

サツマイモ低温糊化性でん粉の遺伝様式と簡易判定法

農研機構 次世代作物開発研究センター
畑作物研究領域 主席研究員

かたやま けんじ
片山 健二

1 はじめに

サツマイモは、近年通常品種よりでん粉の糊化開始温度が20℃程度低い低温糊化性でん粉品種「クイックスweet」や「こなみずき」が育成され、そのでん粉はゲルの耐老化性に優れることから、食品への利用が期待されている。サツマイモは、塊根内の β -アミラーゼが加熱調理で糊化したでん粉を分解して麦芽糖を生成し、甘味が増すという働きを持っている。低温糊化性でん粉を含む「クイックスweet」の塊根は、電子レンジ調理でもでん粉が速く糊化して麦芽糖ができるため、比較的甘味があり食味が良く、通常の蒸しいも調理でも高い麦芽糖含量を示し、ビタミンCの残存率も高い¹⁾。さらにでん粉が糊化しやすいため、干しいも加工にも適する。また近年の蒸しいも糖度に影響する要因解明の研究により、 β -アミラーゼ活性が一定以上高い品種系統では、でん粉の糊化開始温度が低い品種系統の方が、蒸しいもの麦芽糖含量が高くなることがわかった²⁾。以上のように、でん粉の糊化開始温度は、サツマイモの加工利用の面で様々な影響を及ぼす重要な特性であることが明らかとなっている。そこで、でん粉の糊化温度が低いサツマイモ品種を育成するために役立つ基盤的な情報と

して、低温糊化性でん粉の遺伝様式とその簡易判定法について紹介する。

2 サツマイモ低温糊化性でん粉の遺伝様式

サツマイモは、生存に必要な最小限の染色体（ゲノム）が15本1組で、ほぼ同じ6組のゲノムを持つ同質6倍体であり、合計で $15 \times 6 = 90$ 本の染色体を持つ。さらに同じ品種系統同士で交配しても結実しない自家不和合性を示す。これらからサツマイモは、遺伝実験の交配後代の分離比が複雑になり、遺伝様式の解明が難しい作物といえる。実験では「クイックスweet」とその交配後代系統、および一般的な品種系統を交配親として供試し、各種組み合わせで交配種子を得た。交配種子は春に苗床に播種し、成長した苗を圃場へ移植し、秋に個体毎に塊根を収穫した。低温糊化性でん粉は、そのでん粉粒に亀裂が見えるという特徴があり、塊根を収穫した交配後代は塊根でん粉の亀裂の観察、およびラピッドビスコアナライザー（RVA）による糊化開始温度（でん粉濃度7%）を調査した。サツマイモは他殖性の栄養繁殖作物で、交配後代はその雑種第1代（F1）で形質が分離するため、交配後代の分離比の適合度検定はすべてF1で行った。

「クイックスイート」のような糊化開始温度が55℃程度の低温糊化型と通常の野生型との交配後代は、糊化開始温度が54～77℃の範囲に広く分布し、63～64℃の間が分布の谷間となり、54～64℃の低温糊化型の個体群と64～77℃の野生型の個体群に分離するか、すべて野生型となる傾向がみられた。一方、両親が低温糊化型同士の組み合わせでは、交配後代はすべて低温糊化型となった。そこで、サツマイモは同質6倍体であるので、低温糊化型は1対の劣性遺伝子がホモ型になった時に発現すると仮定した。すなわち、その遺伝子を *spt* (略称: *s*) とした場合、低温糊化型の遺伝子型は *ssssss* となり、優性遺伝子 *Spt* (*S*) が一つでも入ると野生型となる。この仮説で想定される主な交配親の遺伝子型とその交配後代の分離比を表1に示した。野生型と低温糊化型 (*ssssss*) の交配では、野生型親の遺伝子型が *Ssssss*、*SSssss*、*SSSsss* の場合は、交配後代で野生型：低温糊化型がそれぞれ 1：1、4：1、19：1 の分離比で出現するが、野生型親の優性遺伝子 *S* の数が4つ以上だと交配後代に低温糊化型は出現しなくなる。

遺伝実験を行った主な交配組み合わせの

F1の分離を表2に示した。これらの結果は仮説の期待値とよく適合し、低温糊化性でん粉には1対の劣性遺伝子 (*spt*) が関与していることが推定された。また図1に示したように、遺伝実験に用いた品種系統の推定遺伝子型とその糊化開始温度との比較から、優性遺伝子の数が増えるにともなって、でん粉の糊化開始温度が高くなるという遺伝子の量的効果がみられた³⁾。

以上のように、サツマイモでん粉の糊化温開始度はその品種系統が持つ *spt* 遺伝子型により影響されると考えられる。*spt* 遺伝子型が不明の品種系統は、低温糊化型との交配後代における低温糊化型と野生型の分離比を調べることにより、遺伝子型を推定できる。さらに *spt* 遺伝子型が明らかな両親間の交配後代では各遺伝子型 (*ssssss*～*SSSSSS*) の出現率が推定できるため、育種家が遺伝学に基づいた交配組み合わせを設計することが可能である。

3 低温糊化性でん粉の簡易判定法

低温糊化性でん粉品種の育成を効率的に行うためには、遺伝様式の解明に加えて、品種改良の初期世代で多数の交配後代から低温糊化性でん粉を含む系統を簡易に識別

表1 同質6倍体における交配親遺伝子型と交配後代の分離比の例

両親の遺伝子型	交配後代の遺伝子型の分離比	交配後代の表現型の分離比 (野生型：低温糊化型)
<i>ssssss</i> × <i>ssssss</i>	<i>ssssss</i>	0：1
<i>Ssssss</i> × <i>ssssss</i>	1 <i>SSssss</i> ：1 <i>ssssss</i>	1：1
<i>SSssss</i> × <i>ssssss</i>	1 <i>SSssss</i> ：3 <i>SSssss</i> ：1 <i>ssssss</i>	4：1
<i>SSSsss</i> × <i>ssssss</i>	1 <i>SSSsss</i> ：9 <i>SSssss</i> ：9 <i>SSssss</i> ：1 <i>ssssss</i>	19：1
<i>SSSSss</i> × <i>ssssss</i>	1 <i>SSSSss</i> ：3 <i>SSssss</i> ：1 <i>SSssss</i>	1：0
<i>SSSSSs</i> × <i>ssssss</i>	1 <i>SSSSss</i> ：1 <i>SSssss</i>	1：0
<i>SSSSSS</i> × <i>ssssss</i>	<i>SSSSss</i>	1：0
<i>Ssssss</i> × <i>Ssssss</i>	1 <i>SSssss</i> ：2 <i>SSssss</i> ：1 <i>ssssss</i>	3：1

表2 交配後代におけるでん粉の低温糊化性の分離および両親の推定遺伝子型

交配組合せ		糊化開始温度 (°C)		F ₁ の分離		期待値		推定遺伝子型	
母本	父本	母本	父本	野生	低温糊化	+ : -	χ^2	P 値	母本 父本
クイックスイート	99L03-1	56.9	60.2	0	20	0 : 1			ssssss ssssss
99L04-13	クイックスイート	57.8	56.9	0	27	0 : 1			ssssss ssssss
九系97230-5	クイックスイート	68.8	57.8	26	27	1 : 1	0.019	0.891	Ssssss ssssss
クイックスイート	九系00214-3	57.8	67.7	24	23	1 : 1	0.021	0.884	ssssss Ssssss
農林5号	クイックスイート	72.5	56.7	41	9	4 : 1	0.125	0.724	SSssss ssssss
クイックスイート	宮農36号	56.8	70.5	39	9	4 : 1	0.047	0.829	ssssss SSssss
クイックスイート	ダイチノユメ	56.7	73.4	60	4	19 : 1	0.211	0.646	ssssss SSssss
サツマスターチ	クイックスイート	74.2	56.9	48	2	19 : 1	0.105	0.746	SSssss ssssss
ベニアズマ	99L03-1	75.7	60.8	46	3	19 : 1	0.130	0.718	SSssss ssssss
九州127号	九系97230-5	67.0	69.5	40	13	3 : 1	0.006	0.937	Ssssss Ssssss
九州127号	九系00214-3	67.0	67.7	42	11	3 : 1	0.509	0.475	Ssssss Ssssss
九州127号	農林5号	66.1	72.5	42	8	9 : 1	2.000	0.157	Ssssss SSssss
シロユタカ	クイックスイート	75.4	56.7	191	0	1 : 0			≥ SSSS ssssss
クイックスイート	コガネセンガン	57.5	75.6	65	0	1 : 0			ssssss ≥ SSSS

注) $\chi^2 < 3.841$, $P > 0.05$ の場合、期待値と適合している。

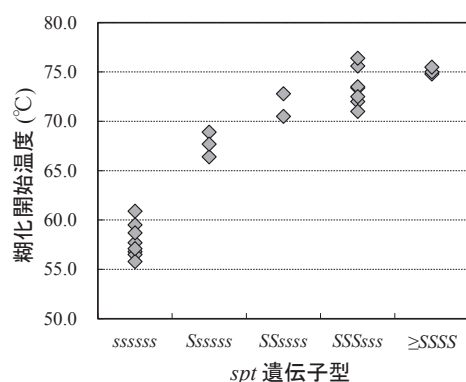


図1 でん粉の低温糊化性の遺伝子型と糊化開始温度の関係

して選抜する必要がある。塊根からでん粉を採取し、RVAで糊化開始温度を測定する方法では1回の測定に30分程度の時間がかかり、多数の交配後代からの選抜に利用することは現実的ではない。そこで、低温糊化性でん粉を簡易に判定する方法の開発に取り組んだ。

まず、糊化温度が低いでん粉はアルカリ水溶液に溶けやすいという特性（アルカリ崩壊性）を利用し、簡易判定に用いる試料はでん粉および塊根乾燥切片とした。供試

材料には、RVAによるでん粉の糊化開始温度が約70°C以上の通常型、約60°C以下の低温糊化型およびその中間型に分けた3タイプの品種系統を用いた。試料50mgを異なる濃度のKOH水溶液2 mlに24°Cで20時間浸漬した後、崩壊程度の違いを観察し、糊化開始温度の異なる品種系統を識別できるKOH濃度を調査した。

でん粉が試料の場合、崩壊程度の基準を1：全く不溶、2：少し膨潤、3：大きく膨潤するが不透明、4：透明に溶解、の4段階とした。異なる3タイプの品種を用いKOH水溶液の濃度を検討した結果、1.2～1.3%のKOH濃度で試料の崩壊程度が、通常型が1、中間型が2～3、低温糊化型が4に識別できた。そこで、KOH濃度1.25%とし、3タイプを混合した13品種系統を用いて、糊化開始温度と試料の崩壊程度を調査した結果、1%水準の有意な相関を示し、崩壊程度から3タイプを識別することができた。調整が容易な塊根乾燥切片が試料の場合、崩壊程度の基準を1：全く不溶、2：

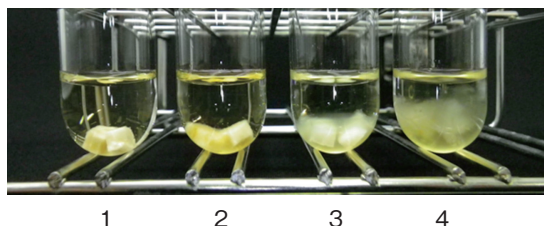


図2 塊根乾燥切片を1.7%水酸化カリウム水溶液に浸漬したアルカリ崩壊性の程度

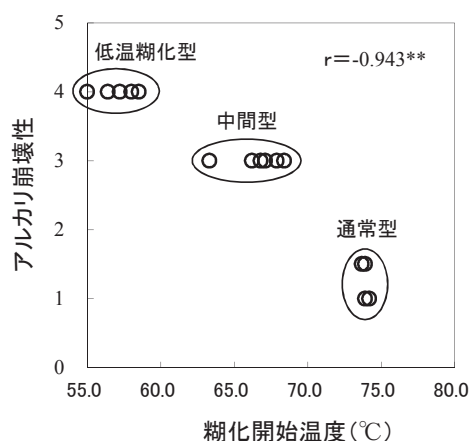


図3 塊根乾燥切片のアルカリ崩壊性と糊化開始温度の関係

周辺が少し膨潤、3：周辺が少し溶解するが内部は不透明、4：透明に溶解、の4段階とした（図2）。上記と同様にKOHの濃度を検討した結果、1.7%のKOH濃度で3タイプの識別が最も容易であった。KOH濃度1.7%とし、15品種系統で調査した結果、糊化開始温度と崩壊程度の上に1%水準の有意な相関がみられ、3タイプを識別することができた（図3）⁴⁾。

以上のように、でん粉では1.25%、塊根乾燥切片では1.7%のKOH水溶液2mlに24℃で20時間浸漬した試料の崩壊程度を観察することにより、低温糊化性でん粉、中間型および通常型の3タイプを識別できる簡易判定法を開発した。この簡易判定法は、RVAによるでん粉の糊化開始温度測定に

比べて、5倍以上の効率で低温糊化性でん粉の識別が可能である。なお、でん粉は崩壊性の識別が容易であるが、試料の採取・調整のために塊根乾燥切片より多くの労力と3日以上にかかる。塊根乾燥切片は生塊根の乾物率（切干歩合）を測定する際にできるものを流用可能で、採取・調整は2日ですむため、塊根乾燥切片を試料とした簡易判定法の方が育種の現場ではより効率的である。

4 まとめ

低温糊化性でん粉は劣性形質であるため、交配後代における出現率が低く、品種改良を効率的に行うことが困難であったが、これまでに紹介した低温糊化性でん粉の遺伝様式とその簡易判定法を利用することにより、低温糊化性でん粉品種の育成を効率化できる。糊化開始温度が低いでん粉を含む品種は、蒸しいもの麦芽糖含量が高くなることが期待され、高糖度品種の育成にもつながる。また、サツマイモの低温糊化性でん粉は可溶性でん粉合成酵素Ⅱ型の働きが阻害されることにより生じることが明らかになっており、今後はこの酵素のDNAマーカー選抜法の開発が期待される。

引用文献

- 1) 中村善行ら、日本食品科学工学会誌63 (10)：433-438 (2016)
- 2) 中村善行ら、日本食品科学工学会誌61 (12)：577-585 (2014)
- 3) Kenji Katayama *et al.* Breeding Science 65 (4)：352-356 (2015)
- 4) 片山健二ら、育種学研究 15 (別2)：243 (2013)