

令和 5 年 4 月 24 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01608

研究課題名（和文）「スターチミクス」の確立：多様な米澱粉の構造・物性・利用特製のカタログ化

研究課題名（英文）Establishment of "starchmics": cataloging the structure, properties, and practical uses of various rice starches

研究代表者

藤田 直子 (Fujita, Naoko)

秋田県立大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：90315599

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、新しいゲルろ過システムによって未分解の米澱粉を3つのピークに分離し、各ピークの構造と分子量を推定した。アミロペクチンはほぼ同じ構造からなるクラスターの連結数が異なることで分子量が異なることが明らかになった。また、精米にせん断力を加えて粉碎すると、糊化と同時にアミロペクチンが低分子量化することが明らかになった。澱粉生合成関連酵素が欠損し、農業形質を高めるために品種と戻し交配した系統の澱粉構造および物性等を解析し、それらをカタログ化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

澱粉の主成分であるアミロペクチンは、グルコースのみからなる巨大分子で、これまで高次構造は明らかになっていなかった。本研究で開発した手法で、クラスターの連結数で分子量が異なるピークが検出されることがわかり、分子量を推定することができた。また、高分子量のアミロペクチンはせん断力によって低分子量化することが明らかになった。さらに、変異体系統の澱粉構造と物性測定結果をカタログ化することで、食品、工業品として利用する際にヒントを与え、これまででない新商品の開発につながる。

研究成果の概要（英文）：In this study, a new gel filtration chromatography system was used to separate undegraded rice starch into three peaks, and the structure and molecular weight of each peak were estimated. It was found that the molecular weight of amylopectin differs due to the different number of clusters consisting of nearly the same structure. It was also revealed that when rice grains were treated with shearing and heat milling machine, the molecular weight of amylopectin reduced at the same time as gelatinizing. Starch structure and physical properties, etc., of rice lines deficient in starch biosynthesis-related enzymes were analyzed and these results were catalogued.

研究分野：植物生理遺伝学

キーワード：澱粉 米 アミロペクチン アミロース 変異体 澱粉構造 澱粉物性

## 1. 研究開始当初の背景

澱粉は、構成成分がグルコースのみから成る超高分子で、結合様式も $\alpha$ -1,4および $\alpha$ -1,6の2種類のグルコシド結合のみで連結された、基本構造は単純な物質である。しかし、その生合成メカニズムおよび構造と物性の関係は、いまだ不明な点が多い。澱粉は、主として $\alpha$ 1,4結合の直鎖分子のみからなるアミロースと、直鎖が $\alpha$ 1,6結合によって、分岐状に連結したアミロペクチンから成る。アミロペクチンは、隣り合った鎖が二重らせんを形成し、多数の房状構造(クラスター)が連結した生体高分子の中ではDNAに次ぐ巨大分子(分子量は、 $10^9 \sim 10^{10}$ 以上)である。澱粉には、加水して加熱すると糊化する特徴がある。澱粉の糊化は生澱粉のアミロペクチンのらせんが熱エネルギーによってほどけることで水分子を抱え込む現象であり、加熱による糊化澱粉は、食べる際に生澱粉より消化が良い。しかし、糊化した澱粉を放置すると二重らせんが部分的にランダムに「より」を戻し、澱粉は老化する。このように澱粉の「糊化」と「老化」による物性変化は、澱粉質の食材を調理・加工する上で重要な過程となる。

澱粉構造は、植物種、遺伝的背景、栽培環境(特に澱粉生合成中の気温)によって異なる。例えば、もち米は、アミロースを合成する*GBSSI*遺伝子が欠損しているが、その澱粉はアミロペクチンが100%となり、その粘りや物性は、通常、ごはんとして食するうるち米とは、全く異なる。また、タイ米に代表されるインディカ米と日本人が好むジャポニカ米の炊飯米の物性は前者がパサパサ、後者がモチモチと、テクスチャーが全く異なる。これは、2種類の澱粉直鎖伸長酵素(スターチシンターゼ, SS)がジャポニカ米ではインディカ米と比べて変異していることから、アミロペクチンの鎖長が短くなり、また、アミロース含量が低下することによる。このように、澱粉を多く含む食品を調理する際、そのテクスチャーや物性は、澱粉構造に大きく左右され、それらは澱粉生合成に関連する酵素の遺伝子によって主として制御されていることが明確になった<sup>1)</sup>。

このように、澱粉を多く含む食品研究においては長年、どのような構造の澱粉がどのような物性を示す原因となっているか?さらに、構造、物性が異なる多様な澱粉を様々な用途にうまく適応させて用いることができないか?というのが学術的な問いが置き去りにされてきた。これらが体系的に整理されれば、澱粉構造の違いによって用途に高度にアジャストさせた利用が可能となり、多様な澱粉を用いた、新しい食品の加工、利用の「スターチミクス」という新領域を新たに確立することができる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、(i)遺伝的背景が異なる変異体米および(ii)物理的処理を与えた精米に含まれる澱粉構造を詳細に調べ、「遺伝子」、「澱粉構造」、「澱粉物性」および「利用特性」の一連の流れをつなげ、最終的には、カタログ化することである。本研究を遂行することで基礎研究として澱粉科学関連分野の学問的波及効果と当該技術開発の飛躍的進展への寄与が見込まれ、「スターチミクス」という新たな学問領域が確立できる。

## 3. 研究の方法

### ①遺伝子背景が異なる材料の準備(藤田)

胚乳で強い発現のある澱粉生合成関連遺伝子(10遺伝子)の多重変異体を含む変異体やインディカ由来遺伝子を変異体に導入した系統で澱粉構造や物性が野生型と異なる系統を既に約30種類確立している。本研究では、以下の②新手法のゲルろ過解析には、ジャポニカ米の野生型品種である「日本晴」、③の物理的処理後の澱粉構造解析には同じくジャポニカ米の野生型品種「はえぬき」を用いた。④の遺伝子背景が異なる米系統は、ジャポニカ米良食味品種「あきたこまち」かジャポニカ米超多収米品種「秋田63号」を戻し交配した変異体系統(スターチシンターゼ(SS)欠損変異体として、*ss2a*, *ss3a*, *ss3a ss4b*, 枝作り酵素(BE)IIb欠損変異体として、*be2b*, *ss1<sup>l</sup> be2b ss3a be2b*, *be1 be2b*)を用いた。なお、野生型品種「日本晴」、「あきたこまち」、「秋田63号」は変異体と同様に栽培して種子を得た。一方、「はえぬき」は、市販のものを用いた。

### ②未分解澱粉の新手法ゲル濾過法の確立(藤田・花城)

これまでの澱粉構造解析法は、澱粉を何らかの酵素で加水分解することで低分子化したものの鎖長分布解析等に限定されていた。一方、巨大分子であるアミロペクチンは、未分解でゲル濾過カラム(Sephacryl S-1000等)に供した際、これまでの研究ではアミロペクチン分子が1本のピークとして検出されるため、その分子量分布は不明のままであり、そのことがこれまで澱粉構造の全貌解明を拒んできた大きな理由の一つであった。最近、代表者のラボでは、新しいカラム(Toyopearl HW75S x 2-65S-55S)を用いてアミロペクチンを2~3本のピークに分離することに成功した。この新手法の開発で、これまで低分子化した澱粉の分析では限界があった未分解澱粉の全体構造解析が可能となり、これまで不明であった澱粉構造と物性の関係が解決する可能性が一気に高まった。このカラムで分離可能な3つのピークがどのような澱粉構造、分子量を含むかを解明する。

### ③物理的処理を与えた澱粉材料の調製とその澱粉構造・物性解析(西岡・藤田)

せん断力を加えた米ゲルは加えないものとは比べて粘度が劇的に低下し、様々な食品に混合しやすかったが、これらの澱粉を枝切りして鎖長分布を調べても何ら違いは検出されなかった。一方、新手法ゲル濾過法で解析すると、せん断を加えたものは、明らかにアミロペクチン分子が低分子量化していた<sup>2)</sup>。このことは、粘度などの澱粉物性が、澱粉の分子レベルの構造が原因というよりはむしろ、アミロペクチンのクラスターの数等のマクロレベルの構造変化が原因であることを示している。山形大西岡グループが開発した加熱粉碎装置 (SSHM 法) による米粉や米澱粉を糊化した後、せん断力をかけたゲル等を用いて、さまざまな食味が向上した米粉食品の開発が近年、盛んにおこなわれている。これら物理的処理を加えた澱粉材料の澱粉構造を既に確立している分子構造解析法に加え新手法ゲル濾過法を用いて調べ、マクロレベルの構造を理解し物性の違いと関連付けた。

#### ④ 遺伝子背景が異なる米の澱粉構造・物性解析 (藤田)

①で得た遺伝的背景が異なる完熟種子の澱粉分子構造と物性を調べ、遺伝子、澱粉構造、物性を関連付けた。

#### ⑤ 澱粉構造および物性のカタログ化 (藤田)

③のデータから、酵素の欠損、澱粉構造解析データ、物性解析データをカタログ化した。

### 4. 研究成果

#### ① 遺伝子背景が異なる材料の準備

各遺伝子の欠損は、それぞれ分子マーカーがあり、これらで欠損を確認した上で、栽培した。分析に必要な種子は十分に取得できた。

#### ② 未分解澱粉の新手法ゲル濾過法の確立および各ピークの分子量の推定<sup>3)</sup>

「日本晴」の種子から胚乳澱粉を精製し、未分解のままカラムに供試したところ、3つのピークが得られた (図1)。各ピークを中和し、ヨウ素で染色したところ、Peak1~Peak2 は茶色に、Peak3 は青色に染色されたことから、前者はアミロペクチンを、後者はアミロースを多く含むことが明らかになった。このことは、各フラクションの $\alpha$ グルカンを枝切り ( $\alpha$ 1, 6 グルコシド結合をイソアミラーゼで切断) して Toyopearl HW55S-50S x 3 カラムで分離した結果からも明らかであった。従って、このカラムでアミロペクチンは高分子量と低分子量のものに分離できることが明らかになった。

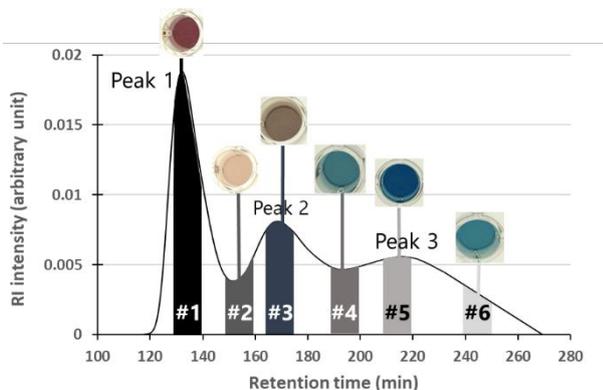


図1. 新しいゲルろ過カラム (Toyopearl HW75S x 2-65S-55S) を用いた未分解澱粉の分離パターン。各ピークの上の写真は、各フラクションのヨウ素染色を示す。この結果及び各フラクション (#1~6) の枝切りゲル濾過分析 (Toyopearl HW55S-50S x 3) による結果から、得られた3つのピークのうち、Peak1は高分子量、Peak2は低分子量のアミロペクチン、Peak3はアミロースが多く含まれることがわかった。

次に、各フラクションの $\alpha$ グルカンを枝切りし、キャピラリー電気泳動装置を用いて鎖長分布解析を行ったところ、いずれのフラクションも類似した鎖長分布を示したが、フラクション#1の鎖長分布と比べて#5, 6は、グルコース重合度 (DP) 20以上の長鎖の割合が少なかった。以上の結果から、分子量の大きいアミロペクチンが溶出される Peak1 には、Peak2やアミロースとともに溶出されるより分子量が小さいアミロペクチンが溶出される Peak3 と比べて、クラスター単位の構造は同じであるが、クラスターがより多数結合したものが溶出されることが強く示唆された。

次に、各ピークに検出されるアミロペクチンの分子量を推定するため、重合度の異なる直鎖状のプルランの分子量マーカー (PUL,  $5.8 \times 10^3 \sim 1.66 \times 10^6$ ) とトウモロコシ澱粉から細菌の BE を処理して得られたクラスターデキストリン (CD)<sup>4)</sup> を Toyopearl HW75S x 2-65S-55S に供試した。PUL は直鎖状、CD は分岐分子であるため、それぞれの溶出される際の挙動が異なるため、補正のため、特定の係数をかけることで各ピークの分子量を求めた。その結果、Peak1, Peak2, Peak3 に溶出されるアミロペクチンの分子量はそれぞれ  $6.0 \times 10^8$ ,  $3.4 \times 10^7$ ,  $8.4 \times 10^5$  となり、クラスター数に換算すると、それぞれ 19480, 1120, 27 であった。また、最も大きい分子量が溶出される Peak1 のアミロペクチンが最も不安定であり、カラムに供試する前に乳鉢等でせん断力を与えたり、長時間 37°C で糊化することで低分子量化することも明らかになった。

#### ③ 物理的処理を与えた米粉の澱粉構造・物性解析<sup>4)</sup>

水を与えずに連続的に結晶性が異なる米粉が製造できる SHMM (shearing and heat milling machine) で処理温度を 10°C から 150°C まで変化させたときの米粉の澱粉構造および物性を調べた (図2)。比較対照として、澱粉損傷が少ない方法で粉碎した気流粉碎米粉を用いた。米澱粉は、広角 X 線回折法で結晶度を調べると、典型的な A 型結晶を示す。気流粉碎米粉は結晶性が高かったのに対し、10°C で SHMM 処理した米粉の結晶性は低下しており、30°C で SHMM 処理した米粉ではさらに低下していた (図2)。100°C 以上で処理した米粉からはほとんど結晶性が見られなかった。各米粉の吸熱反応を熱分析装置で調べたところ、結晶性と比例し、高温で処理した米粉は

ど、糊化熱量は低かった。以上のことから、SHMM 処理した米粉は精米に含まれる 13.8%の水分で糊化されたため、結晶性と糊化熱量が低くなったと考えられた。次に、②で確立した Toyopearl HW75S x 2-65S-55S カラムを用いたゲルろ過法で澱粉構造を調べたところ (図 2)、気流粉碎米粉と 10°Cで SHMM 処理した米粉の澱粉は、分子量の大きいアミロペクチンが検出される Peak1 の割合が高かったが、処理温度が高くなるにしたがって Peak1 の割合は低くなり、代わりに Peak2 および Peak3 の割合が高くなった (図 2)。

次に、各処理米粉を枝切りし、Toyopearl HW55S-50S x 3 カラムで分離したところ、いずれの処理区の米粉の澱粉も同様のパターンを示したことから、SHMM 処理でアミロースは分解されないことが明らかになった。また、枝切りした澱粉の鎖長分布を調べたところ、いずれの米粉も類似したパターンを示したが、処理温度が高い米もでは、DP20以上の長鎖が減少していた (図 2)。以上のことから、SHMM 処理した米粉は、処理温度が高いほど、より糊化しやすく、結晶性と糊化熱量が低下し、同時にアミロペクチンのクラスターを連結する鎖が切断されることで低分子量化が生じることが明らかになった。

#### ④遺伝子背景が異なる米の澱粉構造・物性解析

本研究で用いた変異体系統は、大きく、(1)アミロペクチンの直鎖を伸長する SS アイソザイムが欠損した系統と(2)アミロペクチンの分岐を形成する BEIIb が欠損および他の澱粉合成関連酵素が二重に欠損した系統 (合計 9 系統) に分類できる。これらは良食味品種「あきたこまち」や超多収米品種「秋田 63 号」と戻し交配することで農業品質を向上させた、比較的用途に近い系統であり、それぞれの戻し交配親と比較することで、各遺伝子の欠損の影響を調べた。各系統の種子から精製した澱粉を用いて澱粉構造 (未分解澱粉のゲルろ過解析、枝切り澱粉のゲルろ過解析、鎖長分布解析)、澱粉物性解析 (熱糊化特性、熱糊化粘度特性、澱粉粒の形態観察) を行った結果を表 1 にまとめた。

表1. 各酵素の機能、欠損の特徴および利用用途について

系統名	遺伝子型	各酵素の働き	アミロペクチン分子量	見かけのアミロース含量	最高粘度	鎖長分布 (DP24までの野生型との比較)	糊化ピーク温度 (T <sub>p</sub> )	利用用途
K19	ss2a	SSIIa : DP12以上の鎖を13~24に伸長	野生型と変わらず	野生型の1.3倍	野生型より低下 (野生型の8割)	DP12以下↑↑↑ DP13~24↓↓↓	野生型より著しく低い (-6.5~-4.5°C)	老化防止剤
K1	ss3a	SSIIIa : DP30以上の長鎖を伸長	↓ 低分子量化	↑ 1.7倍	ss2aより低下 (野生型の5~6割)	DP6~9↓ DP10~15↑ DP16~19↓ DP20~24↓	野生型よりやや低い (-4.8~-2.9°C)	K1「あきたばらり」 A2「あきたさらり」
A8	ss3a ss4b	SSIVb : DP42以上の長鎖を伸長	さらに低分子量化	↑ 2.0倍	ss3aよりさらに低下 (野生型の4割)	DP6~9↓ DP10~15↑ DP16~19↓ DP20~24↓	野生型よりやや低い (-2.8°C)	発酵原料
A16	be2b(+)	BEIIb : 結晶領域でDP6~7の分岐鎖を形成	↓ 低分子量化	↑ 野生型の1.2倍	野生型より低下 (野生型の8割)	DP12以下↓↓ DP13~24↑↑	野生型より著しく高い (+8.3°C)	RS (難消化性澱粉) が増加: 機能性米
A12	ss1 <sup>+</sup> be2b	SSI : DP6~7の分岐鎖を8~12に伸長	さらに低分子量化	↑ 1.2倍	A16よりさらに低下 (野生型の7割)	DP12以下↓↓↓ DP13~24↑↑↑	野生型より著しく高い (+9.4°C)	A6よりもRSが増加: 機能性米
A6	ss3a be2b	SSIIIa : DP30以上の長鎖を伸長	↓ 著しく低分子量化	↑ 2.4倍	A12より著しく低下 (野生型の4割)	DP12以下↓ DP13~24↑	野生型よりわずかに高い (+0.1°C)	「まんぶくすらり」: RSが多く、血糖値抑制効果あり
A22	be1 be2b	BEI : 非結晶領域でDP12~24の分岐鎖を形成	↓ 最も低分子量化	↑ 3.0倍	全く粘度上昇せず	DP12以下↓↓↓ DP13~24↑↑↑	野生型より著しく高い (+28.8°C)	A6よりもRSが増加: 機能性米

(1) SS アイソザイムの欠損系統: アミロペクチンのクラスター内の枝を伸長する SSIIa は欠損すると DP12 以下の短鎖が増加するため、糊化温度が低下した。アミロース含量はやや増加した。一方、アミロペクチンの分子量は野生型と比べて低下しないことが、明らかになった。アミロペクチンのクラスターを連結する長鎖を伸長する SSIIIa が欠損すると、アミロース含量が増加するが、アミロペクチンの短鎖が相対的に増加するので、糊化温度はやや低くなった。また、熱糊化粘度が低下し、アミロペクチンの分子量は低下した。SSIIIa に加えて SSIVb が欠損する

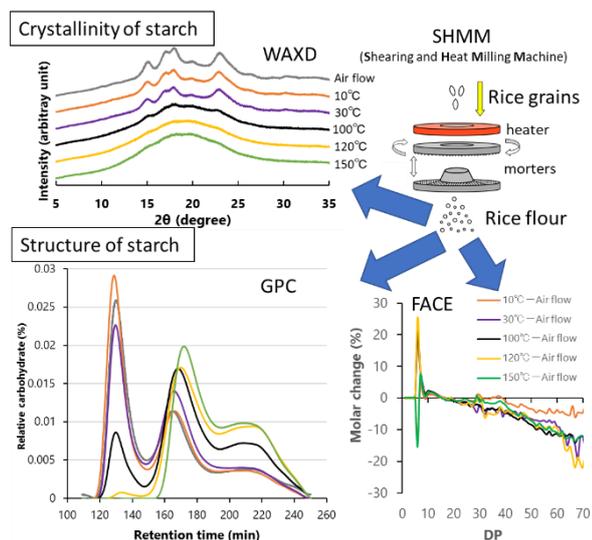


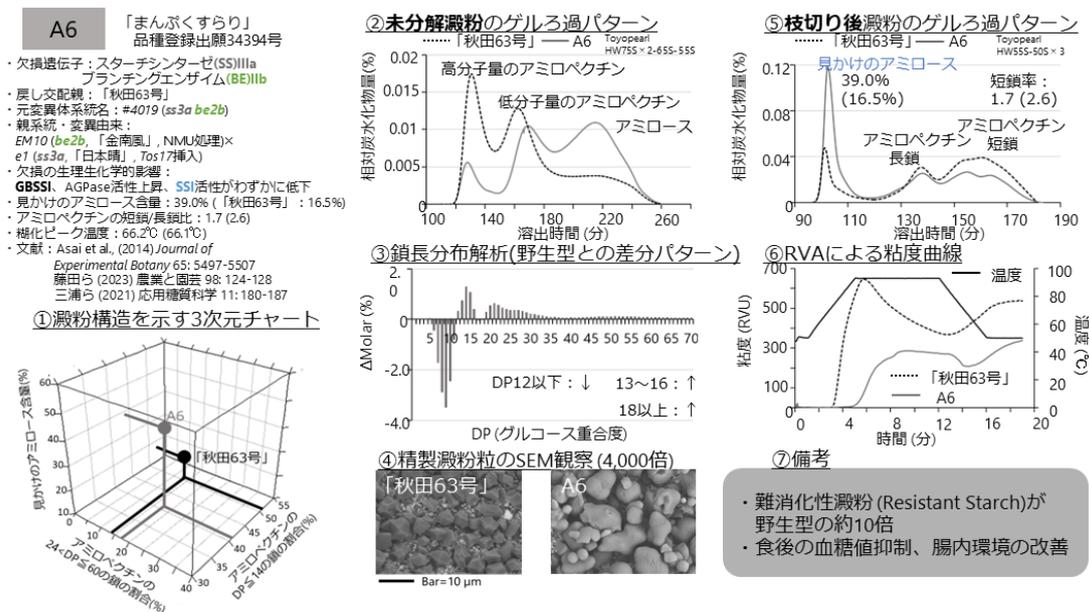
図2. 異なる温度でSHMM (熱せん断米粉粉碎機) 処理した米粉の澱粉結晶性と澱粉構造解析 (未分解澱粉のゲルろ過法 (GPC) とキャピラリー電気泳動法 (FACE) による鎖長分布解析)

とさらにアミロペクチンの分子量が低下し、アミロペクチンの長鎖の割合が低下し、アミロース含量が増加した。澱粉粒は、球形に変化した<sup>6)</sup>。

(2) BEIIb アイソザイムの欠損系統：いずれの系統も、アミロペクチンの短鎖が激減し、相対的にアミロペクチンの長鎖が増加した。アミロペクチンの分子量は、BEIIb に加え、SSI 活性の低下、SSIIIa 欠損、BEI 欠損によってさらに低下した。糊化温度はいずれも野生型より高くなった。この中でも *be1 be2b* は、見かけのアミロース含量が約 50% であり、糊化温度とともに、すべての系統の中で最も高い値を示した。また、粘度もほとんど上昇しなかった。

### ⑤澱粉構造および物性のカタログ化

以上の解析結果から、澱粉生成関連酵素のうち、1 つあるいは 2 つを欠損すると、野生型と比べて澱粉構造と物性が変化し、欠損する酵素ごとに異なる性質を示した。各変異体の利用用途は表 1 に記載した。また、これらを取りまとめてカタログ化した。図 3 にその 1 例を示す。



## 5. 文献

- Fujita N (2014) Starch biosynthesis in rice endosperm. *Agri-Bioscience Monographs* 4: 1-18
- Nitta H, Hasebe M, Hosaka Y, Wakui T, Fujita N (2019) Physical Properties and Starch Structure of Ground Rice Puree. *Food Science and Technology Research* 25: 499-505.
- Suzuki N, Hanashiro I, Fujita N. (2023) Molecular weight distribution of whole starch in rice endosperm by gel-permeation chromatography. *Journal of Applied Glycoscience* 70: 25-32.
- Takata H, Takaha T, Okada S, Hizukuri S, Takagi M, Imanaka T (1996) Structure of the cyclic glucan produced from amylopectin by *Bacillus stearothermophilus* branching enzyme. *Carbohydrate Research* 295: 91-101.
- Suzuki N, Abiko M, Yano H, Koda T, Nishioka A, Fujita N. (2023) Effect of shearing and heat milling treatment temperature on the crystallinity, thermal properties, and molecular structure of rice starch. *Foods* 12: 1041
- Toyosawa Y, Kawagoe Y, Matsushima R, Crofts N, Ogawa M, Fukuda M, Kumamaru T, Okazaki Y, Kusano M, Saito K, Toyooka K, Sato M, Ai Y, Jane J-L, Nakamura Y, Fujita N. (2016) Deficiency of starch synthase IIIa and IVb alters starch granule morphology from polyhedral to spherical in rice endosperm. *Plant Physiology* 170: 1255-1270.

## 6. 謝辞

本研究は、材料の選抜と育成に関して、秋田県立大学生物資源科学部植物生理研究室のクロフツ尚子博士、三浦聡子博士、追留那緒子氏、保坂優子氏、中泉裕子氏にご協力いただいた。この場を借りて御礼申し上げます。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 17件）

1. 著者名 Ida T, Crofts N, Miura S, Matsushima R, Fujita N	4. 巻 68
2. 論文標題 Structure and properties of starch in rice double mutants lacking starch synthase (SS) IIa and starch branching enzyme (BE) IIb.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Glycoscience	6. 最初と最後の頁 31-39
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5458/jag.jag.JAG-2021_0002	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 Crofts N, Satoh Y, Miura S, Hosaka Y, Abe M, Fujita N	4. 巻 108
2. 論文標題 Active-type starch synthase (SS) IIa from indica rice partially complements the sugary-1 phenotype in japonica rice endosperm.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 325-342
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11103-021-01161-9	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 Crofts N, Domon A, Miura S, Hosaka Y, Oitome NF, Itoh A, Noge K, Fujita N	4. 巻 108
2. 論文標題 Starch synthase IIa and GBSSI control starch structure but do not determin starch granule morphology in the absence of SSIIa and SSIVb.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 379-398
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11103-021-01197-x	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 三浦聡子、クロフツ尚子、保坂優子、藤田直子	4. 巻 11
2. 論文標題 ジャポニカ系洗アミロース品種「あきたばらり」、「あきたさらり」と高レジスタントスターチ(RS)米品種「まんぶくすらり」の消化特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 応用等質科学	6. 最初と最後の頁 180-187
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 藤田直子	4. 巻 12
2. 論文標題 澱粉生成メカニズムの解明と変異体米を用いた新品種の開発 (総説、受賞論文)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 応用等質科学	6. 最初と最後の頁 4-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Nakamura Y, Steup M, Colleoni C, Iglesias AA, Bao J, Fujita N, Tetlow I	4. 巻 108
2. 論文標題 Molecular regulation of starch metabolism	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 289-290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11103-022-01253-0	査読の有無 無
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 Fujita N, Miura S, Crofts N	4. 巻 15
2. 論文標題 Effects of various allelic combinations of starch biosynthetic genes on the properties of endosperm starch in rice.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 RICE	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12284-022-00570-8	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 -

1. 著者名 Yano H, Koda T, Fujita N, Nishioka A	4. 巻 44
2. 論文標題 Effect of amylose content in rice flour on batter rheology and bread baking quality.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Food Processing and Preservation	6. 最初と最後の頁 e14462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jfpp.14462	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 Kato E, Murata K, Fujita N	4. 巻 5
2. 論文標題 13C CP/MAS NMR can discriminate genetic backgrounds of rice starch.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ASC Omega	6. 最初と最後の頁 24592-24600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.0c03113	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 Miura S, Koyama N, Crofts N, Hosaka Y, Abe M, Fujita N	4. 巻 14
2. 論文標題 Generation and starch characterization of non-transgenic BEI and BEI1b double mutant rice ( <i>Oryza sativa</i> ) with ultra-high level of resistant starch.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RICE	6. 最初と最後の頁 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12284-020-00441-0	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 -
1. 著者名 Nitta H, Hasebe M, Hosaka Y, Wakui T, Fujita N	4. 巻 25
2. 論文標題 Physical Properties and Starch Structure of Ground Rice Puree.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Food Science and Technology Research	6. 最初と最後の頁 499-505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3136/fstr.25.499	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 Saito Y, Watanabe T, Sasaki T, Watanabe K, Hirayama M, Fujita N	4. 巻 84
2. 論文標題 Effects of single ingestion of rice cracker and cooked rice with high resistant starch on postprandial glucose and insulin responses in healthy adults: two randomized, single-blind, cross-over trials.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 365-371
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09168451.2019.1687282	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 Crofts Naoko, Hareyama Kaito, Miura Satoko, Hosaka Yuko, Oitome Naoko F., Fujita Naoko	4. 巻 23
2. 論文標題 Effect of Heading Date on the Starch Structure and Grain Yield of Rice Lines with Low Gelatinization Temperature	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 10783 ~ 10783
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms231810783	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 Ida Tamami, Crofts Naoko, Miura Satoko, Matsushima Ryo, Fujita Naoko	4. 巻 69
2. 論文標題 Starch Biosynthetic Protein Complex Formation in Rice <i>ss2a be2b (<i>+<i>)<i> Double Mutant Differs from Their Parental Single Mutants	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Glycoscience	6. 最初と最後の頁 23 ~ 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5458/jag.jag.JAG-2021_0015	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 Miura Satoko, Narita Maiko, Crofts Naoko, Itoh Yuko, Hosaka Yuko, Oitome Naoko F., Abe Misato, Takahashi Rika, Fujita Naoko	4. 巻 15
2. 論文標題 Improving Agricultural Traits While Maintaining High Resistant Starch Content in Rice	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Rice	6. 最初と最後の頁 28 ~ 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12284-022-00573-5	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 Morita Ryutaro, Crofts Naoko, Miura Satoko, Ikeda Ken-ichi, Aoki Naohiro, Fukayama Hiroshi, Fujita Naoko	4. 巻 64
2. 論文標題 Characterization of the Functions of Starch Synthase IIIb Expressed in the Vegetative Organs of Rice (<i>Oryza sativa</i>L.)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 94 ~ 106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcac143	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 Suzuki Naoto, Hanashiro Isao, Fujita Naoko	4. 巻 70
2. 論文標題 Molecular Weight Distribution of Whole Starch in Rice Endosperm by Gel-permeation Chromatography	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Applied Glycoscience	6. 最初と最後の頁 25 ~ 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5458/jag.jag.JAG-2022_0010	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 Nakano Tsukine, Crofts Naoko, Miura Satoko, Oitome Naoko F., Hosaka Yuko, Ishikawa Kyoko, Fujita Naoko	4. 巻 24
2. 論文標題 Three Starch Synthase IIa (SSIa) Alleles Reveal the Effect of SSIa on the Thermal and Rheological Properties, Viscoelasticity, and Eating Quality of Glutinous Rice	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 3726 ~ 3726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms24043726	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 Suzuki Naoto, Abiko Marin, Yano Hiroko, Koda Tomonori, Nishioka Akihiro, Fujita Naoko	4. 巻 12
2. 論文標題 Effect of Shearing and Heat Milling Treatment Temperature on the Crystallinity, Thermal Properties, and Molecular Structure of Rice Starch	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Foods	6. 最初と最後の頁 1041 ~ 1041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/foods12051041	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39件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 藤田直子
2. 発表標題 高RS (難消化性澱粉) 米新品種に関して ~ お米を使った糖質制限食開発の可能性 ~
3. 学会等名 第15回横浜生活習慣病フォーラム ~ 糖尿病グループ講演会 ~ (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦聡子、クロフツ尚子、保坂優子、中泉裕子、藤田直子
2. 発表標題 澱粉枝作り酵素(BE)IIaとIIbの二重変異体#1310の単離と胚乳澱粉特性解析
3. 学会等名 第12回日本応用糖質科学会東北支部会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木直人、安孫子眞鈴、矢野裕子、香田智則、西岡昭博、藤田直子
2. 発表標題 SHMMで処理した米粉の未分解澱粉ゲルろ過法による澱粉構造解析
3. 学会等名 第12回日本応用糖質科学会東北支部会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井田 圭美、クロフツ 尚子、三浦 聡子、保坂 優子、松島 良、藤田 直子
2. 発表標題 スターチシンターゼ(SS)IIaと枝作り酵素(BE)IIbの活性が無い二重変異体米の澱粉構造と特性
3. 学会等名 第12回日本応用糖質科学会東北支部会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井田 圭美、クロフツ 尚子、三浦 聡子、保坂 優子、松島 良、藤田 直子
2. 発表標題 スターチシンターゼ(SS)IIaと枝作り酵素(BE)IIbの二重変異体米が登熟胚乳で形成する澱粉生合成関連酵素の超高分子量タンパク質複合体の解析
3. 学会等名 第70回日本応用糖質科学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 クロフツ尚子, 土門安沙香, 三浦聡子, 保坂優子, 追留那緒子, 野下浩二, 藤田直子
2. 発表標題 スターチシンターゼ(SS)欠失イネ変異体の登熟種子におけるADP-glucose (ADPG)の定量
3. 学会等名 第70回日本応用糖質科学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦聡子, クロフツ尚子, 保坂優子, 藤田直子
2. 発表標題 高アミロース米品種「あきたばらり」、「あきたさらり」と高RS米品種「まんぷくすらり」の消化特性
3. 学会等名 第70回日本応用糖質科学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木直人, 藤田直子
2. 発表標題 未分解澱粉のゲルろ過法による澱粉の分子量分布解析
3. 学会等名 第70回日本応用糖質科学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田直子
2. 発表標題 澱粉生合成メカニズムの解明と変異体米を用いた新品種の開発
3. 学会等名 第70回日本応用糖質科学会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田直子
2. 発表標題 高レジスタントスターチ(RS)米品種「まんぷくすらり」を使った糖質制限食開発の可能性
3. 学会等名 第72回秋田県病院給食協議会並びに研修会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fujita N, Miura S, Koyama N, Crofts N, Hosaka Y, Abe M
2. 発表標題 Starch properties of non-tansgenic BEI and BEIIb double mutant rice with ultra-high level of resistant starch.
3. 学会等名 Starch Round Table 2021(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Crofts N, Domon A, Miura S, Hosaka Y, Oitome NF, Itoh A, Noge K, Fujita N
2. 発表標題 High levels of two major starch synthases (SSIIa and GBSSI) in ss3a ss4b double mutant alter structure of starch, but do not recover from spherical starch granule morphology.
3. 学会等名 Starch Round Table 2021(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田直子
2. 発表標題 米澱粉生成の科学～基礎研究から実用化まで～
3. 学会等名 (社)日本農芸化学会東北支部第156回大会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田直子
2. 発表標題 機能性があり、食感が独特な新品種米について
3. 学会等名 アグリビジネス創出フェア2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田直子
2. 発表標題 澱粉生合成メカニズムの解明と変異体米を用いた新品種の開発
3. 学会等名 第13回日本応用糖質科学会東北支部会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田直子
2. 発表標題 秋田県立大学発スタートアップの事例紹介
3. 学会等名 産学連携的財産アドバイザー派遣事業公開成果発表会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田直子、クロフツ尚子、三浦聡子、保坂優子、追留那緒子、小野雅美、中村保典
2. 発表標題 高レジスタントスターチ(RS)米「まんぷくすらり」の澱粉特性とその応用利用
3. 学会等名 日本応用糖質科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井田圭美、クロフツ尚子、三浦聡子、保坂優子、松島良、藤田直子
2. 発表標題 スターチシンターゼ(SS)IIaと枝作り酵素(BE)IIbの二重変異体米の澱粉構造とその性質
3. 学会等名 日本応用糖質科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦聡子、クロフツ尚子、森田隆太郎、保坂優子、追留那緒子、阿部美里、藤田直子
2. 発表標題 イネ枝作り酵素(BE)二重変異が及ぼす胚乳と葉鞘の澱粉構造の違い
3. 学会等名 日本応用糖質科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田直子、クロフツ尚子、三浦聡子、保坂優子、追留那緒子、川本朋彦、加藤和直、高橋竜一、高橋里矢子、小野雅美、中村保典
2. 発表標題 高レジスタントスターチ(RS)米「まんぷくすらり」の特徴とその応用利用
3. 学会等名 日本育種学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦聡子、クロフツ尚子、森田隆太郎、保坂優子、追留那緒子、阿部美里、藤田直子
2. 発表標題 イネ枝作り酵素(BE)二重変異が及ぼす胚乳と葉鞘の澱粉構造の違い
3. 学会等名 日本育種学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅家優、香田智則、Techakanon, Lekjing S, Noonim P, 藤田直子、西岡昭博
2. 発表標題 澱粉の分子鎖形状の異なる米から製造した非晶性米粉の物性比較
3. 学会等名 日本食品科学工学会東北支部
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田直子
2. 発表標題 「秋田県立大学で開発した新品種米「あきたばらり」、「あきたさらり」、「まんぷくすらり」の紹介と今後の展開」
3. 学会等名 秋田県農業法人協会令和3年新春放談会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦聡子, 成田真衣子、伊藤優季、クロフツ尚子, 保坂優子, 追留那緒子, 阿部美里, 藤田直子
2. 発表標題 枝作り酵素（BE）IIb変異体にインディカ米与来の遺伝子を導入した#1203系統の戻し交配による農業形質の工場と胚乳澱粉の特性解析
3. 学会等名 日本農芸化学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田直子
2. 発表標題 「イネの澱粉合成メカニズムの解明から機能性や異なる食感を付与した米品種の開発」
3. 学会等名 日本農芸化学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田直子, 土門安沙香, 保坂優子, 追留那緒子, 三浦聡子, クロフツ尚子
2. 発表標題 スターチシンターゼ(SS)アイソザイムの欠損, 発現の強弱と澱粉粒形態の関係
3. 学会等名 日本応用糖質科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦 聡子, 菊池 佳奈, クロフツ 尚子, 保坂 優子, 阿部 美里, 松島 良, 藤田 直子
2. 発表標題 難消化性澱粉を多く含み, 澱粉構造が異なる5つの枝作り酵素 (BE) IIb変異体米の解析
3. 学会等名 日本応用糖質科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 クロフツ尚子, 佐藤芳樹, 三浦聡子, 藤田直子
2. 発表標題 インディカ米由来のスターチシンターゼ IIa (SSIIa) と澱粉粒結合型スターチシンターゼI (GBSSI) はジャポニカ米由来のIsoamylase I 欠失変異体 (isa1) の澱粉形質を改善する
3. 学会等名 日本応用糖質科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤和直, 鈴木裕尊, 保坂優子, 高橋竜一, 小玉郁子, 川本朋彦, 熊丸敏博, 藤田直子
2. 発表標題 高温下で登熟した「あきたこまち」における食味官能評価と澱粉特性
3. 学会等名 日本応用糖質科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田隆太郎, 三浦聡子, クロフツ尚子, 青木直大, 深山浩, 藤田直子
2. 発表標題 イネ栄養器官で特異的に発現するスターチシンターゼ(SS)IIbの機能解析
3. 学会等名 日本応用糖質科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田卓也, 松島良, 藤田直子, 三浦聡子, クロフツ尚子, 保坂優子, 永松志朗, 熊丸敏博
2. 発表標題 難消化性澱粉を保有するイネ澱粉構造変異系統の胚乳特性解析
3. 学会等名 日本応用糖質科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永松 大輝, 飯島 健, 朱 紅加, 山本 敏央, 川越 靖, 藤田 直子, 堀 清純
2. 発表標題 イネの澱粉合成酵素の多重変異体を用いた遺伝的相互作用
3. 学会等名 日本育種学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoko Crofts, Yuriho Iizuka, Natsuko Abe, Satoko Miura, Ryo Matsushima, Naoko Fujita
2. 発表標題 Loss of branching enzyme IIb activity altered starch biosynthetic protein complexes in rice endosperm
3. 学会等名 Starch Round Table 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiki Satoh, Naoko Crofts, Satoko Miura, Yuko Hosaka, Misato Abe, Naoko Fujita
2. 発表標題 SSI1a from indica rice partially complements the sugary-1 phenotype.
3. 学会等名 Starch Round Table 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoko Miura, Naoko Crofts, Yuko Hosaka, Naoko F Oitome, Misato Abe, Naoko Fujita
2. 発表標題 Analysis of enzyme complex and characterization of endsperm starch for rice mutant deficient in starch syntase IIa protein.
3. 学会等名 Starch Round Table 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田直子
2. 発表標題 澱粉の構造制御からユニークな新品種育成まで
3. 学会等名 種子生理生化学研究会公開講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木直人、藤田直子
2. 発表標題 枝作り酵素(BE)アイソザイムが欠損した変異体米の戻し交配系統における澱粉構造および物性の解析
3. 学会等名 12. 第13回日本応用糖質科学会東北支部会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田直子
2. 発表標題 澱粉生合成研究のこれまでと今後の展望
3. 学会等名 13. 第71回日本応用糖質科学会（70周年記念シンポジウム招待講演）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木直人、藤田直子
2. 発表標題 スターチシクターゼ(SS)アイソザイムが欠損した変異体米の戻し交配系統における澱粉構造および物性の解析
3. 学会等名 13. 第71回日本応用糖質科学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 Fujita N	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Science Impact LTD	5. 総ページ数 3
3. 書名 The Science of starch	

1. 著者名 藤田直子	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Future SIGHT 94、HOKUTO経済調査レポート	5. 総ページ数 2
3. 書名 お米で健康に！秋田発、新品種開発	

1. 著者名 藤田直子	4. 発行年 2022年
2. 出版社 (社)日本農芸化学会	5. 総ページ数 4
3. 書名 イネの澱粉生合成メカニズムの解明から異なる食感や機能性をもつ米品種の開発～澱粉生合成の科学から新品種開発～化学と生物	

1. 著者名 藤田直子	4. 発行年 2020年
2. 出版社 株式会社秋田今野商店	5. 総ページ数 7
3. 書名 醸造に用いる米澱粉の多様性	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 難消化性澱粉高含有イネ変異体、米粉製造方法、難消化性澱粉製造方法、米粉ゲル製造方法、食品製造方法、及び難消化性澱粉高含有イネ変異体の作出方法	発明者 藤田直子、クロフツ尚子、三浦聡子	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-010264	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	花城 勲 (Hanashiro Isao)  (30336325)	鹿児島大学・農水産獣医学域農学系・准教授  (17701)	
研究分担者	西岡 昭博 (Nishioka Akihiro)  (50343075)	山形大学・大学院有機材料システム研究科・教授  (11501)	

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