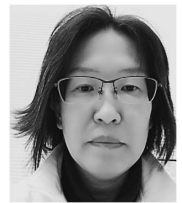


イネの澱粉生合成メカニズムの解明から機能性や異なる食感を付与した米品種の開発



秋田県立大学生物資源科学部 藤田直子

はじめに

澱粉は、植物科学の根幹であり、食糧として最も重要な炭水化物源である。筆者は、これまでイネを材料に澱粉生合成メカニズムの解明に取り組んできた。澱粉生合成に関与する酵素の変異体を多数単離・収集し、それらの澱粉構造や物性等を野生型と綿密に比較することで、各酵素の機能解明が飛躍的に進み、澱粉の主成分であるアミロペクチンの生合成モデルにつながった。一方で、変異体の中には、通常の米とはその澱粉の性質が全く異なるものがあつた。筆者はこれらを品種改良することで、機能性や異なる食感を付与した新しい米品種の開発につなげ、自ら立ち上げた大学発ベンチャーによる実用化と普及を目指している。本要旨では、その概要について述べる。

1. 我が国の医療と農業の大きな問題

日本人の5人に1人は糖尿病かその予備軍であると言われ、男女を問わず現在も増加傾向にある。糖尿病は、それらが初発となってさまざまな病気を引き起こし、寿命を低下させる大きな要因となる生活習慣病の代表格である。糖尿病やその予備軍には、糖質制限が有効と考えられており、近年、ストレスがなるべく少なく糖質制限できる商品開発が盛んに行われている。一方、農業に目を向けると、日本人の食生活は欧米化し、多様化したことに加え、糖質制限からくるいわゆる炭水化物ダイエット等ブームにより、我が国における米の需要は、50年前と比べると半以下となっている。このような背景から、稲作農家は後継者不足や補助金制度の改定とともに、曲がり角を迎えている。農水省や各県等の試験場では、極良食味米がプレミアム米として数多く育成されているが、これらによっても米の需要低下に歯止めはかけられていないのが現状である。

2. 変異体米から品種へ

我が国が上記のように医療と農業の大きな問題を抱える中で、筆者は機能性や通常の米と食感が異なる性質を持つユニークな米品種の開発を行ってきた。筆者は、これまで一貫して米澱粉の生合成メカニズムの解明を行ってきた。澱粉生合成には、多数の酵素が関与しており、それらの遺伝子が欠損した変異体米を単離、収集し、野生型と比較することで各酵素の機能解明を目指してきた。胚乳で発現する酵素の機能はこの20年でかなり解明された¹⁾。一方、多数の澱粉生合成関連酵素の変異体米の中には、通常の主食用米とは澱粉の性質が激変しているものも存在し、筆者らはこれらユニークな澱粉を胚乳に蓄積する変異体米の実用化、品種化を行ってきた。

2-1. 「あきたばらり」、「あきたさらり」の育成

筆者らがまず着目した変異体は、スターチシンターゼ(SS) IIIaが欠損した *ss3a* 変異体であった。この変異体は、SSIIIaの欠損により、SSIと澱粉粒結合型(GB) SSIの発現が促進され、アミロペクチンの長鎖が減少し、アミロース含量が増加し

ていることが明らかになり、SSIIIaの機能は、アミロペクチンの長鎖を伸長することが明らかとなった²⁾。当時、実験圃場で栽培した少量のこの変異体米を炊飯して食べてみたところ、「あきたこまち」などと比べてばさばさしていて、とても美味しいものとは思えなかった。一方、白ご飯よりはピラフやせんべいのように、パラパラ、カリカリ食感が求められる調理法がこの米には向いていることが後に明らかになってきた。従って、2010年ごろから、秋田県農業試験場や国際農林水産業研究センターにご協力いただきながら、「日本晴」由来であった *ss3a* 変異体を「あきたこまち」や超多収品種の「秋田63号」と戻し交配することで品種育成を始めた。戻し交配の回数を増やすごとに、種子重量や収量は増大し³⁾、開花日等の農業形質も改善した。3回戻し交配し、系統選抜ののちに確立した系統が、それぞれ「あきたばらり」と「あきたさらり」である。これらは、2018年9月に品種登録出願(それぞれ第33353号および第33352号)を済ませ、2019年1月に出願公表された。

「あきたばらり」は、農業形質は「あきたこまち」と類似しているがアミロース含量が「あきたこまち」より10%高く、炊飯米はパラパラ食感が特徴である。ピラフ、チャーハン、リゾット、パエリア、カレーなどに適している。パラパラ食感といえ、インディカ米が連想されるが、我々の米はインディカ米の遺伝子が入っていない純ジャポニカ系で、栽培特性も「あきたこまち」と類似し、食味も日本人好みである。「あきたさらり」は、戻し交配親の「秋田63号」と農業形質が類似しており、やはり「秋田63号」よりアミロース含量が10%程度高い。多収であることから、米粉にして麺やパン等に混合することを想定している。麺に混ぜるとつるつる感が増し、茹でたのちに麺と麺がくっつきにくい特徴がある。パンに混ぜると、「あきたこまち」などで作る米粉パンがべたべたの食感であるのに対し、さらっとした小麦粉パンらしい食感が得られる。このように、「あきたばらり」、「あきたさらり」を使うことで、これまでの米の加工品とは異なる食感を提供できると考えている。筆者らが自ら設立した秋田県立大学発ベンチャー(株)スターチテックから、「あきたばらり」の精米と、「あきたさらり」を混合した乾麺「ゆりの舞」が販売されている。

2-2. 「まんぶくすらり」の育成

2019年12月に品種登録出願(第34394号)し、2020年4月に公表となった「まんぶくすらり」は、SSIIIaに加えて、枝作り酵素(BE) IIbが欠損した二重変異体 #4019 (*ss3a be2b*)⁴⁾を「秋田63号」と戻し交配した系統である。BEIIb欠損変異体は、アミロペクチンの短鎖が激減し、強い難糊化性を示すことが知られていた。また、アミロペクチン合成が強く阻害されることから、アミロース含量が増加する⁵⁾。#4019は、驚くことに、両親変異体よりもアミロース含量が劇的に増加し、BEIIb欠損変

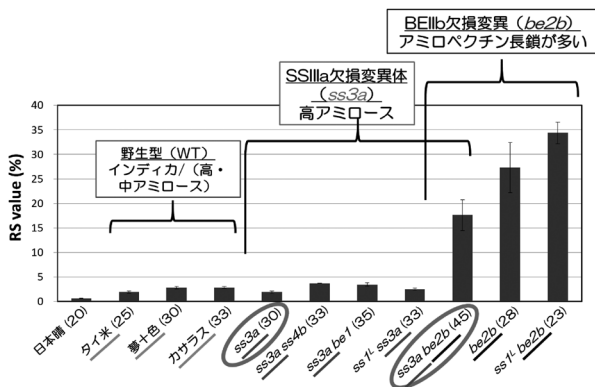


図1. 高アミロース性を示す変異体とインディカ米のRS含量 (炊飯米をすり潰さずにメガザイム RS assay kit で測定). () 内はみかけのアミロース含量 (%) を示す. 丸印の *ss3a* は「あきらばらり」, 「あきたさり」, *ss3a be2b* は「まんぷくすらり」の元変異体を示す. Tsuiki et al., 2016 より.

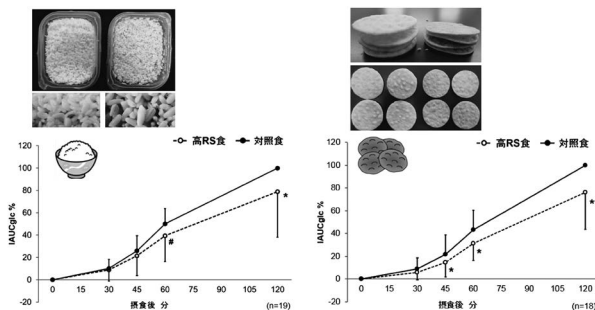


図2. 高RS米 #4019 (*ss3a be2b*) のパック米飯および米菓を用いた単回摂取ヒト試験による血糖値上昇抑制効果の検証. Saito et al., 2020 より.

異体の性質を受け継ぎ、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ていた。我々が開発した高アミロース性やアミロペクチンの長鎖が増加した変異体やインディカ米の炊飯米のレジスタントスターチ (RS) 含量を測定したところ、インディカ米や、高アミロース変異体では対照となる米 (日本晴) と比べて RS 含量が高いことが明らかとなったが、これらよりも突出して高い RS 含量を示したのが BEIIb が欠損した変異体系統であった⁶⁾ (図1)。#4019 は、通常の米と比べて 10 倍程度 RS 含量が高く、種子重量も野生型の 8 割を維持していたため、超多収米の「秋田63号」と戻し交配することで「まんぷくすらり」を育成した。#4019 の精米を使って作成したパック米飯と米菓を用いて、単回摂取ヒト試験を行ったところ、野生型 (日本晴) の精米で作成したパック米飯および米菓と比べて食後の血糖値が有意に低いという結果が得られた⁷⁾ (図2)。このことから、#4019 と澱粉構造がほぼ同一の「まんぷくすらり」は、糖尿病やその予備軍で糖質制限が必要な方々の食事に有効である可能性が示された。レジスタントスターチは、血糖値上昇抑制以外にも、整腸作用なども動物実験、ヒト試験で証明されており、多岐にわたる機能が期待できる。一方、「まんぷくすらり」は、白ご飯の食味が劣る欠点がある。これは、難消化性を示す澱粉構造であるアミロペクチンの長鎖やアミロースが多いため、澱粉が老化しやすいことが原因である。我々は、食品企業等との共同研究を通じて、この米の加工

方法やレシピ開発を行い、機能性があり、より美味しい食品の開発を目指している。

おわりに

以上のように、我々は独特の食感や機能性を備えたこれまでになかった新しいタイプの米を開発してきた。我々が開発した米は、もともと基礎研究から生まれたものであり、高アミロースや高RSとなった科学的根拠やその澱粉構造も解明済みの品種育成となった。これらを用いた新商品開発を通じた、糖尿病患者および予備軍の糖質制限食の普及を目指すことで中小食品会社を活気づけると同時に、主食用米とは異なるユニークな米の普及により米の需要低下を食い止め、稲作農家を活気づけたいと考えている。

(引用文献)

- 1) Fujita N. Starch biosynthesis in rice endosperm. (Review), *Agri-Bioscience Monographs*, Vol. 4, p 1-18, (2014)
- 2) Fujita N, Yoshida M, Kondo T, Saito K, Utsumi Y, Tokunaga T, Nishi A, Satoh H, Park J-H, Jane J-L, Miyao A, Hirochika H, Nakamura Y. Characterization of SSIIa-deficient mutants of rice (*Oryza sativa* L.); the function of SSIIa and pleiotropic effects by SSIIa deficiency in the rice endosperm. *Plant Physiology*, Vol. 144, p 2009-2023, (2007)
- 3) 藤田直子, 立木芳, 追留那緒子, 阿部美里, クロフツ尚子, 川本朋彦, 小玉郁子, 加藤和直, 佐藤健介, 高橋竜一, 伏見力. 新規澱粉米品種の育成に向けて~BC₂F₃種子およびBC₂F₂植物の解析~秋田県立大学ウェブジャーナル B, Vol. 1, p 7-11 (2014)
- 4) Asai H, Abe N, Matsushima R, Crofts N, Oitome NF, Nakamura Y, Fujita N. Deficiencies in both starch synthase (SS) IIIa and branching enzyme IIb lead to a significant increase in amylose in SSIIa inactive japonica rice seeds. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 65, p 5497-5507, (2014)
- 5) Nishi A, Nakamura Y, Tanaka N, Satoh H. Biochemical and genetic analysis of the effects of *amylose-extender* mutation in rice endosperm. *Plant Physiology*, Vol. 127, p 459-472, (2001)
- 6) Tsuiki K, Fujisawa H, Itoh A, Sato M, Fujita N. Alterations of starch structure lead to increased resistant starch of steamed rice: identification of high resistant starch rice lines. *Journal of Cereal Science*, Vol. 68, p 88-92, (2016)
- 7) Saito Y, Watanabe T, Sasaki T, Watanabe K, Hirayama M, Fujita N. 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. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, Vol. 84, p 365-371 (2020)

謝辞 この度は、日本農芸化学会女性研究者賞の受賞にあたり、選考委員会の先生方初め関係者に厚く御礼申し上げます。また、3品種の開発に携わった秋田県立大学生物資源科学部のクロフツ尚子博士、追留那緒子研究員はじめ、中村保典名誉教授、研究員、修了生、卒業生の皆様、品種育成やヒト試験に関して、資金を援助いただいた生研支援センターと研究分担者の皆様、品種育成の親変異体をご提供いただいた九州大学農学研究院の佐藤光名誉教授、品種登録申請でご協力いただいた秋田県農業試験場作物部の皆様、元国際農林水産業研究センターの伏見力様、加工食品の開発でご尽力いただいた企業様、委託栽培でご協力いただいている農業法人、農家の皆様、その他、私の研究や開発に関わったすべての方々へ厚くお礼申し上げます。