

サツマイモを蒸した際のマルトース生成に及ぼす塊根の アミラーゼ活性およびデンプン糊化温度の影響

誌名	日本食品科学工学会誌 : Nippon shokuhin kagaku kogaku kaishi = Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology
ISSN	1341027X
著者名	中村,善行 藏之内,利和 高田,明子 片山,健二
発行元	日本食品科学工学会
巻/号	61巻12号
掲載ページ	p. 577-585
発行年月	2014年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



報 文

サツマイモを蒸した際のマルトース生成に及ぼす塊根の β -アミラーゼ活性およびデンプン糊化温度の影響

中村善行*, 藏之内利和, 高田明子, 片山健二

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 作物研究所

The Effects of β -Amylase Activity and Starch Pasting Temperature on Maltose Generation in Steamed Storage Roots of Sweet Potato

Yoshiyuki Nakamura*, Toshikazu Kuranouchi, Akiko Ohara-Takada and Kenji Katayama

NARO Institute of Crop Science, 2-1-18 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8518

The effects of β -amylase activity and starch pasting temperature on maltose generation in steamed sweet potato were investigated using various cultivars and breeding lines. The maltose content *per* fresh weight of steamed roots increased to about 10% (w/w) with β -amylase activity up to about 0.2 m mole maltose/min/mg protein, and maltose content was maintained at that level with activity up to 0.55 m mole maltose/min/mg protein. The maltose concentration showed a slight positive correlation ($r=0.38$) with the starch content of storage roots and a practically negative correlation ($r=-0.53$) with the starch pasting temperature, as measured by rapid visco analyzer (RVA). Neither the content nor the pasting temperature of starch showed any significant correlation with the β -amylase activity in roots. The influence of starch pasting temperature on the maltose concentration was more apparent in the storage roots with high β -amylase activity (0.2~0.55 m mole maltose/min/mg protein) than in those with low activity (0~0.2 m mole maltose/min/mg protein). The pasting temperature of starch isolated from the roots of "Beniazuma" and "Beniharuka" harvested in Hokkaido Prefecture was lower (about 6.9°C and 5.0°C, respectively) than in those harvested in Ibaraki Prefecture. The maltose concentration of steamed roots of the two varieties harvested in Hokkaido Prefecture was higher than those harvested in Ibaraki Prefecture; while the β -amylase activity of the roots harvested in Hokkaido was not higher than in those from the southern part of Ibaraki. These results suggested the importance of starch pasting temperature for maltose generation by heating in sweet potato, particularly in cultivars with high β -amylase activity. (Received Jul. 18, 2014; Accepted Aug. 25, 2014)

Keywords : sweet potato, maltose, β -amylase activity, starch pasting temperature

キーワード : サツマイモ, マルトース, β -アミラーゼ活性, デンプン糊化温度

サツマイモ (カンショ) はダイズやジャガイモ (パレイショ) などと並ぶ日本における主要な畑作物で, 近年の年間需給量は約 90 万トンである¹⁾。その用途の約半分は, 焼きいもや蒸しいもなどとして消費される青果用 (約 43%) と干しいもやペースト等に加工されて消費される加工食品用 (約 14%) である¹⁾ ことから, 食味, 加工適性, 貯蔵性などの品質特性が重視されている。特に最近, 甘さを求める消費者の嗜好を反映して高糖度の新品種がいくつも開発されている²⁾。

サツマイモの甘さに関わる主な糖質成分はフルクトース, グルコース, スクロース, マルトースであるが, なかでも, 後 2 者の占める割合が大きい。このうち, マルトースは, 未加熱塊根には殆ど含まれず³⁾, 加熱によって糊化したデンプンに β -アミラーゼ (E.C.3.2.1.2, 1,4- α -D-glucan

maltohydrolase) が作用することにより多量に生成する⁴⁾。したがって, デンプンの糊化特性や β -アミラーゼの活性が加熱調理後のマルトース生成量に大きく影響すると考えられる。実際, β -アミラーゼ活性を殆ど欠いたいくつかの品種では塊根を加熱してもマルトースが殆ど生成せず, 糖度が通常品種の 1/3 以下に留まる⁵⁾ ことや, 糊化温度が従来の品種・系統より約 20°C 低いデンプンを含む品種「クイックスイート」ではより早い加熱段階からマルトース生成が始まるなど⁶⁾ の結果として他の品種に比べて高い糖度が得られること等が知られている。しかし, マルトース生成量と β -アミラーゼ活性やデンプンの糊化温度との関係を定量的に調べた報告は殆どない。

そこで本研究では, 食用向けの品種・系統に留まらず, 収量性や病虫害耐性などの農業特性には優れているが食味

表1 供試材料とそれらの主な特徴

品種・系統等の名称など	主な特徴
ベニアズマ	東日本の青果用既存主力品種, 糖度は中～高 (Brix%=15~25)
高系14号	西日本の青果用既存主力品種, 糖度は中 (Brix%=16)
タムユタカ	干しいも原料用既存主力品種, 糖度は中 (Brix%=16)
べにはるか	「ベニアズマ」に代わる新品種として広まりつつあり, 糖度は高 (Brix%=24)
高精度新品種	「ひめあやか」, 「あいこまち」, 「関東132号」, 「ほしきらり」(干しいも原料用, デンプン糊化温度 約65℃); 糖度は高 (Brix%=24)
各種育種素材	低温耐性素材10種; 糖度は極低～高 (Brix%=10~25), 立ち型草姿素材5種; 糖度は低～中 (Brix%=10~20), β -アミラーゼ欠失2品種; 糖度は極低 (Brix%=10), 有色素2品種; 「パープルスイートロード」(アントシアニン含有), 「ヒタチレッド」(カロテン含有); 糖度はやや低い～中 (Brix%=12~20)
青果向け育成系統	糖度はやや低～高 (Brix%=12~25)

が劣る育種素材なども供試することで, β -アミラーゼ活性やデンプン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。

実験方法

1. 供試材料

2012および2013年に, 当所試験圃場(茨城県つくばみらい市)で栽培された(5月中旬～6月上旬挿苗, 10月中～下旬収穫)塊根を収穫後, 温度13～16℃, 相対湿度95%以上の貯蔵庫内で貯蔵し, 3ヶ月以内に実験に供した。表1に供試した品種および育成系統を示す。なお, 「ベニアズマ」と「べにはるか」については, 2013年に北海道(北斗市および河西郡芽室町)で栽培された塊根(育苗は当所試験圃場で実施)も供試した。糖度, マルトース含量, β -アミラーゼ活性の測定, ならびにデンプンの抽出と分析は同一塊根を用いた。

2. 塊根の加熱

重量が200～250gの塊根の中央部分の輪切り(重量約100g)を縦方向に半切りし, 一方を直径約1mmの竹串が抵抗なく組織片を貫通するまで約30分間家庭用蒸し器を用いて蒸した。

3. 蒸した塊根の糖度およびマルトース含量の測定

蒸した塊根片3gに水9mLを加えて磨砕した液の糖度を屈折率糖度計(アタゴPR-201)で3回測定し, その平均値に希釈倍率(4倍)を乗じて希釈前の糖度に換算した。また, 塊根片1gに80%エタノールを加えて磨砕, 希釈(希釈倍率50倍)した抽出液に含まれるマルトースを, 順相イオン交換カラム(昭和電工Asahipak NH2P-50)を装着した高速液体クロマトグラフィシステム(日立LaChrom Elite)とRI検出器(日立L-2490)を用いて, 75%アセトニトリル水溶液を溶離液として定量した。

4. β -アミラーゼ活性の測定

未加熱塊根の β -アミラーゼ活性は前報⁶⁾と同様に測定した。塊根のみじん切り10gに20mLの緩衝液(50mM

Tris-HCl, 1mM EDTA, pH5.6)を加えて磨砕し, 遠心分離(15000×g, 15min)で得た上清を緩衝液(100mM マレイン酸, 1mM EDTA, 0.1% BSA, 0.02% アジ化ナトリウム, pH6.2)で1000倍希釈した粗酵素液に2%可溶性デンプン液を加えて40℃で10分間反応させて生じたマルトースをソモギー・ネルソン法で定量した。粗酵素液中のタンパク質含量はローリー法による測定キット(バイオラッド社DC Protein Assay)を用いて測定した。 β -アミラーゼ活性の1unitは粗酵素液中のタンパク質1mg当たりの1分間に生じたマルトース量(mモル)と定義(1unit=1mole maltose/min/mg protein)した。

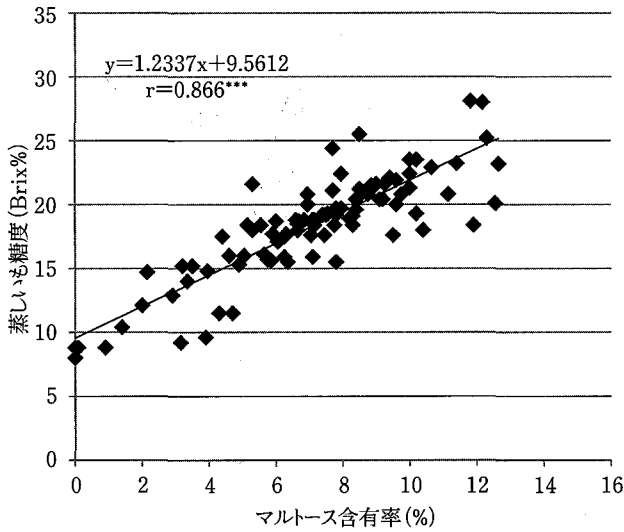
5. デンプンの含量および糊化温度の測定

塊根20g(小数点以下第2位まで精秤)をミキサーで磨砕し, 試験用篩(目の間隔45 μ m)を用いてデンプンを濾し分け, 105℃で24時間乾燥した後にその重量を測定した⁶⁾。

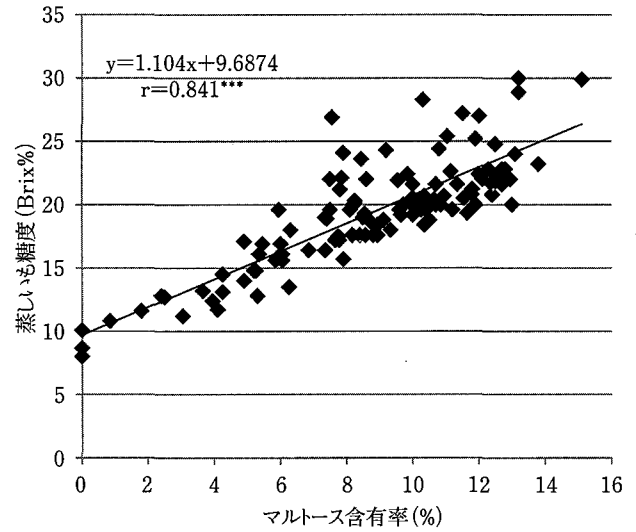
デンプン糊化特性はRVA(Rapid Visco Analyzer, Newport Scientific社)を用いて解析した。7%(w/v)デンプン懸濁液25mLを専用アルミ製容器に入れ, 温度を30℃から95℃まで5℃/分で上げてそのまま6分間保持した後, 5℃/分で30℃まで下げた間の粘度変化を測定⁷⁾した。懸濁液の粘度が1RVU上昇した時を糊化開始と見なし, その時の温度を糊化温度と定義した。

6. 塊根におけるデンプン糊化度の測定

茨城県南部(当所試験圃場)および北海道(北斗市および河西郡芽室町)で栽培された「ベニアズマ」の塊根中央部から採取した組織片(重量約50g)をみじん切りし, その5gをガラス管(内径30mm, 高さ90mm, 厚さ2mm)に詰め, これをアルミブロックヒーター(タイテックDBU-1B)を用いて60, 70, 80, 90℃で30分間加熱した。この塊根組織および未加熱塊根組織におけるデンプン糊化度を前報⁸⁾と同じくBAP(β -アミラーゼ・プルラナーゼ)法で測定した。



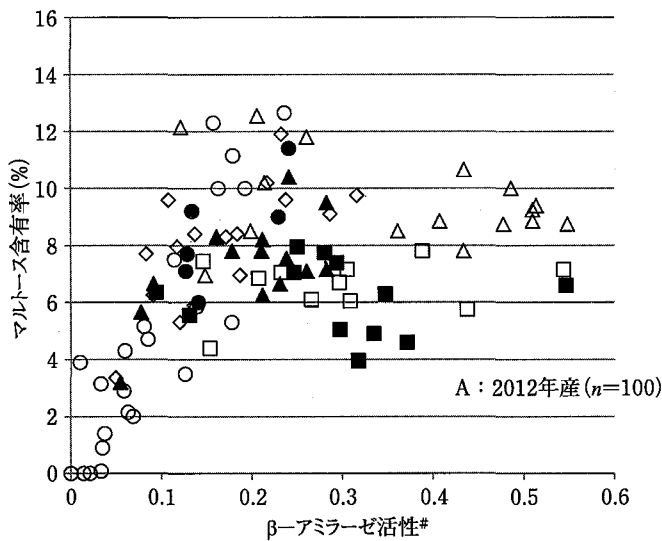
A, 2012年産 (n=100)



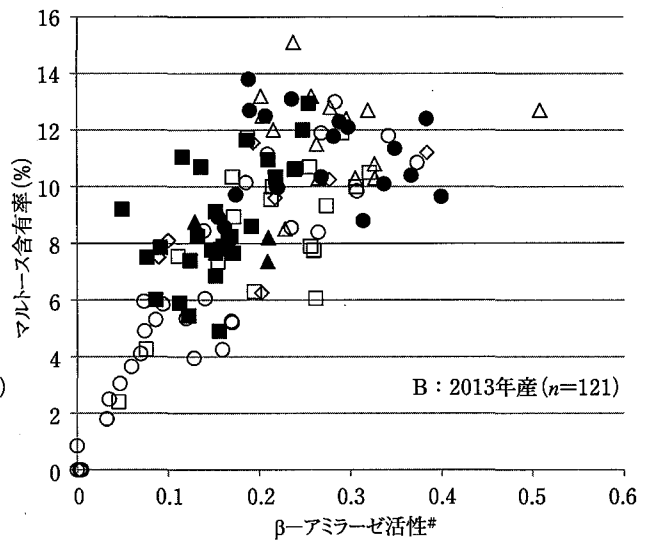
B, 2013年産 (n=121)

図 1 蒸しいもの糖度とマルトース含有率との関係

A, 2012年産; B, 2013年産.



A : 2012年産 (n=100)



B : 2013年産 (n=121)

■, ベニアズマ; □, 高系14号; ▲, タムユタカ; △, ベにはるか;
●, 高糖度新品種; ○, 各種育種素材; ◇, 青果用育成系統

■, ベニアズマ; □, 高系14号; ▲, タムユタカ; △, ベにはるか;
●, 高糖度新品種; ○, 各種育種素材; ◇, 青果用育成系統

: m mole maltose/mg protein/min

図 2 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

A, 2012年産; B, 2013年産.

実験結果

1. 蒸しいもの糖度とマルトース含有率との関係

供試した全ての試料における蒸しいもの糖度とマルトース含有率との関係を図1に示す。2012年産, 2013年産ともに, 糖度はマルトース含有率の増加に伴って約10Brix%から約25Brix%までほぼ直線的に上昇し, 両者は高い相

関 ($r=0.85$) を示した。品種・系統によらず, 蒸しいもの糖度にはマルトース生成が関与すると考えられた。

2. 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

図2に未加熱塊根のβ-アミラーゼ活性と蒸しいものマルトース含有率との関係を示す。選抜初期世代に相当する各種育種素材や青果用育成系統ではβ-アミラーゼ活性が

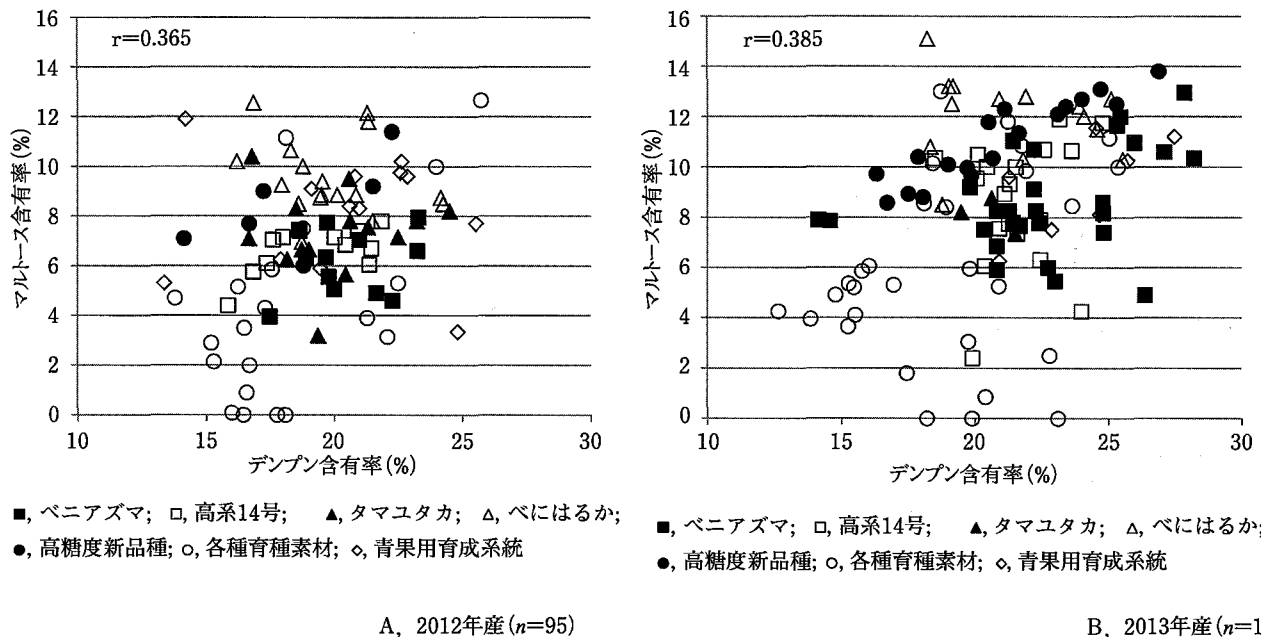


図3 蒸しいものマルトース含有率と未加熱塊根のデンプン含有率との関係

A, 2012年産; B, 2013年産.

0.1 m mole maltose/min/mg protein 以下で、マルトース含有率も6%以下の塊根が大半であった。一方、「ベニアズマ」、「高系14号」、「タマユタカ」、「べにはるか」等の現行食用主力品種では殆どの塊根の β -アミラーゼ活性は0.15~0.35 m mole maltose/min/mg protein に分布し、マルトース含有率は7~13% (w/w) であった。供試試料全体を通じて、 β -アミラーゼ活性が0~約0.2 m mole maltose/min/mg protein の範囲では活性の上昇とともにマルトース含有率が増加し、約10% (w/w) に達したが、活性が更になるとマルトース含有率の増加は顕著に抑制された。マルトース含有率と β -アミラーゼ活性とのこのような関係は2012年産、2013年産いずれにおいても認められた。

3. 蒸しいものマルトース含有率と塊根のデンプン含有率ならびに単離したデンプンの糊化温度との関係

図3に蒸しいものマルトース含有率と未加熱塊根のデンプン含有率との関係を示す。2012年産、2013年産ともに、デンプン含有率が高いほどマルトース含有率が高い傾向は窺えたが、両者の間に明瞭な相関は認められなかった ($r=0.365$; 2012年産, $r=0.385$; 2013年産)。図4にマルトース含有率とデンプン糊化温度との関係を示す。両者の間には両年産ともに負の相関関係 ($r=-0.541^{***}$; 2012年産, $r=-0.511^{***}$; 2013年産) が認められた。特に、 β -アミラーゼ活性が0.2 m mole maltose/min/mg protein 以上の塊根集団における糊化温度とマルトース含有率との相関係数 ($r=-0.728^{***}$; 2012年産, $r=-0.627^{***}$; 2013年産) は活性がこれより低い塊根集団における相関係数 ($r=-0.599^{***}$; 2012年産, $r=-0.402^{**}$; 2013年産) に比べて有意差はなかったものの高かった (図5)。なお、 β -アミ

ラーゼ活性とデンプンの含有率および糊化温度との間には両年産ともに相関は認められなかった (図6)。

図2に示したように、 β -アミラーゼ活性の高い (0.2 m mole maltose/min/mg protein 以上) 塊根では活性の上昇に応じてマルトース含有率が増加するとは限らず、活性が同程度であってもマルトース含有率が異なる場合がある。 β -アミラーゼ活性の高い塊根における活性とマルトース含有率との関係を示す図にデンプン糊化温度を記入すると、 β -アミラーゼ活性が同程度の塊根の間ではデンプン糊化温度が低い方がマルトース含有率が高い傾向が認められた (図7)。

4. 北海道および茨城県で栽培した「ベニアズマ」ならびに「べにはるか」のマルトース含有率、 β -アミラーゼ活性、デンプン含有率ならびにデンプン糊化温度

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 β -アミラーゼ活性、デンプン含有率、デンプン糊化温度ならびに蒸しい塊根のマルトース含有率を表2に示す。北海道で栽培された塊根は茨城県で栽培された塊根と比較して、デンプン含有率と β -アミラーゼ活性には有意差が認められなかったが、蒸しいものマルトース含有率が有意 ($p<0.01$; 「ベニアズマ」, $p<0.05$; 「べにはるか」) に高く、デンプン糊化温度は有意 ($p<0.001$) に低かった。特に「ベニアズマ」においては、デンプン糊化温度は茨城県産が約73.2°Cであったのに対して北海道産は約66.3°Cと約7°C低く、マルトース含有率は茨城県産が約6.2%に対して北海道産は約8.6%と後者の方が2%以上高かった。「べにはるか」でも両産地間で同様の差異が見られたが、その程度は「ベニアズマ」より小さかった。

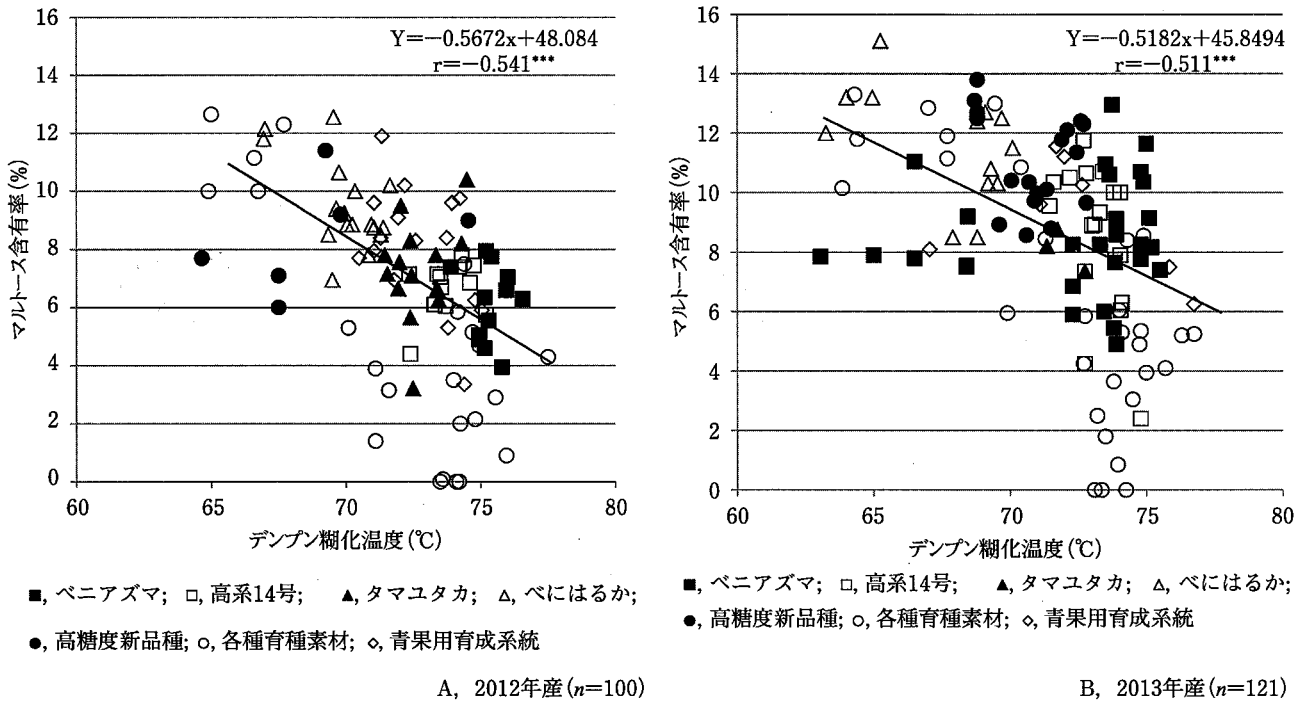


図 4 蒸しいものマルトース含有率とデンプン糊化温度との関係

A, 2012年産; B, 2013年産.

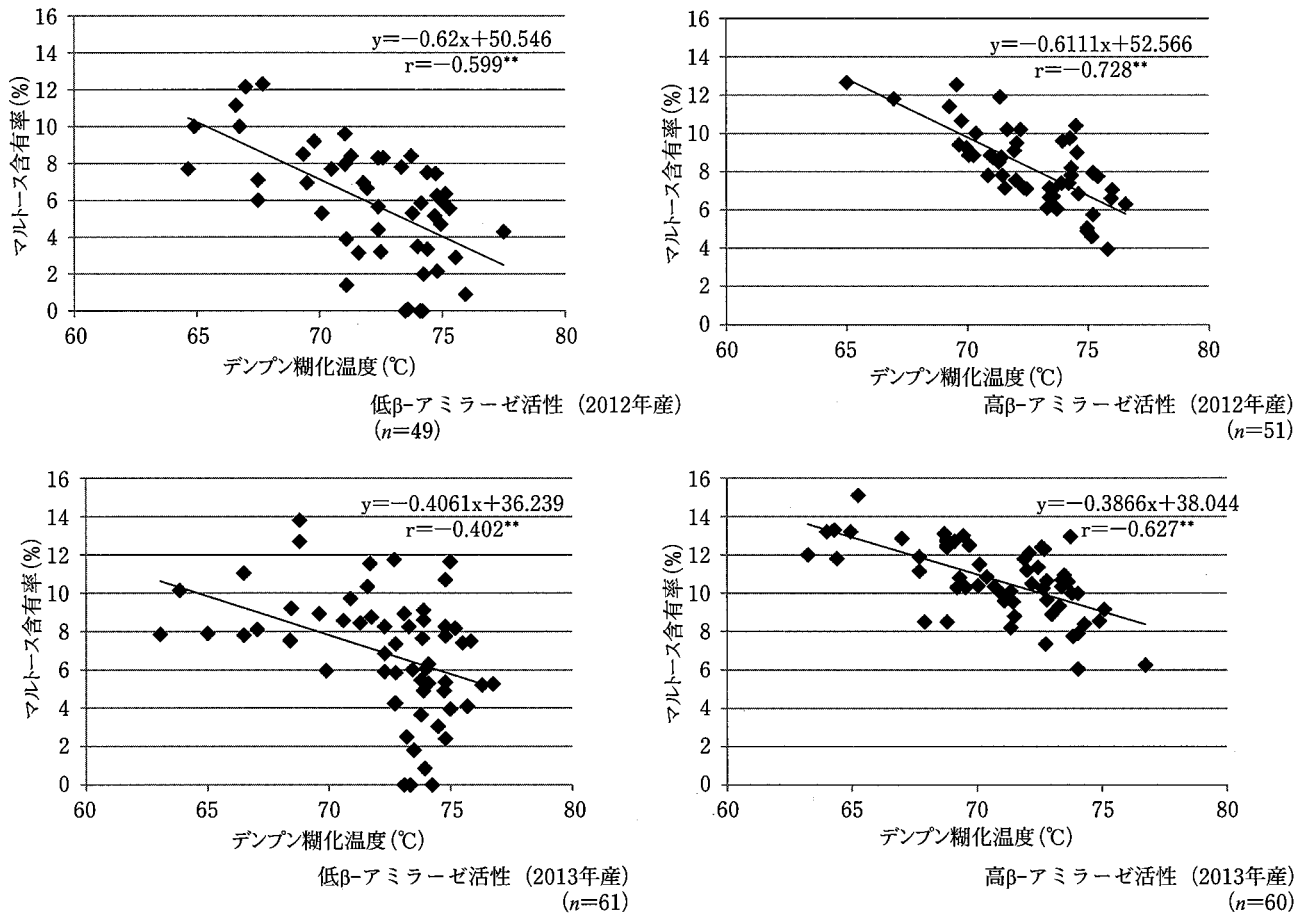


図 5 β-アミラーゼ活性の低い塊根集団と高い塊根集団における蒸しいものマルトース含有率とデンプン糊化温度との関係

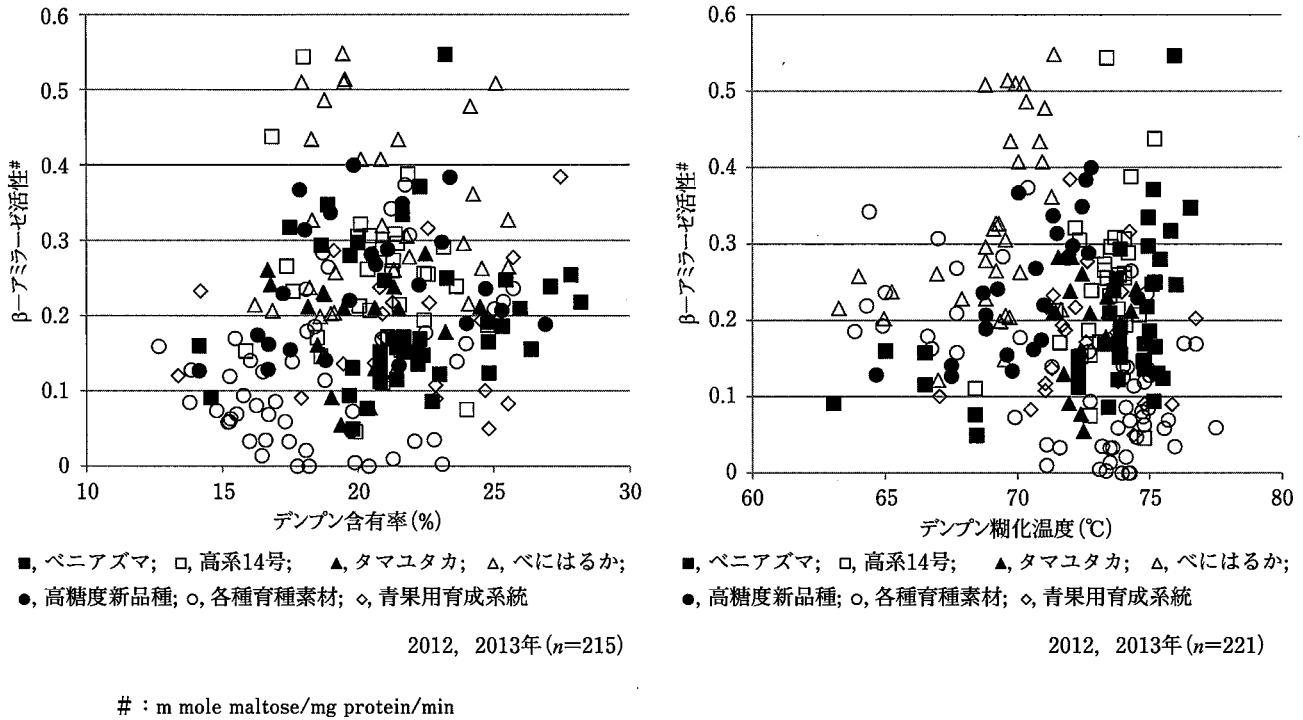


図6 デンプン含有率およびデンプン糊化温度とβ-アミラーゼ活性との関係
2012および2013年産

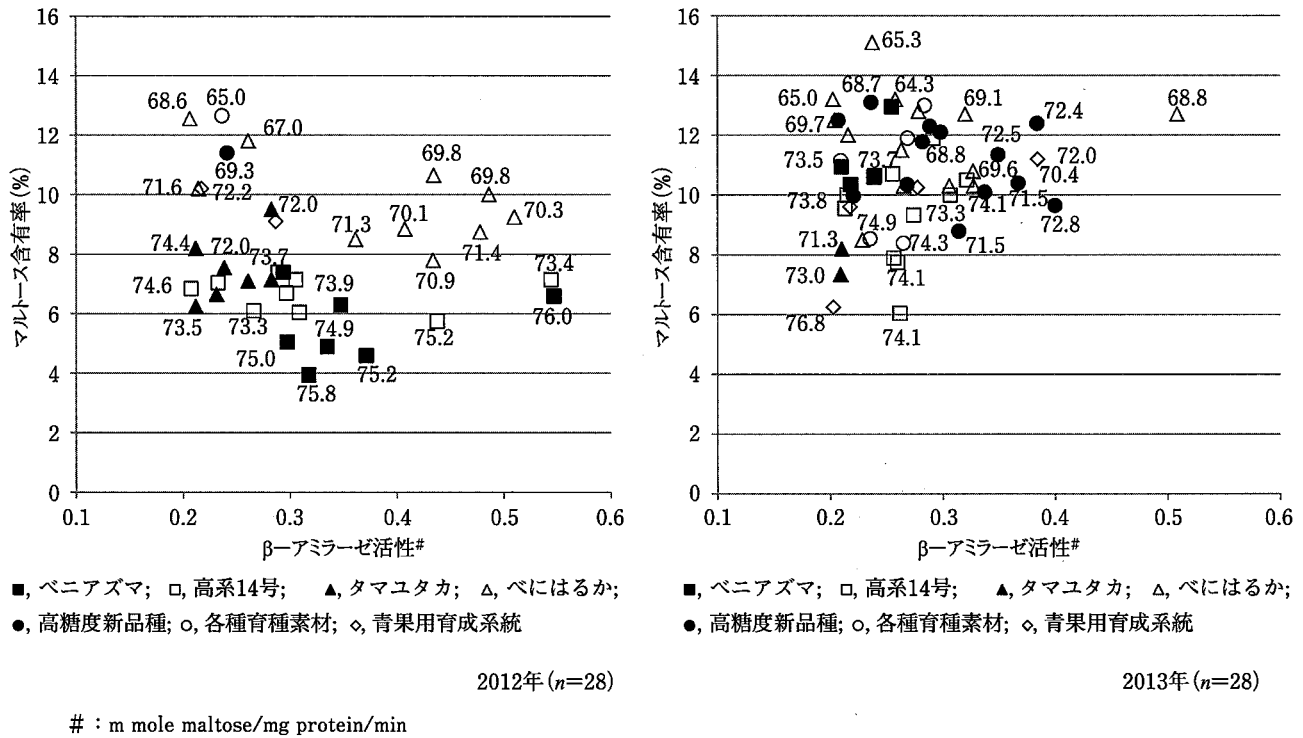


図7 β-アミラーゼ活性が高い塊根における蒸しいものマルトース含有率とβ-アミラーゼ活性との関係に及ぼすデンプン糊化温度の影響

高活性 : 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。

図8は、北海道産と茨城県(南部)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デンプンの糊化度を

表す。70℃で加熱された塊根片の糊化度は茨城県産が約30%で北海道産が約40%、80℃で加熱された場合は茨城

表 2 北海道および茨城県で栽培された「ベニアズマ」ならびに「べにはるか」のマルトース含有率, β -アミラーゼ活性, デンプン含有率およびデンプン糊化温度

品種名	栽培地	蒸しものマルトース含有率 (%)	β -アミラーゼ活性 (unit [†])	デンプン含有率 (%)	デンプン糊化温度 (°C)
ベニアズマ (<i>n</i> =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 (<i>n</i> =4)	北海道	13.4±1.28*	0.228±0.024	20.12±2.67	64.4±0.91***
	茨城県	10.3±1.28	0.281±0.044	20.87±2.91	69.4±0.54

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

†: unit=m mole maltose / min / mg protein

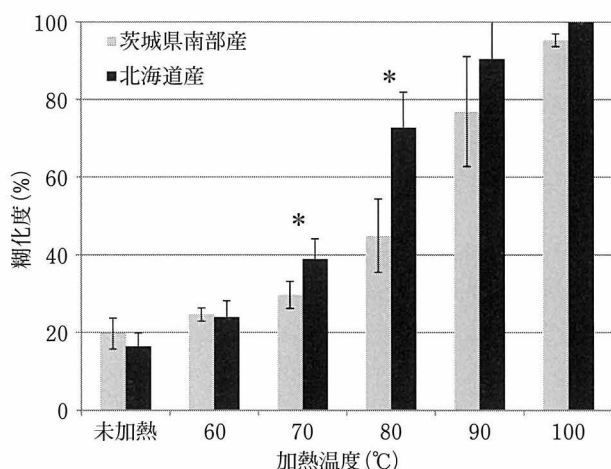


図 8 北海道および茨城県南部で栽培された「ベニアズマ」塊根片を異なる温度で加熱した時のデンプン糊化度

縦棒と縦線は各々, 4 回の実験における平均と標準偏差を表す。* は北海道産と茨城県南部産の糊化度の間に 5% 水準の有意差が存在することを示す。

県産が約 45% に対して北海道産が約 73% と, いずれの温度でも北海道産の方が茨城県産に比べてデンプンの糊化度は有意 ($p < 0.05$) に高かった。

考 察

サツマイモを加熱調理するとマルトースが多量に生成する。その重量含有率は通常の品種・系統などでは約 8~12% (w/w) に達し, フルクトースやグルコース (含有率はいずれも約 0.5~1.5% (w/w)), スクロース (含有率は約 2~4% (w/w)) など他の遊離糖に比べて格段に高い⁸⁾。そのため, マルトースの生成量は調理後のサツマイモの甘さを大きく左右する。

マルトースは β -アミラーゼが糊化したデンプンを分解することで生じるが, 生デンプンは本酵素によって殆ど分解されない。従って, マルトースの生成にはデンプン糊化が前提となる⁹⁾。サツマイモデンプンは測定法や試料の性状などで多少異なるものの, 一般的な品種・系統では 70~75°C で糊化し始める。一方, β -アミラーゼは 80°C を超えると活性が大きく低下する⁶⁾¹⁰⁾。それ故, サツマイモの

加熱調理においては, 70~80°C の温度域にできるだけ長時間曝すことが甘みを増すために有効¹¹⁾とされている。石焼きや壺焼きなどでゆっくりと品温を上げていく加熱法はサツマイモの品質特性に沿った合理的な調理法と言える¹²⁾。一方, 糊化温度が通常の品種などより約 20°C 低いデンプンを含む品種「クイックスイート」では, β -アミラーゼ活性が低下し始めるかなり以前にデンプン糊化が起こる⁶⁾ため, 電子レンジなどで急速に加熱しても多量のマルトースが生成する。このように, サツマイモにおける加熱調理に伴うマルトース生成はデンプンの糊化と β -アミラーゼ活性の変化とが同時進行する下で生じる¹¹⁾ことから, 両者が複雑に影響すると考えられるが, そのメカニズムは充分には明らかになっていない。従来の研究では供試材料に限られており, デンプン糊化温度や β -アミラーゼ活性の変異幅がそれほど広くなかったことが原因の一つと考えられる。そこで, 遺伝資源や選抜初期集団などにしばしば見られる食味が必ずしも良好でない (糖度が足りない) ものやデンプン糊化温度が変わったものなども加えることによって, β -アミラーゼ活性と糊化温度の変異幅をなるべく広くとった供試材料について, マルトース生成量と β -アミラーゼ活性およびデンプン糊化温度を調べた。

蒸し上がった塊根の糖度の値は約 9.0~28Brix% の範囲に分布したが, 最低値を示した試料は β -アミラーゼ活性を殆ど持たない品種「オキコガネ」⁵⁾で, 24% 以上の比較的高い値を示した試料は, 「クイックスイート」, 「べにはるか」, 「ひめあやか」など近年育成された高糖度品種²⁾であった。一方, 「高系 14 号」(1945 年育成), 「タムユタカ」(1960 年育成) などの比較的古い品種¹³⁾の糖度は 20Brix% 前後であった。一部の品種を除いて, 常温 (13~16°C) で貯蔵された塊根を通常の方法で加熱調理した場合には糖度が 30Brix% を越えることは殆どない¹⁴⁾ので, 殆どの品種・系統のサツマイモを蒸した時の糖度は本実験における糖度の値の範囲内に収まるものと考えられる。

糖度の値は蒸した塊根のマルトース含有率が増加するに従って約 10Brix% から約 25Brix% までほぼ直線的に上昇したが, 上述のように, 最低値 (約 10Brix%) を示したのは β -アミラーゼ活性を持たず, マルトースが生成しない

「オキコガネ」であった。この値はまた、マルトースを生成する通常の品種・系統等における加熱前の糖度値にも近かったことから、未加熱塊根に含まれるマルトース以外の糖分などの可溶性成分に由来するもので、通常の品種・系統では、加熱によるマルトース生成に伴って糖度がこの値から上昇すると解釈された。

マルトースは糊化デンプンの β -アミラーゼによる分解で生成することから、アミラーゼ活性が高い方がマルトース生成量が多いと考えられる。本研究においても、 β -アミラーゼ活性が0~0.2 m mole maltose/min/mg protein の範囲ではマルトース生成量と活性との間には高い正相関 ($r=0.9$) が2年ともに認められた。同一品種の多数の塊根を供試した研究では、マルトース生成量¹⁵⁾あるいは蒸しいもの糖度¹⁶⁾¹⁷⁾ (これは上述のようにマルトース生成量と相関している) と β -アミラーゼ活性あるいはそれと相関の高い塊根の窒素含有率との間には一定の相関が認められている。一方で、馬場¹⁰⁾ は37品種のサツマイモにおける調理後の還元糖増加量 (実質的にはマルトース生成量に相当) と未加熱塊根の β -アミラーゼ活性との間には弱い正相関 ($r=0.253$) しか認められなかったと報告している。Takahata ら¹⁸⁾ は、マルトース生成量の多いサツマイモ系統は生成量の少ない系統に比べてデンプン糊化温度が低く、 β -アミラーゼの熱安定性が高い (加熱に伴って活性が低下しにくい) と報告している。本研究では、マルトース生成量は β -アミラーゼ活性の上昇に伴って増え続けることはなく、活性が約0.2 mmole maltose/min/mg protein を越えると、その増加が抑制された。柏木ら¹⁵⁾ も「高系14号」のマルトース含有率は β -アミラーゼ活性が1500 μ mole maltose/min/mL (粗酵素液量) 以上になると増加が抑制されたと報告している。本研究では粗酵素液に含まれるタンパク質の平均濃度は約4 mg/mLであったので、0.2 m mole maltose/min/mg protein は約800 μ mole maltose/min/mL に匹敵する。本研究における供試材料には β -アミラーゼ活性が柏木らの供試した「高系14号」に比べてかなり低いものも多いために閾値が低くなった可能性はあるものの、マルトース含有率の増加が約10% (w/w) 付近で抑制されたことなどから判断すると、本研究の結果は柏木らの報告と矛盾するものではないと考えられる。

β -アミラーゼ活性が0.2 m mole maltose/min/mg protein を越える塊根を蒸した時のマルトース生成量を左右する要因はデンプン糊化特性である。糊化温度と蒸しいものマルトース含有率の間には負の相関関係が供試試料全体について認められた (図4) が、特に、 β -アミラーゼ活性が0.2 m mole maltose/min/mg protein を越える高活性塊根においては、アミラーゼ活性が0.2 m mole maltose/min/mg protein 以下の塊根の場合に比べて相関係数が有意に高くなり、デンプン糊化の影響がより大きいことが示唆された。現在、市場に流通している「高系14号」、「ベニアズマ」、

「べにはるか」などの食用品種では、 β -アミラーゼ活性が上記の値を下回することは殆どないことを考えると、マルトース含有率を上げるには、窒素施肥量を増やして β -アミラーゼ活性を高める¹⁵⁾ よりも、デンプン糊化温度を制御する方が有効と考えられる。

サツマイモは熱帯地域原産の作物のため、気温の低い地域では生育が難しく、日本では従来、経済栽培適地の北限は茨城県北部から福島県南部地域とされてきた¹⁹⁾。近年はしかしながら、マルチ資材の発達や地球温暖化などの影響により東北地方や北海道地方などでも地域によってはサツマイモ栽培が可能となってきた。これらの地域では本州以南の地域に比べて病虫害が少ないうえに、低温によりスクロース生成が促進されることなどから、糖度の高いサツマイモの生産が期待できる²⁰⁾。糖度が高い食用サツマイモの主力品種として関東地方や九州地方で広く作付けされている「ベニアズマ」および「べにはるか」を北海道で栽培すると、 β -アミラーゼ活性やデンプン含有率は茨城県南部産に比べて低下する傾向にあったにも関わらず、蒸しいものマルトース含有率は有意に増加した。これらの塊根から単離したデンプンの糊化温度は、茨城県南部産の同品種の塊根に比べて「ベニアズマ」では約7℃、「べにはるか」では約5℃、それぞれ低かった。栽培地 (北斗市、芽室町) における日平均気温は栽培期間 (2013年6~10月) を通じて茨城県南部より約5℃低い状態で推移していた (気象庁HP記載の観測データによる)。Noda ら²¹⁾ は、栽培期間中の土壌温度が低い方がデンプンの糊化温度が低いことを報告し、その主な原因がアミロペクチンの側鎖に占めるグルコース重合度の低い短鎖の割合が増えることによってデンプンの結晶性が低下することによると述べている²²⁾。一方、犬飼ら²³⁾ は、土壌温度の低下によって蒸しいものマルトース含量が有意に低下することを報告している。北海道で栽培された「ベニアズマ」や「べにはるか」では茨城県南部産に比べてデンプン糊化温度が低下したことによって、 β -アミラーゼによるマルトース生成がより低い温度で始まり、結果的にマルトース生成量が増えたと考えられる。異なる温度で加熱した北海道産「ベニアズマ」塊根のデンプン糊化度を茨城県産の塊根と比較すると、70℃および80℃で加熱した時に、北海道産は茨城県南部産より有意に ($p<0.05$) 糊化度が高く、糊化度の全体的な変化は糊化温度が約62℃の「ほしキラリ」²⁴⁾ と約75℃の「ベニアズマ」 (茨城県産) との中間に当たる様相を示したことも上記考察を支持している。これを逆に敷衍すれば、気温 (地温) が高い環境で栽培すると、糊化温度が上昇してデンプンが糊化し難くなり、マルトース生成が抑制されると考えられる。近年、関東地方以南では夏場の気温が平年に比べ高くなることが多く、「ベニアズマ」等の甘さ不足を指摘する声を耳にする機会がある。これは、栽培期間中に土壌温度が平年より高い状態で推移したことによってデンプン糊化温度が上

昇し、マルトース生成が抑制された事が原因の一つと推測される。

以上要するに、蒸したサツマイモの糖度を大きく左右するマルトース含有率は、塊根の β -アミラーゼ活性が0.2m mole maltose/min/mg protein 以下の場合には活性の上昇とともに増加するが、活性が更に高くなると、増加が抑制される。一方、塊根に含まれるデンプンの糊化温度はマルトース含有率と負相関を示し、 β -アミラーゼ活性が高い塊根ではその影響が顕著であった。北海道で栽培された「ベニアズマ」等では、地温がより高い茨城県南部で栽培された塊根と比べて糊化温度が5°C以上低下してデンプンが糊化し易くなったことで、 β -アミラーゼ活性は低下したにも関わらず、マルトース含有率は有意に高くなった。

要 約

調理後の甘さが大きく異なる多様なサツマイモ品種・系統や育種素材を供試して、塊根の β -アミラーゼ活性およびデンプンの含量、糊化温度と蒸しいものマルトース含有率との関係を調べた。マルトース含有率は β -アミラーゼ活性の上昇に伴って増加したが、活性が約0.2m mole maltose/min/mg protein を越えると含有率の増加は抑制された。マルトース含有率とデンプン含有率の間には相関が認められなかったが、デンプン糊化温度との間には弱い負の相関が認められた。特に、 β -アミラーゼ活性が高い塊根では糊化温度が低いほどマルトース含有率が高い傾向が見られた。また、デンプンの糊化温度が比較的高い品種「ベニアズマ」を本州より気温の低い北海道で栽培すると、糊化温度が有意に低下し、 β -アミラーゼ活性は同等かあるいはそれ以下にも拘わらず、マルトース含有率が有意に高くなった。サツマイモの加熱調理に伴うマルトース生成には塊根の β -アミラーゼ活性に加えてデンプンの糊化し易さも重要であると考えられた。

サツマイモ試料を分譲いただいた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博士と北海道立総合研究機構道南農業試験場の高濱雅幹氏に感謝いたします。統計解析に際してご助言いただいた農研機構中央農業総合研究センターの光永貴之博士に感謝いたします。

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 (2012).
- 2) 高田明子, サツマイモの品種改良と新品種のご紹介, いも類振興情報, **116**, 9-13 (2013).
- 3) Picha, D.H., HPLC Determination of sugars in raw and baked sweet potatoes. *J. Food Sci.*, **50**, 1189-1190 (1985).

- 4) 伊東哲代, 安藤孝雄, 市川邦介, 甘藷の糖化におよぼす調理法の影響について, 家政学雑誌, **19**, 170-173 (1968).
- 5) 吉永 優, 低糖 「サツマイモ事典」, 第1版 (財団法人いも類振興会, 東京), p.158. (2010).
- 6) 中村善行, 高田明子, 藏之内利和, 増田亮一, 片山健二, 糊化温度の低いデンプンを含むサツマイモ「クイックスイート」における加熱に伴うマルトース生成の機序, 日本食品科学工学会誌, **61**, 62-69 (2014).
- 7) Katayama, K., Tamiya, S. and Ishiguro, K., Starch properties of new sweet potato lines having low pasting temperature. *Starch/Stärke*, **56**, 563-569 (2004).
- 8) 中村善行, 遊離糖類 「サツマイモ事典」, 第1版 (財団法人いも類振興会, 東京), pp.115-116. (2010).
- 9) 桐瀨壽子, 久保田紀久枝, 甘藷の加熱調理に関する研究 (第1報) 生成糖と β -アミラーゼ活性, 家政学雑誌, **27**, 418-422 (1976).
- 10) 馬場 透, サツマイモの高度加工利用に関する研究, 鹿児島県農業試験場研究報告, **18**, 61-122 (1990).
- 11) 山口美代子, 桶上純子, 北村由香里, さつまいもの加熱調理について, 園田学園女子大学論文集, **29**, 329-337 (1994).
- 12) 中谷 誠, 「焼き芋小百科」, (川越いも友の会, 埼玉県), pp.39-49 (2005).
- 13) 熊谷 亨, 栽培品種の変遷, 「サツマイモ事典」, 第1版 (財団法人いも類振興会, 東京), pp.135-139. (2010).
- 14) 落合浩英, サツマイモの貯蔵およびBrixに及ぼす影響に関する研究-種子島の安納いもを中心として-, いも類振興情報, **112**, 23-26 (2012).
- 15) 柏木伸哉, 池田健一郎, 原田昭夫, 栽培法の違いが青果用サツマイモの収量, 糖含量, 食味に及ぼす影響, 日本作物学会九州支部会報, **73**, 47-51 (2007).
- 16) 小野 忠, 矢野輝人, 黒ボク畑土壌での青果用カンショの品質変動と要因解析, 大分県農業技術センター研究報告, **25**, 77-94 (1995).
- 17) 松本 淳, 砂丘地におけるサツマイモの食味関連成分とその向上技術, 今月の農業, 2002年1月号, 86-90 (2002).
- 18) Takahata, Y., Noda, T. and Nagata, T., Effect of β -amylase stability and starch gelatinization during heating on varietal differences in maltose content in sweetpotatoes. *J. Agric. Food Chem.*, **42**, 2564-2569 (1994).
- 19) 坂井健吉, 「さつまいも」 (法政大学出版局, 東京) p.69. (1999).
- 20) 高濱雅幹, 北海道におけるサツマイモの生産と試験研究の現状, いも類振興情報, **120**, 38-42 (2014).
- 21) Noda, T., Kobayashi, T. and Suda, I., Effect of soil temperature on starch properties of sweet potatoes. *Carbohydr. Polym.*, **44**, 239-246 (2001).
- 22) Noda, T., Takahata, Y., Sato, T., Suda, I., Morishita, T., Ishiguro, K. and Yamakawa, O., Relationships between chain length distribution of amylopectin and gelatinization properties within the same botanical origin for sweet potato and buckwheat. *Carbohydr. Polym.*, **37**, 153-158 (1998).
- 23) 犬飼義明, 芝山秀次郎, 施肥法および土壌温度の相違がカンショ塊根中の遊離糖含量に及ぼす影響, *Coastal Bioenvironment*, **2**, 37-42 (2003).
- 24) 藏之内利和, 中村善行, 高田明子, 田宮誠司, 中谷 誠, 熊谷 亨, 高品質蒸切干加工用サツマイモ品種「ほしキラリ」の育成, 作物研究所研究報告, **13**, 1-22 (2012).

(平成26年7月18日受付, 平成26年8月25日受理)