama |
| 2. 発表標題 Exploration for a restorer of fertility gene for cytoplasmic male sterility derived from <i>Oryza sativa</i> cv. Tadukan |
| 3. 学会等名 第17回東北育種研究集会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 市田裕之, 阿部知子, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 イネのミトコンドリア遺伝性の雄性生殖器官発育不全と核のレスキュー遺伝子 |
| 3. 学会等名 第45回日本分子生物学会年会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 市田裕之, 阿部知子, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 Tadukan型細胞質雄性不稔性イネのミトコンドリアRNAプロセッシングに関わる稔性回復遺伝子の推定 |
| 3. 学会等名 第10回植物RNA研究ネットワークシンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 ミトコンドリア遺伝子 orf312 が葯の裂開を阻害する Tadukan 型細胞質雄性不稔性イネの組織学的解析 |
| 3. 学会等名 第64回日本植物生理学会年会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|----------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 有村慎一, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 ミトコンドリア移行TALENを用いたイネ品種Tadukanにおける雄性不稔遺伝子の機能証明 |
| 3. 学会等名 日本ゲノム編集学会第6回大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 私もできる植物ゲノム編集 CRISPR-Cas9 と TALEN を用いた遺伝子破壊の研究例 |
| 3. 学会等名 園芸学会東北支部令和3年度大会(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 イネの細胞質雄性不稔性と稔性回復の分子基盤 |
| 3. 学会等名 日本植物バイオテクノロジー学会(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 風間智彦・肥塚信也・鳥山欽哉・堤伸浩・有村慎一 |
| 2. 発表標題 植物ミトコンドリアゲノム編集技術の開発と細胞質雄性不稔原因遺伝子の同定 |
| 3. 学会等名 日本植物バイオテクノロジー学会(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 有村慎一, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 mi toTALEN導入によるTadukan型細胞質雄性不稔性イネにおけるゲノム再構成の誘発 |
| 3. 学会等名 日本植物バイオテクノロジー学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 有村慎一, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 イネTA-CMSにおいてミトコンドリア移行TALENが引き起こす相同組換え修復およびゲノム構成の変化の解析 |
| 3. 学会等名 日本育種学会第140回講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 有村慎一, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 ミトコンドリア移行TALEN導入で再構成されたイネミトコンドリアゲノムの次世代シーケンス解析 |
| 3. 学会等名 第16回東北育種研究集会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|----------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 有村慎一, 鳥山 欽哉 |
| 2. 発表標題 イネ品種Tadukanに由来するミトコンドリア雄性不稔遺伝子のmi toTALENによるノックアウトと後代の安定性 |
| 3. 学会等名 第44回日本分子生物学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 高塚歩, 風間智彦, 鳥山欽哉 |
| 2. 発表標題 Tadukan型細胞質雄性不稔性イネの花粉発達は正常だが葯の裂開が阻害され、稔性回復は孢子体型に行なわれる |
| 3. 学会等名 日本育種学会第141回講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Takatsuka A, Kazama T, Arimura S, Toriyama K |
| 2. 発表標題 Identification of a cytoplasmic male sterility causative gene in <i>Oryza sativa</i> cv. Tadukan with mitoTALEN-mediated mitochondrial gene-knockout |
| 3. 学会等名 Plant Biology 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|---------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 伊藤幸博、鳥山欽哉 | 4. 発行年 2021年 |
| 2. 出版社 東北大学出版会 | 5. 総ページ数 142 |
| 3. 書名 植物バイオテクノロジーの基礎知識 | |

〔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 |
|-------|-------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 高塚 歩 (Takatsuka Ayumu) | | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|--------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 風間 智彦 (Kazama Tomohiko) | | |

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 |
|---------|---------|
| | |