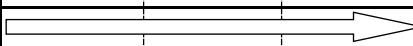


委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	アグリバイオ研究プロジェクトのうちゲノム編集技術を活用した農作物品種・育種素材の開発	担当開発官等名	研究開発官(基礎・基盤、環境)
		連携する行政部局	農産局穀物課 農産局園芸作物課 農産局地域作物課 消費・安全局農産安全管理課 大臣官房政策課技術政策室
研究期間	R元年～R5年（5年間）	総事業費（億円）	4.5億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発
			

研究課題の概要

我が国の農業の競争力強化および生産者の収益向上等のため、交配による従来育種やDNAマーカー（※1）育種が困難な作物において、ゲノム編集技術（※2）を用いた、加工・業務用品種、高付加価値品種、病害虫抵抗性品種等の農作物品種・育種素材（※3）を開発する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

- ・栄養繁殖性作物種やゲノムサイズが大きな作物種等においてゲノム編集技術を実用レベルで確立
- ・ゲノム編集技術等により、栄養繁殖性作物種やゲノムサイズが大きな作物種等において、加工業務適性や高付加価値等を有する実用品種・育種素材を5以上開発

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R10年）

ゲノム編集技術等を活用して開発された実用品種を、3種類以上上市すること等を通じ、新たな付加価値による市場を創出し、単年度あたり約25億円を産出する。

【項目別評価】

1. 研究成果の意義

ランク：A

我が国の農業競争力強化や生産者の収益向上のため、加工・業務用等の拡大する市場の獲得や農産物の高付加価値化を可能とする農作物品種、生産現場の課題を解決する病害虫抵抗性品種等の開発が求められている。

ゲノム編集技術は、狙った遺伝子をピンポイントに改変することで目的の形質を付与することが可能である。本プロジェクトでは、ゲノム編集技術を活用して従来育種では作出が困難な特性を改良することで、ニーズに対応した新品種の迅速かつ効率的な開発を目指しており、科学的・技術的意義は大きい。例えば、バレイショでは、保存中に芽が出ず有毒物質を産生しない特性を付与することにより貯蔵コストや原料ロスを大きく削減でき、また、デンプンの特性改良により付加価値が向上する。コムギでは、かび毒の蓄積により健康被害を引き起こす可能性のある赤かび病への抵抗性を付与することにより、防除に要する農薬使用量の低減と安全性の確保が実現できる。さらに、800万人以上の花粉症患者がいると推定されるハンノキやシラカバの花粉と交差反応するアレルゲンタンパク質を欠失させたダイズの開発は、アレルギー発症の不安のない加工品の市場拡大につながる。

本プロジェクトで開発したゲノム編集技術や品種等については、特許出願するとともに、品種登録に向けた準備を進めるなど戦略的な知的財産マネジメントを実施していることから、技術的意義も大きい。

以上のように本研究開発は、農業及び関連産業の競争力強化、消費者への安全・安心な食料提供をもたらす品種開発を通じ、健康で持続可能な社会の実現に貢献するものであり、農林水産業や国民生活のニーズに応える重要な課題である。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性**ランク：A****① 最終の到達目標に対する達成度**

本研究課題の最終到達目標として、「栄養繁殖性作物種やゲノムサイズが大きな作物種等においてゲノム編集技術を実用レベルで確立」、「ゲノム編集技術等により、栄養繁殖性作物種やゲノムサイズが大きな作物種等において、加工業務適性や高付加価値等を有する実用品種・育種素材を5以上開発」を目指しており、今年度までに以下の具体的成果が得られている。

交配やDNAマーカー育種等が困難な作物種におけるゲノム編集技術の開発について、栄養繁殖性かつゲノムサイズの大きいユリではりん片培養による球根の再生法、形質転換が困難であるピーマンでは種子からの再分化法、ダイコンでは再分化法および遺伝的スクリーニング、ゲノム編集が困難であるタマネギでは茎頂調整法など、それぞれで障害となっていたところを克服する手法を実用レベルで確立している。これらの方法を活用したゲノム編集酵素導入法の開発、ベクターの改良等により、有用形質を付与したゲノム編集体を作成されており、当初の目標を達成している。

また、ゲノム編集による育種素材の開発については、保存中に芽が出ず、貯蔵中のコストやロスを低減できるバレイショ、赤かび病に耐性を有し、かび毒の混入抑制や減農薬が可能なコムギ、アレルギー成分を低減したダイズ、八重咲き及び花持ち改善リンドウ等の従来育種技術では作出が困難な大きなベネフィットをもたらす形質を付与した農作物の開発に向け、ゲノム編集体を作成した。これらの作物はいずれも正確にゲノム解読されていないため、ゲノム編集酵素遺伝子の残らないヌルセグリガントやオフターゲットの有無の確認が容易ではなかったが、外来遺伝子の残存を効率的に検出できるK-mer法などの新規手法を積極的に活用することでこれらの問題点を克服し、複数の作物について野外試験の開始や実施準備の加速に貢献するなど、計画通りに進行している。

以上のように、研究は順調に進捗しており、最終目標の達成に向けて十分な成果が得られている。

② 最終の到達目標に対する今後の達成可能性とその具体的な根拠

今年度までに、バレイショでは、難培養品種を含む品種において澱粉の特性改良系統(3)、加工業務適性系統(2)、複数の病害への耐性系統(1)が得られ、コムギでは赤かび病抵抗性、短蒨、閉花性などの系統(5)、イネでは登熟・転流を向上し従来と比べて大幅な多収が見込まれる系統(5)、辛味成分減少ハツカダイコン(1)、花粉-食物アレルギー交差性のあるダイズ(1)、花持ちのよいユーストマ、ユリ(3)、単為結果ピーマン(1)、香味成分増加タマネギ(1)など、加工業務適性や高付加価値等を有する育種素材が合計20以上開発されている。さらに、各作物における素材開発を共通基盤技術で支援するサポートラボにおいて開発したゲノム編集酵素等、相互利用可能な知見・技術を活用して技術の改良を行える仕組みを構築したことから、最終目標である実用レベルのゲノム編集技術を確立することは可能である。

以上のことから、最終到達目標の達成は可能と考えられる。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性**ランク：A****① アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠**

今年度までに、バレイショ、コムギ、イネ、ハツカダイコン、ダイズ、花卉、ピーマン、タマネギにおいて加工業務適性や高付加価値等を有する品種・育種素材が20以上開発されており、アウトカム目標である開発素材を活用した実用品種の上市は、産官学の連携推進等によるゲノム編集を活用した農作物の作出技術の普及・拡大とともに、ゲノム編集技術への国民理解の醸成により達成が可能である。

本プロジェクトは、これまで実用品種の育成・普及を担ってきた国研、公設試、民間企業等と連携のうえ進めている。具体的には、引き続き、開発した技術・育種素材をこれらの機関に積極的に提供するほか、品質や圃場試験による生産性等の評価結果等について継続的に情報共有・情報交換を行っている。また、関連機関との間で社会実装に向けた取組も行っており、バレイショでは大学等の研究機関のほか民間企業や公設試も参画する「ジャガイモ新技術連絡協議会」を農林水産省の「知」の集積と活用場の場産学官連携協議会の研究開発プラットフォームに登録して産官学の連携を進めたところ、開発中のゲノム編集作物に興味を示す企業が出てきており、連携した研究開発のさらなる推進が見込まれる。さらに、農林水産省「みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業のうち、農林水産研究の推進（アウトリーチ（※5）活動強化）」などを通して国民理解促進の取組や研究成果の発信と研究成果の

迅速な普及を強力に推進しており（アウトリーチ活動21件、報道11件）、「アウトリーチ活動強化」のアンケート等でゲノム編集技術への認知や受容の高まりが計測されていることから、ゲノム編集技術の活用がさらに広がることで、早期の実用品種開発・上市につながるが見込まれる。

先行プロジェクトで開発されたゲノム編集技術により作出されたGABA（※4）高蓄積トマトや可食部増量マダイ、高成長トラフグの実用化が令和3年度から民間企業により本格的に始まっているが、販売チャンネルを拡大する動きが出るなど、新たな市場の拡大が着実に進行している。気候変動や地政学的リスクの増大など農業生産を取り巻く状況が一層厳しさを増すなか、本プロジェクトの成果で見込まれる、アレルギー成分を低減した作物や病虫害抵抗性品種、超多収品種等について、国民生活の改善、農薬削減による環境負荷低減のほか、農業の競争力向上や食料安全保障等に貢献する点を、先行企業の取組とも連携して、積極的に発信するアウトリーチ活動を展開することで、国民理解の醸成をさらに加速する。本プロジェクト終了後の上市に向けては、変異アリの集積、圃場試験による農業形質の調査・確認、ゲノム編集ツールの知的財産の整理、国際動向の把握など、前述したプラットフォーム活動等を通して、プロジェクトをさらに発展させた活動を展開することとしている。

上記の取組により、上市されるバレイショ、コムギなどの作目において、新たな付加価値による市場の創出が見込まれるとともに、関連する食品産業における需要拡大や知的財産の海外展開も見通せることから、アウトカム目標の達成可能性は高いと考えられる。

②研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性

本プロジェクトで得られた研究成果や形質評価結果等については、随時、公設試や民間企業等に共有しており、プロジェクト終了後に技術を円滑かつ確実に普及・拡大できる体制を整えている。

また、課題に参画する研究者が講師を務めるセミナー等における企業や生産者等との意見交換を通じ、目的とする形質及び品種開発の方向性等について確認するとともに、分野別に実需者とクローズドな意見交換を行い、製造・流通現場等におけるニーズへの対応について検討を進めた。意見交換等で得られた意見は、研究計画に適切に反映した。

さらに、プロジェクト期間を通して、学生や一般消費者にとどまらず、さまざまなステイクホルダーを対象にアウトリーチ活動やホームページにおける公表などの情報提供を継続的に実施している。特に、最終年度には、包括課題および個別課題代表者が編集し成果を取りまとめた論文集を刊行するほか、ゲノム編集に新規に取り組む実需者等をターゲットとしたシンポジウム・ワークショップを複数回実施する予定である。

これらの取組は社会実装を加速化するうえで極めて重要であり、いずれも妥当である。

③他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

本課題で得られるゲノム編集技術・知見（ゲノム編集ベクターの構築法、形質評価法等）は、本課題で対象とする農作物以外の作目や、目的形質以外の形質を改変する際にも活用可能である。今後、本課題で取り扱われていない社会的課題や今後発生し得るニーズに対応した研究開発を効率的に実施でき、農作物の育種素材開発の推進や、遺伝子機能に関する情報蓄積の加速化に貢献することが期待される。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

研究推進にあたって、外部専門家4名や関係行政部局等で構成する運営委員会を設置し、進行管理を行った。運営委員会や、研究コンソーシアムが自主的に開催する推進会議において、進捗状況を管理しつつ、状況に応じて研究実施計画や課題構成を適切に見直した。

また、野外試験を含む形質評価の実施、成果の公表、野外試験に関する事前相談等については、詳細な計画を検討するとともにスケジュールの明確化を進めた。特に野外試験に向けては、参画する大学等において遺伝子組換え実験安全規程の見直しを進めるなど、本プロジェクトで得られるゲノム編集育種素材・品種の形質評価や成果の実用化に向けて適切な体制を整えた。

委託プロジェクト全体で課題の進捗状況、研究成果の有効性や緊急性等を踏まえ、予算配分の重点化を行っている。本プロジェクト研究の課題は計画通り進捗しており、最終目標の達成も見込まれることから、予算配分は妥当である。

以上のことから、研究推進方法は妥当である。

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

- ・ゲノム編集技術の活用による農業競争力強化や生産者の収益向上を目指した課題であり、その研究成果は研究開始と同様に意義が高い。特に花粉対策等、新技術が様々社会課題の解決に関連する社会的な関心の高いテーマが含まれており着眼点も非常に優れている。
- ・進捗も達成されている例もあり順調な成果があげられており、目標の達成は可能である。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・成果の学術論文は多く公表されているが、特許出願がなく、この分野での成果の実用化のためには特許出願が必須であり、最終年度に向けて期待したい。
- ・ゲノム編集技術というのは国民の理解がセットで不可欠な条件であると思われるので、国民の理解が醸成されるためのアウトリーチ活動もさらなる機会が増えることを検討し、アウトリーチ活動を最終年度に向けて強化していただきたい。

[研究課題名]アグリバイオ研究のうちゲノム編集技術等を活用した農作物品種・育種素材の開発

用語	用語の意味	※ 番号
DNAマーカー	特定の遺伝子を持っているかどうかを判定するための目印。多くの場合、塩基配列の違いがDNAマーカーとして使われる。	1
ゲノム編集技術	人工ヌクレアーゼ（ゲノムを切断する酵素）などを用いて、特定の箇所のゲノム配列を改変する技術。	2
育種素材	品種開発や改良のための材料。農業上有用な形質を備えており、交配等をさらに進めることで高水準の品種育成が期待される系統または個体。	3
GABA	γアミノ酪酸（Gamma Amino Butyric Acid）。食品に含まれる健康機能性成分として、ストレス緩和や血圧降下作用等が注目されている。	4
アウトリーチ	英語で「手を伸ばすこと」を意味する。本事業では、試験研究機関の研究成果を社会に周知するために、研究者や専門家が国民・業界に対し、研究成果の意義や効果等を分かりやすく伝え、それらに対する期待や疑問に応えるコミュニケーション活動を指す。	5

② ゲノム編集技術を活用した農作物品種・育種素材の開発【継続】

背景と目的

- ゲノム編集作物・食品の社会実装に必要となるカルタヘナ法や食品衛生上の取扱いが明確化されたことを踏まえ、国民理解の下でゲノム編集技術による品種開発力を強化し、国民生活の向上と国際競争力の強化につながる画期的な新品種を効率的に生み出すことが重要。
- このため、ゲノム編集技術を用いて、加工・業務用品種、高付加価値品種や病害虫抵抗性品種等、農業の競争力強化や生産者の収益向上に資する農作物の育種素材を開発するとともに、ゲノム編集技術を利用して開発した作物等におけるオフターゲット（注）等に対する国民の疑問に応えるための科学的知見を集積する。

研究内容

品種開発の促進

効率的なゲノム編集技術のメリットを活かし、従来育種が困難な作物における品種開発のための技術を開発するとともに、ゲノム編集技術を用いた新たな育種素材の開発を推進。

疑問に応える調査研究

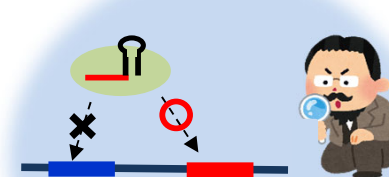
ゲノム編集技術を利用して開発した作物等におけるオフターゲットや生物多様性影響等についての科学的知見を集積。

品種開発の促進



従来育種が困難な作物等における育種素材の開発

国民の疑問に応える調査研究



ゲノム編集技術についての科学的知見を集積

到達目標

- ・ 従来育種が困難な栄養繁殖性等の作物で、ゲノム編集による品種開発のための技術を確立。
- ・ 農業の競争力強化等に資する品種等の開発のための育種素材を5以上開発。
- ・ オフターゲットや生物多様性影響等についての科学的知見を集積。

期待される効果

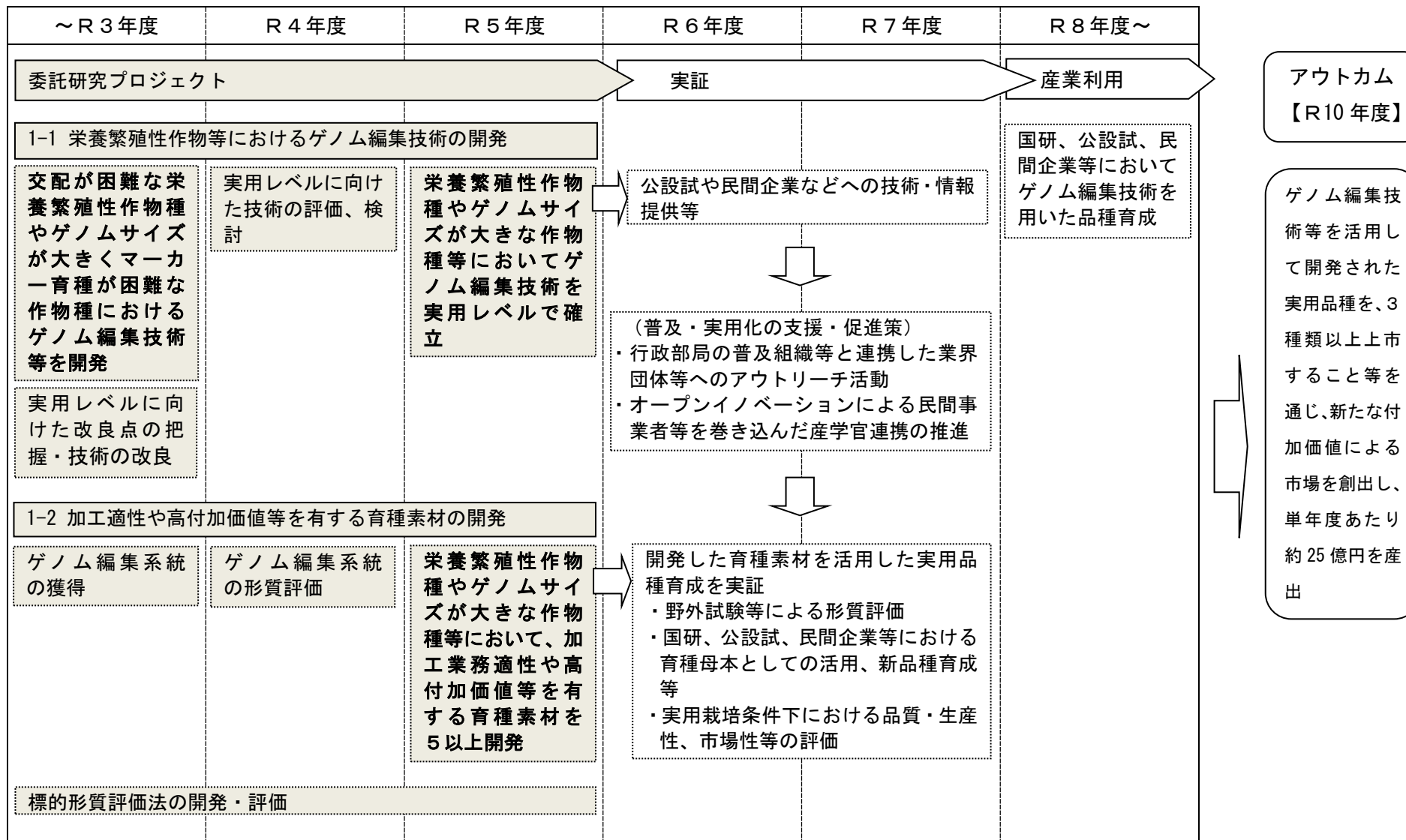
- ・ 農業の競争力強化や生産者の収益向上
- ・ 多様化する消費者・実需者のニーズへの対応
- ・ ゲノム編集技術についての国民理解の促進

(注) オフターゲット：ゲノム編集酵素が本来の標的DNA配列以外の配列を切断することにより生じる意図しない変異

[お問い合わせ先] 農林水産技術会議事務局研究開発官（基礎・基盤、環境）室（03-3502-0536）
農林水産技術会議事務局研究企画課（03-3502-7408）

【ロードマップ（終了時評価段階）】

アグリバイオ研究のうちゲノム編集技術を活用した農作物品種・育種素材の開発

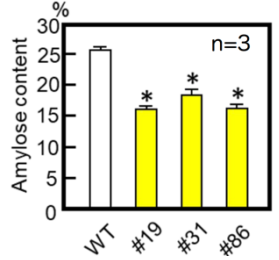


ゲノム編集技術を活用した農作物品種・育種素材の開発

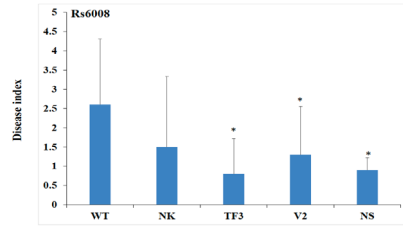
① 保存中に芽が出ず、加工に適したバレイショ(6)



毒の少ない品種の研究目的の野外試験

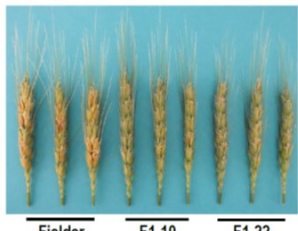


アミロース含量の低下 (#19, #31, #86)

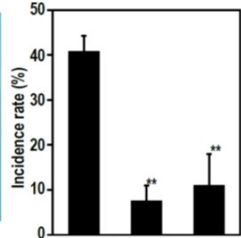


青枯病抵抗性の向上 (TF3, V2, NS)

② 赤かび病耐性のコムギ(4), オオムギ(1)

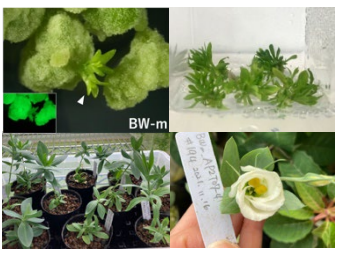


赤かび病抵抗性の向上 (F1-10, F1-220)



短葎系統の取得(右)

③ 花持ちが良く、省力栽培に適したユーストマ(2), ユリ(1)



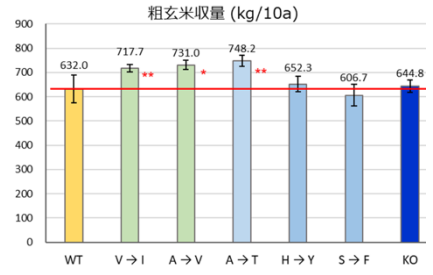
1000系統以上のユーストマ候補の解析

④ タネのないピーマン(1)

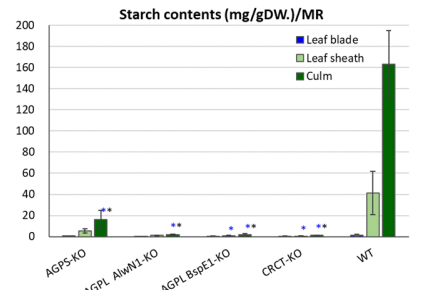


単為結果候補系統の取得

⑤ 登熟/転流を高めた超多収イネ(5)

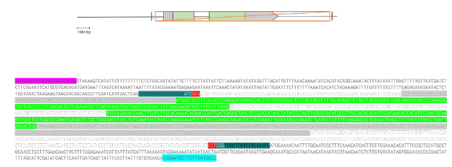


ノックダウンゲノム編集系統の粗玄米収量の増加



葉鞘、節間での貯蔵澱粉の低減

⑥ アレルゲン成分低減ダイズ(1)



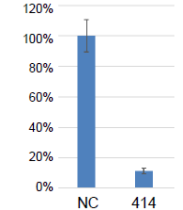
アレルゲン遺伝子全体の破壊

⑦ 辛味成分減少ダイコン(1)



ハツカダイコンのヌルセグリガント候補の取得

⑧ 香味成分が増加したタマネギ(1)



催涙因子合成酵素(LSF)活性の大幅低下(414)



SH-414 自殖後代の種子

⑨ サポートラボ



国産技術(CRISPR/Cas3)によるイネ内在性遺伝子の破壊

加工業務適性や高付加価値等を有する育種素材を20以上開発

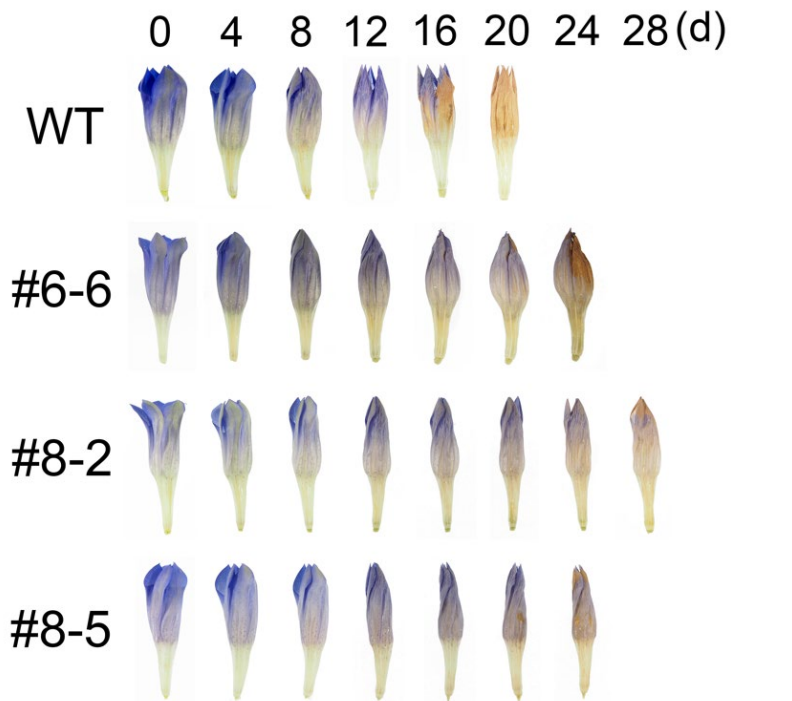
ゲノム編集技術を活用した農作物品種・育種素材の開発(個別)

花持ちが良く、省力栽培に適した花き

元系統(一重咲き)



AG1編集リンドウ
(八重咲き化)
14系統獲得



EPH1L 編集リンドウ
暗所老化誘導時の花持ちが1週間向上

○ ○○ ○ ○ ○○○



交配後代(F₁)個体のPCRによる確認
増幅が見られないヌルセグリガント(○)を獲得



省力栽培系統
未受精胚珠培養由来
(純系と考えられる)

現在、
次世代シーケンサーでも
ヌルセグリガントを確認中
(k-mer検出法)

オフターゲットの解析
F₂特性評価を実施中