

サツマイモの甘さや食感とでん粉の糖化

農研機構 次世代作物開発研究センター
企画管理部

なかむら
中村
よしゆき
善行

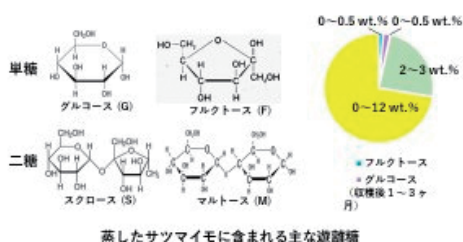
1 はじめに

甘さと食感はサツマイモの主要な食味要素で、用途適性にも関わる。サツマイモを加熱調理すると、糊化したでん粉がβ-アミラーゼにより加水分解されてマルトース（麦芽糖）が多量に生成し、特有の甘さが形成される。一方、でん粉含量が高いものはホクホクした食感を示すが、加熱調理に伴うマルトース生成量が多いとでん粉含量が大きく低下してネットリした食感に変化しやすい。このように、サツマイモの甘さと食感にはでん粉のマルトースへの分解（糖化）が深く関与している。講演では、

蒸したサツマイモのマルトース生成に対するβ-アミラーゼ活性やでん粉糊化温度の影響、食感の違いとマルトース生成との関連などについて話題提供を行った。

2 蒸したサツマイモの甘さとでん粉の糖化

マルトースはスクロースとともにサツマイモの甘さに関わる主要な遊離糖類である（図1）。その甘みの強さはスクロースの約1/3に過ぎないが、含量は数倍高いことから、甘さに対する両者の寄与は同程度である。特に、スクロース含量の低い収穫後



●糖度：糖溶液の濃度（糖度）の簡易な測定には屈折率糖度計が多用される。本来は、光の屈折率に基づいてスクロース溶液（20℃）の濃度を測定する機器であるが、表示される値（Brix糖度）は糖度の目安として広く利用されている。



屈折率糖度計
（表示されている糖度は4倍希釈された数値）

●甘味度：甘味物質の甘みの強さ。物質や温度により異なる。スクロースの甘さを基準（1.0）に表す。

遊離糖	甘味度（40℃）
グルコース	0.5~0.6
フルクトース	1.0~1.1
スクロース	1.0
マルトース	0.3~0.4

マルトースの甘味度はスクロースの約1/3

各遊離糖の含量にそれぞれの甘味度を乗じて足し合わせた値は、甘さの官能評価との相関が高いことが報告されている。

$$\text{甘味値} = \text{グルコース含量} \times 0.56 + \text{フルクトース含量} \times 1.05 + \text{スクロース含量} \times 1.0 + \text{マルトース含量} \times 0.35 \quad (40^\circ\text{C})$$

蒸した遊離糖組成の3類型

図1 サツマイモの糖分、糖度（Brix%）、甘味度

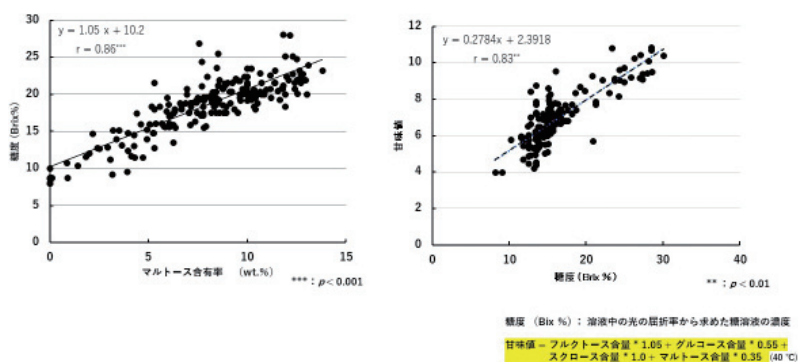


図2 収穫後1～3ヶ月のサツマイモを蒸した時の糖度とマルトース含有率および甘味値

1～3ヶ月の塊根ではマルトースが加熱調理されたサツマイモの甘さの主体と考えられる。実際、このような塊根を蒸した時の糖度（屈折率糖度計で測定）は、マルトース含量の増加に伴って直線的に上昇し、また、蒸した塊根に含まれる主な遊離糖類であるグルコース、フルクトース、スクロース、マルトースの含量をそれぞれの甘みの強さを重み付けして足し合わせた甘味値（甘さの食味評価と相関が高いことが知られている）と高い相関を示した（図2）。

そこで、蒸しいも重量当たりのマルトース含量と未加熱塊根の β -アミラーゼ活性（マルトース生成量（mmol）／反応時間（min）／粗酵素液のタンパク質量（mg））を調査した。「ベニアズマ」、「高系14号」、「タマユタカ」、「べにはるか」等の食用（青果用および干しいも用）主力品種の殆どの塊根ではマルトース含量が7～13%（w/w）、 β -アミラーゼ活性が0.15～0.35 mmol maltose/min/mg proteinであった。一方、選抜前期世代に相当する育種素材や育成系統の多くの塊根では β -アミラーゼ活性が0.1 mmol maltose/min/mg protein以下、マルトース含量が6%以下であった。蒸しいものマルトース含有率と未加熱塊根

の β -アミラーゼ活性との関係を調べると、活性が低い（ ≤ 0.2 mmol maltose/min/mg protein）塊根では活性の上昇に伴ってマルトース含量が増加したが、 β -アミラーゼ活性が高い（0.2 mmol maltose/min/mg protein）塊根のマルトース含有率は活性の上昇に応じて増加しなかった（図3左）。このような塊根では β -アミラーゼ活性以外の要因がマルトース生成量に影響を及ぼすと考えられた。 β -アミラーゼは未糊化のでん粉を殆ど分解しないので、マルトース生成にはでん粉の糊化が前提になる。そこで、でん粉糊化特性がマルトース生成に及ぼす影響を調べた結果、塊根から単離したでん粉の糊化開始温度とその塊根を蒸した時のマルトース含量との間には負の相関関係（ $r = -0.526^{***}$ ）が認められた（図3右）。特に、 β -アミラーゼ活性が高い（0.2 mmol maltose/min/mg protein）塊根では糊化温度とマルトース含有率との相関係数が有意に高く、また、 β -アミラーゼ活性が同程度の塊根同士では糊化温度が低い方がマルトース含有率は高い傾向が認められた。すなわち、蒸したサツマイモのマルトース含量には β -アミラーゼ活性に加えてでん粉糊化温度

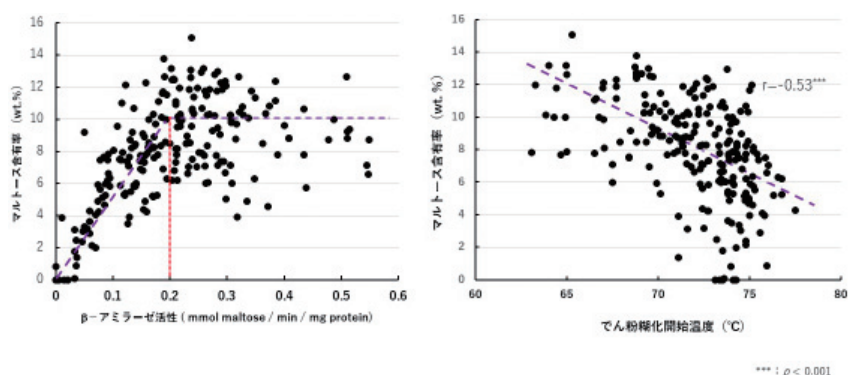


図3 蒸したサツマイモのマルトース含有率 (wt.%) に及ぼす β -アミラーゼ活性およびでん粉糊化開始温度の影響
(2012、2013年 n = 221) (日本食品科学工学会誌 61: 577-585を改変)

が影響すると考えられた。

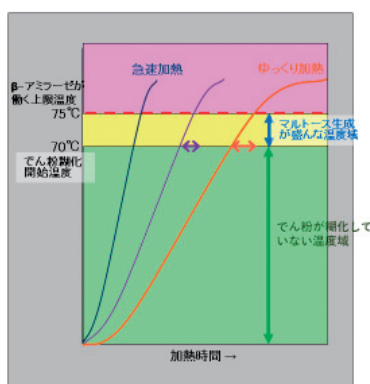
通常品種のサツマイモでは、でん粉の糊化温度は約70℃である。一方、 β -アミラーゼは温度が50℃より高くなるに従って活性が低下し、75～80℃に達するとほとんど失活する。したがって極論すれば、 β -アミラーゼによって糊化でん粉からマルトースが盛んに生成する温度域は70～75℃の狭い範囲に限られる。そのため、塊根の温度上昇が早すぎると十分にマルトースが生成されず、甘さが不足する。逆に、石焼きや壺焼きによる加熱は蒸し加熱に比べて塊根の温度上昇が緩やかなので上記温度

域に曝される時間が長く、マルトース生成量が多くなる (図4左)。また、でん粉糊化温度が通常品種に比べて低い「クイックスweet」などの品種ではマルトース生成温度域が広がる結果、生成量が増すうえに、電子レンジなどで急速に加熱してもマルトース生成期間が確保されて一定の甘さが得られる (図4右)。

3 蒸したサツマイモの食感とでん粉の糖化

加熱調理されたサツマイモの食感、水気の少ないホクホクと水が多いネトリ

一般的な品種のでん粉は70℃前後で糊化する。 β -アミラーゼ活性の上限温度は約75℃なので、マルトース生成が活発な温度域は約70～75℃と狭い。



でん粉糊化開始温度が低下すると、マルトース生成が活発な温度域が拡大し、生成量が増加する。

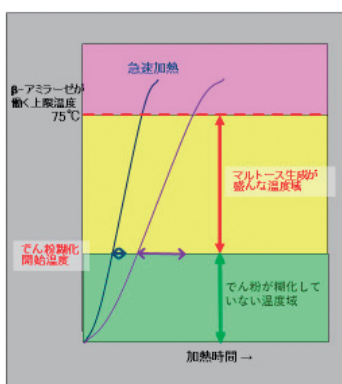


図4 サツマイモにおけるでん粉の糊化とマルトースの生成

とに大別される。食感に関わるいもの特性を肉質と言い、ホクホクした食感に対応した肉質を粉質（ふんしつ）、ネットリした食感に対応した肉質を粘質（ねんしつ）と呼ぶ。肉質と関連が深い塊根成分としては生いものでん粉含量が従来から知られており、含量が高いとホクホクした食感を呈する、すなわち肉質が粉質になる傾向がある。しかし、蒸しいものの食感の違い（ホクホク、ややホクホク、中間、ややネットリ、ネットリ）に基づいて5つに分けた塊根集団の中にはそれらの平均でん粉含量に統計的な有意差が認められないサンプルがあった。また、 β -アミラーゼ活性を殆ど持たない品種では、でん粉含量に関わらず肉質は粉質傾向であった。これらの結果は、蒸しいものの肉質の違いが生いものでん粉含量によって一義的に決まらないことを示唆している。

生いものに含まれるでん粉は、加熱調理の過程で β -アミラーゼによって一部がマルトースに加水分解される結果、その含量が低下する。したがって、加熱調理後のでん粉含量は生いものにおける含量だけではなく、マルトース生成量を考慮する必要がある。でん粉分解率（（生いものでん粉含量

－蒸しいものでん粉含量）／生いものでん粉含量 $\times 100$ ）は生いもの β -アミラーゼ活性と高い正の相関（ $r = 0.77^{***}$, $n = 34$ ）を示し（図5）、 β -アミラーゼ活性が高いほどマルトース生成量が増える結果、でん粉分解率が高くなると考えられた。 β -アミラーゼ活性レベルの異なるサツマイモ品種におけるでん粉分解率を調べると、「べにはるか」などの高活性品種における分解率では約51%であったが、中活性品種（「高系14号」など）および極低活性品種（「オキコガネ」など）における分解率はそれぞれ約41%、約1.0%であった（表

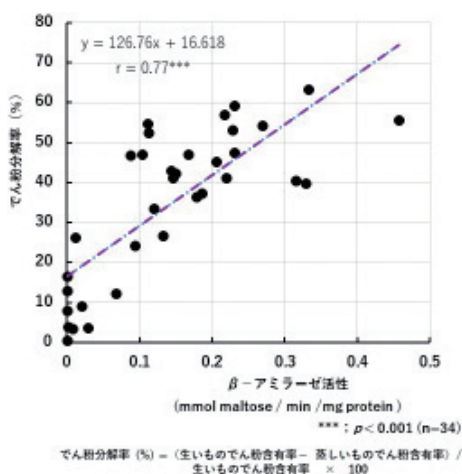


図5 蒸しいものでん粉分解率に対する β -アミラーゼ活性の影響

表1 β -アミラーゼ活性レベルの異なるサツマイモ品種群における未加熱塊根の β -アミラーゼ活性ならびに蒸した塊根のマルトース含有率およびでん粉分解率

供試試料*	β -アミラーゼ活性 ⁺ (mmol maltose/min/mg protein)	マルトース含有率 ⁺ (wt.%)	でん粉分解率 ⁺ (%)
高活性品種群 (12)	0.283 $\pm$ 0.073 ^a	11.29 $\pm$ 2.70 ^a	51.19 $\pm$ 8.45 ^a
中活性品種群 (11)	0.139 $\pm$ 0.037 ^b	7.25 $\pm$ 2.20 ^b	41.31 $\pm$ 8.89 ^b
極低活性品種群 (11)	0.0126 $\pm$ 0.022 ^c	0.13 $\pm$ 0.037 ^c	0.92 $\pm$ 2.43 ^c

*：高活性品種：「べにはるか」（7）、「ひめあやか」（5）。

中活性品種：「高系14号」（6）、「タマユタカ」（5）。

極低活性品種：「オキコガネ」（7）、「サツマヒカリ」（4）

（ ）内は供試数。

＋：同じ列の異なる英小文字を付した数値間には5％水準の有意差がある

1)。蒸しいものでん粉残存率（蒸しいものと生いものでん粉含量の比）を調べると、高活性、中活性、極低活性品種で各々、約50%、約60%、約9%となり、上記分解率を反映した結果が得られた。生いもおよび蒸しいものでん粉含量と蒸したサツマイモの肉質との関係を調べると、生いもと異なり、蒸しいものでん粉含量は食感がホクホクからネットリに変化するに従って一様に低下した（図6）。蒸しいものの食感の違いは生いもよりも蒸しいものでん粉含量によって生じると考えられた（表2）。

4 おわりに

サツマイモの加熱調理に伴う糖度上昇に関わるマルトースの生成量は塊根の β -アミラーゼ活性の上昇に伴って増加するが、活性が閾値（約0.2 mmol maltose/min/mg protein）を超えると増加は抑制された。また、でん粉糊化温度はマルトース生成量との間に負の相関を示した。一方、蒸しいものの食感（肉質）の違いは生いもよりも蒸しいものでん粉含量と高い相関を示した。 β -アミラーゼ活性が高く、マルトース生

成量が多い品種では、蒸すことによってでん粉含量が約50%低下し、食感がホクホクからネットリ方向に変化しやすかった。他方、同活性が極めて低い品種では蒸した後もでん粉含量が殆ど低下せず、ホクホクした食感が維持された。加熱調理したサツマイモの食感（肉質）の違いにはでん粉含量とともに β -アミラーゼによるでん粉の糖化分解が関わると考えられた。以上のように、サツマイモの食味要素である甘さと食感には、 β -アミラーゼによるでん粉の糖化が関わっていた。

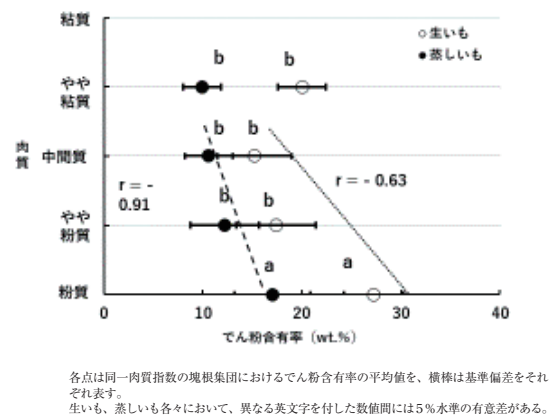


図6 蒸しいもの肉質といものでん粉含有率との関係
（日本食品科学工学会誌64：59-65を改変）

表2 β -アミラーゼ活性レベルの異なるサツマイモ品種の生いもおよび蒸しいものでん粉含有率と蒸しいもの肉質

	でん粉含有率 (wt.%)		蒸しいもの肉質
	生いも	蒸しいも	
高活性品種	23.32 ± 4.46	11.41 ± 3.26	やや粘質
中活性品種	17.26 ± 3.56	12.46 ± 3.26	中間質
極低活性品種	16.76 ± 5.36	15.06 ± 3.35	やや粉質

高活性品種：「べにはるか」、「ひめあやか」
中活性品種：「高系14号」、「タムユタカ」
極低活性品種：「オキコガネ」、「サツマヒカリ」
（日本食品科学工学会誌64：59-65を改変）