

不安定な食料供給をテラーメイド米で解決！

藤田直子*

〔キーワード〕：変異体米，澱粉合成，澱粉構造，
食料自給率，機能性食品

1. はじめに

ウクライナ紛争で、小麦を始めとする食料供給体制が世界的に不安定になっている。食料自給率が40%を切る我が国では、円安及び化石燃料価格高騰による食品値上げが相次ぎ、食料供給体制の見直しが迫られている。一方、米を主要な炭水化物源とする日本には、全国各地に所狭しと水田を開墾してきた歴史があるが、米の消費量は50年前と比べると半減し、水田面積は、減反政策、労働力不足等により、昭和30年代と比べて3割も減少している。この中で日本は、穀類の輸入によって、他国の耕地、水、肥料、労働力を間接的に利用して食料供給を賄っているという矛盾も抱えている。

この背景の下、米を更に活用して安定な食料供給体制を構築するには、用途に応じた米品種の開発が不可欠である。我が国の米は、主食用が殆どであり、米飯の良食味に特化して開発されてきたため、米または米粉を、小麦、トウモロコシ等の代替として用いる際には、加工適性、食味を最適化する必要がある。一方、米の9割を占める澱粉の構造を変化させ、これら特性を劇的に変化することが期待される中、澱粉生合成関連酵素遺伝子の発現量の制御によって澱粉構造を変化させ、テラーメイド米・米澱粉に改変できることが最近明らかになってきた。本稿では、激動する世界の食料供給体制の中で、米で持続的食料供給を目指すべく、米澱粉の潜在能力を最大限に活かすための試みについて述べる。

2. 昨今の米と小麦の状況

我が国の米の年間消費量は、昭和37年(1962年)の118 kgをピークに低下し、現在はその半分以下(51 kg)となっている。米の販売価格は不作の年に高くなり、豊作の年に低くなるものの、年間消費量

の低下とともに減少傾向にある。一方、小麦の国際価格は、アメリカ、カナダの不作などからここ2、3年は上昇傾向にあったが、昨年のウクライナ情勢の悪化に伴い、急激に上昇している。私たちの身の回りにはパン、麺、菓子など、小麦製品であふれており、国民の年間消費量は、32 kgと米の消費量に迫る勢いである。しかし、我が国は、消費する小麦の85%を輸入しており、その半数がアメリカ、3分の1がカナダで残りがオーストラリアからである。政府は国産の小麦生産にも力を入れているが、パンなどに利用されるタンパク質含量の高い高品質の小麦粉には、多くが外国産の小麦が用いられている。日本の気候が湿潤であることもあり、国内の生産地域が限られ、生産量も年によって不安定である(図1)。また、イネと異なり、小麦は豆などの他の作物と転作を実施するため、梅雨や台風などで収穫などがずれ込むと、他の作物へも悪影響を及ぼす。

これに対して、イネは小麦と比べて国内に栽培適地が圧倒的に多く、連作も可能であり、収量も非常に安定している(図1)。以上のことから、これまでの主食用米を中心とした育種のみならず、米を小麦の代替として利用すべく、様々な性質をもった米を開発する必要がある。

3. 米澱粉の研究

演者らは、イネを用いて澱粉の生合成機構の解明を目的に、長年研究を行ってきた。澱粉は人類を始め、地球上のほとんどの生物の炭水化物源であり、穀粒の場合、農業生産の過半数が澱粉生産である。澱粉は作物の貯蔵器官に大量に蓄積され、人類はこの澱粉をより多量に貯めるように育種を進めてきた。現在では食料のみならず、工業利用としても莫大な量の澱粉が使用されている。

澱粉は、グルコースのホモポリマーで、結合方式は、 α 1,4 および α 1,6 グルコシド結合のみで形成された巨大分子である。澱粉を合成する酵素は、多数存在し、それらがうまく協同することで、澱粉の主

*秋田県立大学・生物資源科学部教授、(株)スターチテック 取締役 (Naoko Fujita)


	 イネ	 コムギ
育種目標	米飯として美味しく (タンパク質を少なく)	パン用としてタンパ ク質を多く
栽培	水田で毎年 (地域によって年2作)	他の作物と転作
栽培適地	温暖多湿	冷涼乾燥
収量 (国産)	550-590 kg/10 a (安定)	380-560 kg/10 a (不安定)
消費量	51 kg/年・人	32 kg/年・人

図1 イネとコムギの違い

成分であるアミロペクチンとアミロースが合成される。

アミロース含量がご飯の食感などに大きな影響を与えることは有名な話であるが、演者らは特にアミロペクチンの構造に影響を与える酵素を欠損させた「変異体米」を用いることでその機能を明確にした。それには、まず、澱粉の構造を正確に決定する必要があるが、キャピラリー電気泳動法による鎖長分布解析や、ゲルろ過法によるアミロース含量の測定など、分析方法についても進化させてきた。独自の材料開発と手法開発によって、様々な性質をもった澱粉を貯める米を開発している。

例えば、アミロペクチンの分岐を形成する枝作り酵素(BE)は、イネは3つ持っているが、そのうち、BEIIbが欠損すると、アミロペクチンの生合成が低下するため、アミロース含量が増加する。また、アミロペクチンの短鎖が激減し、相対的に平均鎖長が長くなる(Nishiら, 2001)。このアミロペクチンの構造的な変化は、澱粉の糊化温度に多大な影響を与える。アミロペクチンは隣り合った直鎖が二重らせんを形成しているが、糊化はこの二重らせんがほどける反応である(図2)。平均鎖長が長くなることで二重らせんが長くなったBEIIb欠損変異体は、糊化温度が野生型と比べて10°C程度上昇する(つまり、煮えにくくなる)。糊化した澱粉は、低温で放置すると老化、つまり糊化によりほどけていた二重らせんが一部「より」を戻すことで、食品としてはパサパサな食感となる。一部老化した澱粉は、消化酵素

によって分解されにくいいため、難消化性となる。このように、アミロペクチンの平均鎖長、つまり二重らせんの長さは、糊化温度に影響を与え、老化性や消化性に多大な影響を与える(図2, 藤田, 2013)。

4. 新品種の開発

上記のように、澱粉合成に重要な遺伝子を欠損させることで、澱粉構造が大きく改変することがあり、澱粉構造の違いは、澱粉の物性に影響を与え、ひいては加工食品の食味や食感に影響を与えることがわかってきた。このように、主食用米とは全く性質が異なる変異体米を実用化するため、我々はまず、アミロペクチンの長鎖の伸長を行っているスターチシンターゼ(SS) IIIaが欠損した変異体米(ss3a)を品種化することにした。ss3aは、レトロトランスポゾンTos17が挿入されることでSSIIIaの発現がなくなった変異体として単離された(Fujitaら, 2007)。この変異体の胚乳澱粉の構造を詳細に調べて野生型と比較すると、アミロース含量が1.5倍に増加し、アミロペクチンの重合度(DP) >30の長い鎖が減少する特徴があった。また、ss3aの胚乳澱粉に加水・加熱した際の粘度は、野生型と比べて低く、また、炊飯すると長細くなる特徴があった(藤田と阿久澤, 2010)。従来の高アミロース米品種は、すべてインディカ米由来のGBSSI遺伝子が導入されたものであったが、ss3aが高アミロースになる原理はこれとは全く異なる。即ち、ss3aは、ジャポニカ米である「日本晴」由来であり、SSIIIaが欠損することで客

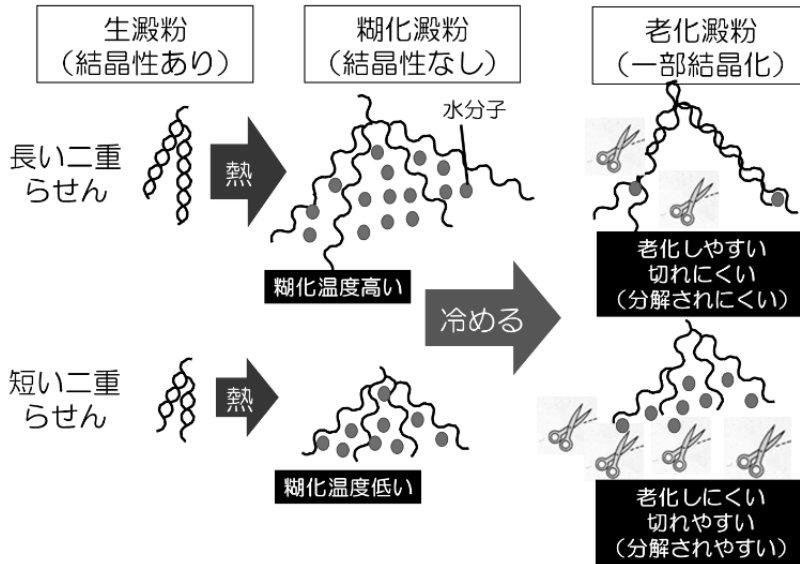


図2 澱粉の糊化，老化，消化のモデル
藤田（2013）応用糖質科学 3：202-204 を改変

ジャポニカ系高アミロース米
「あきたばらり」
品種登録 第29394号

- ・元変異体はスターチシンターゼ (SSIIIa欠損変異体(e1) (特許第4711762号))
- ・戻し交配親は「あきたこまち」
- ・高アミロース米（見かけのアミロース含量約26%）
- ・RS値は、「あきたこまち」の2倍
- ・米飯はばらばらの食感
- ・炊き増えし、加水量を増やして炊飯すると、粒感があり 10~20%カロリーオフ
- ・チャーハン、ピラフ、リゾット、パエリア、カレー等に
- ・純粋ジャポニカ米

図3 「あきたばらり」の特徴

観的に *GBSSI* の発現が増加するため、アミロース含量が増加する。従って、ジャポニカ系高アミロース米という、これまでになかった特徴を持つ米として新品種化を目指した。

「日本晴」から単離された *ss3a* は、私たちが本拠地としている秋田県では開花が遅く、とても品種として普及しがたいものであった。そのため、秋田県が栽培適地である「あきたこまち」や超多収品種である「秋田 63 号」を戻し交配することで *ss3a* の

農業形質の向上を試みた（藤田，2022）。3 回の戻し交配を実施した後、自殖を繰り返して育成された品種が「あきたばらり」と「あきたさらり」である。

「あきたばらり」（藤田ら，2022）は、ごはんにすると、ばらばらとした食感が特徴であり、ピラフ、チャーハン、リゾットなどに向いている。見かけのアミロース含量は 26% で通常の主食用米より 10% 程度高い。甘酒に加工すると、甘さ控えめの粒感がより残った特徴のある甘酒になる（図 3）。

「あきたさらり」(藤田ら, 2022) は, 「あきたばらり」と同様に *ss3a* が元になっているが, 超多収米品種を戻し交配しているため, 多収が見込め, 新規需要米として米粉にしてパンや麺, 菓子などに加工することを想定している. 小麦粉を使った麺に「あきたさらり」を一部添加すると, つるつる感が増す. また, 「あきたこまち」などの主食用米の米粉と「あきたさらり」の米粉を混合して 100%米粉パンを作成すると, 他の品種の米粉パンとは異なり, 小麦パンに近い食感が得られる(図4). 通常の米粉ではべたべたする際の食感改良剤としての利用が期待される.

「まんぷくすらり」(藤田ら, 2023) は, *SSIIIa* と *BEIIb* が二重に欠損した#4019 (Asai ら, 2014) を「秋田 63 号」で戻し交配した高難消化性澱粉(レジスタントスターチ, RS) 米品種である. RS が通常の米の 10 倍多く含まれている. 品種改良前の#4019 の精米を使って製造したパック米飯と米菓で, 食後の血糖値上昇抑制効果が証明されている(Saito ら, 2020). RS は, 食物繊維と同様に, 高分子のまま大腸に移行するため, 整腸作用も期待されている. 将来的には, 炊飯米の摂取後の血糖値上昇抑制の機能性表示を目指している. 「まんぷくすらり」は, RS を多く含むため, 老化が激しく, 炊飯米の食味はすぐれない. そのため, 米粉に加水して加熱することで米ゲルに加工し, これと通常米を混ぜてきりたんぽに加工したり, 味噌やグラノーラなどに加工して

販売している(図5). 今後も, 美味しく食べるための商品開発が必要である.

5. 今後の課題と展望

澱粉構造の観点で, 主食用米と酒米はほとんど同一である. また, もち米, 低アミロース米もアミロース含量にバリエーションはあるものの, アミロペクチンの構造は主食用米とほとんど同じである. つまり, 現在, 普及している米は, インディカ米由来の米を除けば, アミロペクチン構造はほとんど同じであり, 多様なアミロペクチン構造を持つ米は, 現時点でほとんど普及していない. 今後, 上記で示した高 RS 米など, 機能性が謳える米や, 食感が異なる米の普及には, それらを用いた商品開発などが欠かせない. 特に, 高 RS 米に関しては, 機能性の表示によって, 他の米加工食品との差別化が必要である. 食後の血糖値上昇抑制の機能性は, RS を多く含む米以外の穀類でも多くの臨床試験で証明されているが, 整腸作用に関しては, 動物実験にとどまっているため, この機能性を表示するには, さらなる実証実験が必要である.

我々は, 澱粉生合成関連酵素の欠損や強発現の組み合わせを変えることで, 例えば, より多くの RS を含み, 収量が良いなど, 農業形質が良い品種, 硬化性の異なる多収のモチ米品種や, 耐老化性を付与する米系統なども開発中である. 多様性のある米澱粉の澱粉構造や物性解析データの蓄積から, 今や,

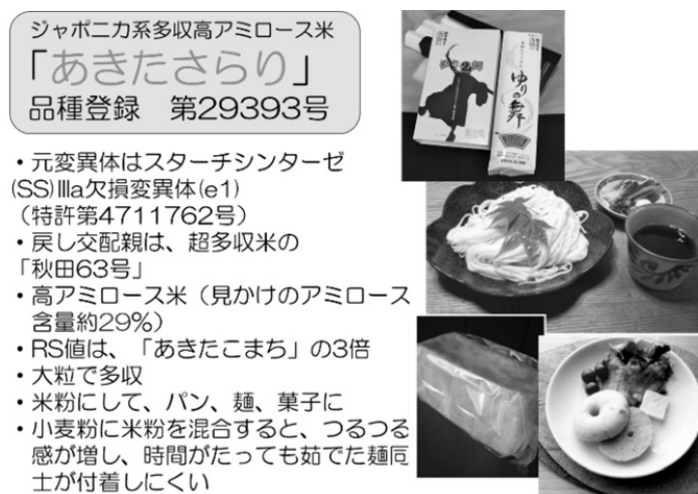


図4 「あきたさらり」の特徴



図5 「まんぶくすらり」の特徴

要求する性質を持つテラーメイド米の作出も可能になってきた。今後は、小麦の代替のみならず、米を使った新しい商品開発を推進することで、我が国の食料自給率を向上させる一助となれば、と考えている。

文献

- Asai ら, 2014. J. Exp. Bot. 65 : 5497-5507.
 藤田, 2013. 応用等質科学 3 : 202-204.
 藤田, 2022. 化学と生物 60 : 57-62.
 藤田と阿久澤, 2010. 食品と容器 51 : 656-663.
 Fujita ら, 2007. Plant Physiol. 144 : 2009-2023.
 藤田ら, 2022. 農業と園芸 97 (9) : 781-785.
 藤田ら, 2023. 農業と園芸 98 (2) : 124-128.
 Nishi ら, 2001. Plant Physiol. 127 : 459-472.
 Saito ら, 2020. Biosci. Biotechnol. Biochem. 84 : 365-371.