

## 蒸したサツマイモのマルトース生成に及ぼす $\beta$ -アミラーゼ活性とでん粉糊化温度の影響



農研機構 作物研究所 畑作物研究領域 上席研究員 中村 善行

### 1. はじめに

農研機構では作物研究所（茨城県つくば市）と九州沖縄農業研究センター都城研究拠点（宮崎県都城市）においてサツマイモの品種および利用技術の開発ならびに関連研究を行っている。現在の用途は約半分が食用である<sup>1)</sup>ため、食味や加工適性などの品質特性が重視されており、最近では、甘さを求める消費者嗜好を反映して高糖度品種<sup>2)</sup>が育成されている。

### 2. サツマイモの甘さに関わる糖分マルトースとその生成メカニズム

サツマイモの甘さに関わる主要な成分であるマルトースは、未加熱塊根には殆ど含まれず、加熱されて糊化したでん粉に $\beta$ -アミラーゼ（E.C.3.2.1.2, 1,4- $\alpha$ -D-glucan maltohydrolase）が作用することで生成する。したがって、本酵素の活性やでん粉糊化特性がマルトース生成に大きく影響すると考えられる。そこで、食用に留まらず、原料用品種・系統やそれらの交配選抜前期世代なども供試することで $\beta$ -アミラーゼ活性やでん粉糊化温度の変異幅を出来るだけ広くとり、これらのパラメータとマルトース生成量との関係を検討した<sup>3)</sup>。

### 3. マルトース生成に対する $\beta$ -アミラーゼの影響

蒸しいも糖度の目安となるBrix値<sup>4)</sup>（砂糖貿易で使われる20℃における屈折率に基づいたショ糖液の重量濃度）はマルトース含有率の増加に伴い約10Brix%から約25Brix%まで直線的に増加し（図省略）、糖度上昇はマルトース生成によると考えられた。そこで、蒸しいものマルトース含有率（蒸しいも重量当たりのマルトース重量で表した）と未加熱塊根の $\beta$ -アミラーゼ活性（未加熱塊根から抽出、調製した粗酵素液と糊化でん粉液との反応で生じたマルトースの反応時間minおよび酵素タンパク質量mg当たりの量m moleで表した）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有率が7～13%（w/w）、 $\beta$ -アミラーゼ活性0.15～0.35m mole maltose/min/mg ptotein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 $\beta$ -アミラーゼ活性が0.1m mole maltose/min/mg protein以下、マルトース含有率が6%以下であった。図1に全供試塊根における蒸しいものマルトース含有率と未加熱塊根の $\beta$ -アミ

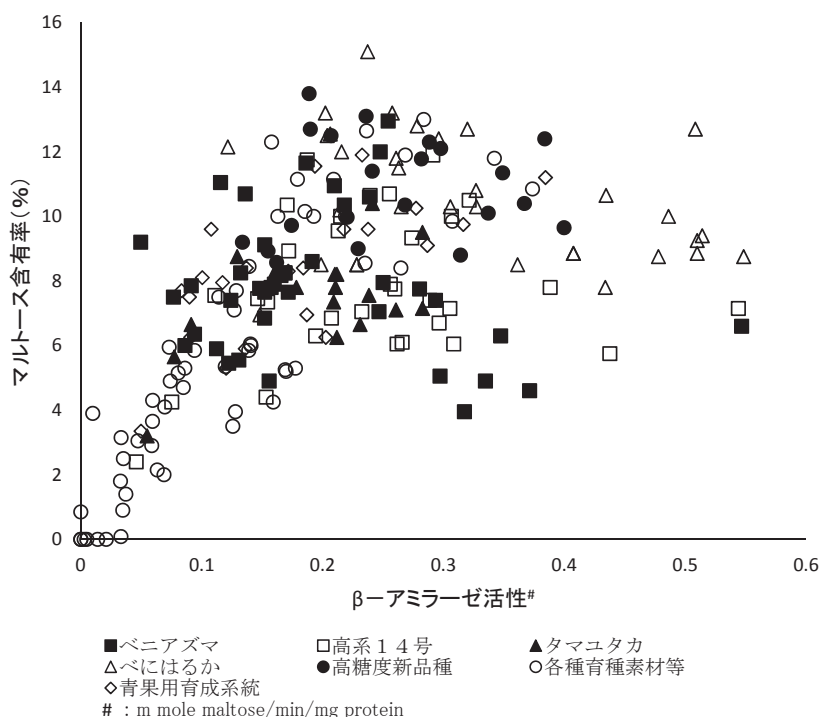


図1 蒸しもののマルトース含有率と未加熱塊根の $\beta$ -アミラーゼ活性との関係。  
 原図を改変 (2012, 2013年 n = 221)

ラーゼ活性との関係を示す。アミラーゼ活性が0～約0.2m mole maltose/min/mg proteinの範囲では活性の上昇に伴ってマルトース含有率が増加し、約10% (w/w) に達した。しかし、 $\beta$ -アミラーゼ活性が更に高くなってもマルトース含有率がそれに応じて増加することはなかった。また、 $\beta$ -アミラーゼ活性が同程度の塊根であってもマルトース含有率が大きく異なることも認められた。以上のことから、蒸しもののマルトース生成量は、 $\beta$ -アミラーゼ活性が低い(0～0.2m mole maltose/min/mg protein) 場合にはその活性に左右されるが、食用現行品種の正常な塊根の大半がそうであるような $\beta$ -アミラーゼ活性が高い(0.2m mole maltose/min/mg protein 以上) 場合には他の要因による少なからぬ影響を受けると考えられた。

#### 4. マルトース生成に対するでん粉糊化温度の影響

$\beta$ -アミラーゼは未糊化の生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。塊根からでん粉を単離し、その水懸濁液の粘度を温度を変えながら経時測定することででん粉の糊化温度(正確には糊化開始温度)を求めた。この温度は、低い方がでん粉が糊化しやすいと考えられ、品種間差(「ベニアズマ」で約75℃、「クイックスweet」で約55℃など)に加えて栽培環境等による影響も大きい。図2に塊根から単離したでん粉の糊化温度とその塊根を蒸した時のマルトース含有率との関係を示したが、両者の間には負の相関関係( $r = -0.526^{***}$ )が認められた。特に、 $\beta$ -ア

ミラーゼ活性が0.2m mole maltose/min/mg protein以上の塊根では、それより活性の低い塊根と比べ、糊化温度とマルトース含有率との相関係数が有意に高かった(図省略)。糊化温度と $\beta$ -アミラーゼ活性とは関連が認められなかった(図省略)ことから、両者は独立にマルトース生成に関与していると考えられた。そこで、 $\beta$ -アミラーゼ活性でマルトース含有率の違いを説明できない高活性(0.2m mole maltose/min/mg protein 以上)塊根の中から活性が同程度でもマルトース生成量が異なるいくつかの試料のでん粉糊化温度を調べると、 $\beta$ -アミラーゼ活性が同程度の塊根同士ではでん粉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(図3)。すなわち、蒸したサツマイモ塊根のマルトース含有率には $\beta$ -アミラーゼ活性に加えてでん粉糊化温度が影響すると考えられた。

## 5. 北海道産サツマイモのでん粉糊化温度とマルトース含有率

サツマイモは比較的低温に弱く、日本における経済的栽培の北限は福島県付近とされていたが、近年、地球温暖化の影響や品種改良の効果などから北海道でもサツマイモ生産が可能となりつつあり、関心が高まっている。北海道の農業試験研究機関でも道南、道央地域を中心に各地で栽培試験等が行われており、「ベニアズマ」等の現行品種の殆どについて本州産に比べ、同程度の収量が確保可能、肉質はより粘質で糖度はより高い、などの結果が得られている<sup>5)</sup>。そこで、北海道(函館市周辺と帯広市周辺)で栽培された「ベニアズマ」ならびに「べにはるか」の $\beta$ -アミラーゼ活性、でん粉含有率、でん粉糊化温度と蒸しいものマルトース含有率を茨城県南部(つくば市周辺)産のものと比較した(表1)。

北海道産(函館市周辺産と帯広市周辺産

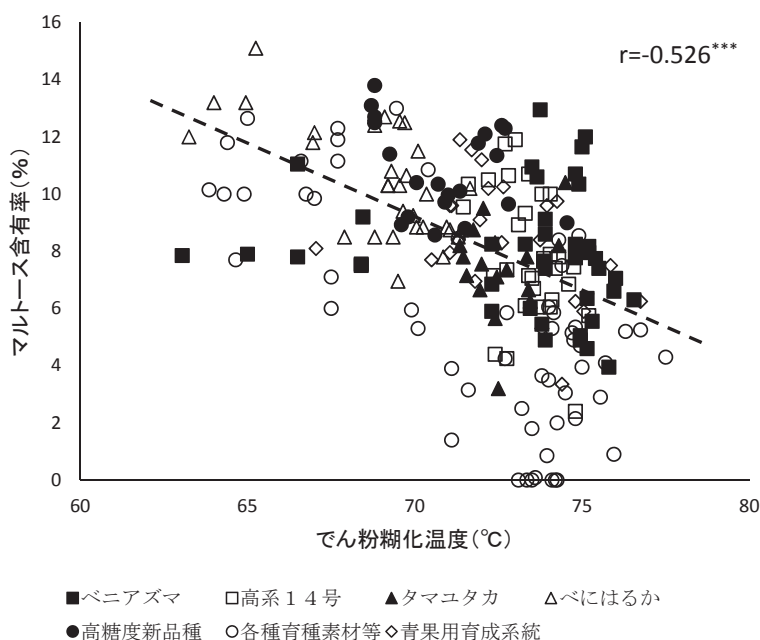


図2 蒸しいものマルトース含有率とでん粉糊化温度との関係。  
原図改変 (2012, 2013年 n=221)

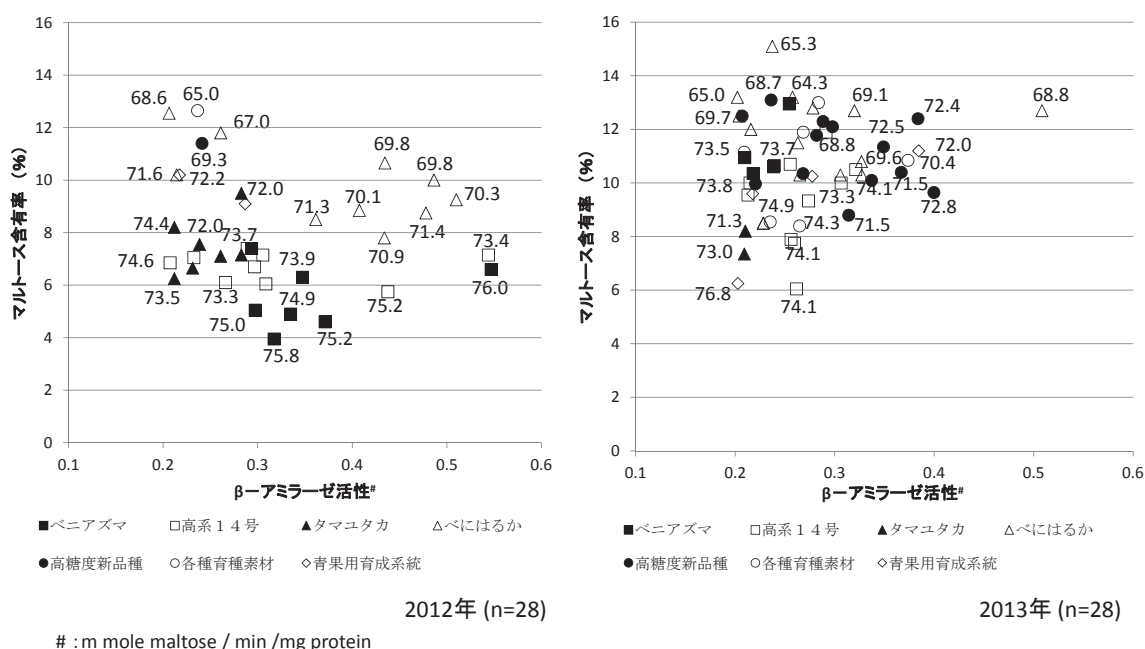


図3  $\beta$ -アミラーゼ活性が高い<sup>†</sup> 塊根におけるマルトース含有率とアミラーゼ活性との関係に及ぼすでん粉糊化温度の影響。

<sup>†</sup> : 0.2 ~ 0.55 m mole maltose / min / mg protein

プロット脇の数字は糊化温度を表す。

表1 北海道および茨城県南部で栽培された「ベニアズマ」ならびに「べにはるか」のマルトース含有率、 $\beta$ -アミラーゼ活性、でん粉含有率およびでん粉糊化温度。

| 品種名              | 栽培地 | 蒸しいもの<br>マルトース含有率<br>(%) | $\beta$ -アミラーゼ活性<br>(unit <sup>†</sup> ) | でん粉含有率<br>(%) | でん粉糊化温度<br>(℃) |
|------------------|-----|--------------------------|------------------------------------------|---------------|----------------|
| ベニアズマ<br>(n = 6) | 北海道 | 8.55 ± 1.36**            | 0.108 ± 0.044                            | 18.62 ± 3.36  | 66.3 ± 2.07*** |
|                  | 茨城県 | 6.23 ± 1.18              | 0.133 ± 0.031                            | 22.67 ± 2.04  | 73.2 ± 0.71    |
| べにはるか<br>(n = 4) | 北海道 | 13.4 ± 1.28*             | 0.228 ± 0.024                            | 20.12 ± 2.66  | 4.4 ± 0.91***  |
|                  | 茨城県 | 10.3 ± 1.28              | 0.281 ± 0.044                            | 20.87 ± 2.9   | 69.4 ± 0.54    |

\*、\*\*、\*\*\* は各々、北海道産と茨城県南部産との間に5%、1%、0.1%水準の有意差があることを示す。

<sup>†</sup> : unit = m mole maltose / min / mg protein

の平均)は茨城県南部産と比較して、でん粉含有率と $\beta$ -アミラーゼ活性は殆ど変わらなかったが、蒸しいものマルトース含有率が有意に高く、でん粉糊化温度は有意に低かった。特に「ベニアズマ」においては、マルトース含有率は2%以上高く、でん粉糊化温度は約7℃低く、産地間で顕著な差異が認められた。図4は北海道産と茨城県産の「ベニアズマ」塊根片を異なる温度で加熱した時の細胞内でん粉の糊化度を表す。70℃または80℃で加熱された塊根片の

糊化度はいずれの温度でも北海道産の方が茨城県産に比べて有意に高く、北海道産の塊根の方がでん粉が糊化しやすいことが確認された。栽培期間中の地温が低いとアミロペクチン側鎖にグルコース重合度の低い短鎖の構成割合が増えてでん粉の糊化温度が低下する<sup>6)</sup>が、北海道の栽培地における本試料の栽培期間(2013年6~10月)を通じた平均気温はつくば市周辺より約5℃低かった(気象庁のHP)ことから、地温の低下によってでん粉糊化温度が低下したと

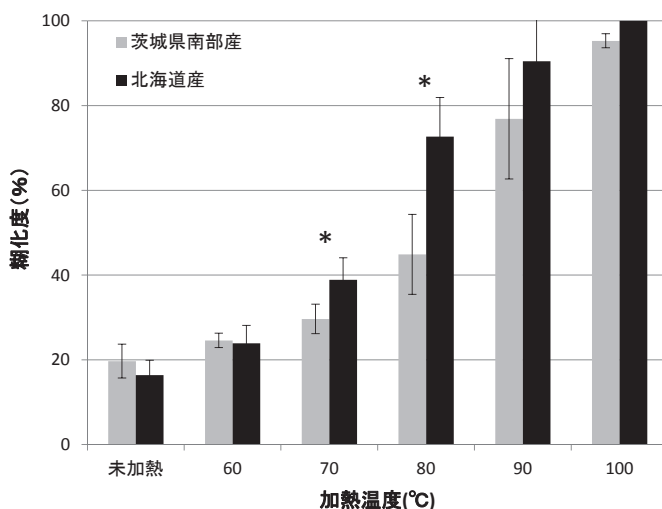


図4 北海道および茨城南部で栽培された「ベニアズマ」の加熱温度とでん粉糊化度との関係  
縦棒と縦線は各々、4回の実験における平均値と標準偏差を表す。

\*は茨城県南部産と北海道産の糊化度の間に5%水準の有意差が存在することを示す。

考えられた。すなわち、今回供試した北海道産の「ベニアズマ」および「べにはるか」の塊根では茨城県南部産の塊根と比べてでん粉が糊化しやすく、それにより、 $\beta$ -アミラーゼ活性は大差がなかったにも関わらず、マルトース生成量が有意に増加したと推察された。

## 6. おわりに

以上要するに、サツマイモを蒸した時のマルトース生成には塊根の $\beta$ -アミラーゼ活性とともにでん粉の糊化特性が関与することが明らかになった。本稿は筆者らによる論文（日本食品科学工学会誌第61巻p.577-585）に基づくもので、論文中の図、表は、いくつかを一部改変したうえで引用したが、紙面の都合上省略したものもある。それらは原著をご参照いただきたい。

## 謝辞

図、表の転載を許可いただいた日本食品

科学工学会に御礼を申し上げます。また、試料塊根を分譲いただいた北海道立総合研究機構道南農業試験場の高濱雅幹研究主任と農研機構北海道農業研究センター芽室研究拠点の石黒浩二上席研究員に感謝致します。

## 引用文献

- 1) 農林水産省生産局地域作物課、いも・でん粉に関する資料2013 (2013)
- 2) 高田明子、いも類振興情報116：9-13 (2013)
- 3) 中村善行ら、日本食品科学工学会誌、61：577-585 (2014)。
- 4) 高田明子、いも類振興情報123：51 (2015)。
- 5) 高濱雅幹、いも類振興情報120：38-42 (2014)。
- 6) Noda et al. Carbohydrate Polymer 44：239-246 (2001)。