

蒸したサツマイモにおけるビタミンCの残存とでん粉糊化温度

農研機構 次世代作物開発研究センター
畑作物研究領域 上級研究員

なかむら よしゆき
中村 善行

1 はじめに

日本におけるサツマイモの年間生産量は現在約90万トンで、その約45%が焼きいも、大学いも、天ぷらなどとして消費されている¹⁾。単純計算で国民一人当たり毎年約3.3 kgのサツマイモを食べている（でん粉や焼酎などとしての消費を除いたので、“食べる”と表記した。）ことになるが、50年前に比べて約半分、30年前の昭和末期と比べて約7割に低下している。これは、日本人の食生活におけるサツマイモの位置付けが米、麦などに次ぐ準主食から副菜やデザート類の一つに変わったことや食の欧米化、ファスト化などによるものと考えられる。その一方、サツマイモの食味や栄養性、生理機能性に対する関心は高く、生理機能性を有するアントシアニンや β -カロテンなどの植物色素を高度に含有する有色サツマイモ品種が多くの人に知られるなど、サツマイモの食品価値は再認識されつつある。

サツマイモ塊根（以下ではサツマイモと呼ぶ。）にはビタミン類や各種ミネラル、食物繊維質などが豊富に含まれ、ビタミンC（アスコルビン酸）も野菜・果実類の中では含量が比較的高い。さらにハウレンソウやキャベツなどの葉菜類と異なり、サツ

マイモはそのビタミンC含量が加熱調理で低下しにくいことも古くから知られている。この原因にはでん粉の糊化が関係すると言われているが、具体的には明らかにされていない。そこで、農研機構で育成されたでん粉糊化温度の異なるサツマイモ品種を供試して、蒸しいもにおけるビタミンCの残存性とでん粉糊化特性との関係を調べた。

2 ビタミンCとその含量測定

ビタミンCは、抗壊血病因子(antiscorbutic factor)として発見された当初の由来から、アスコルビン酸(ascorbic acid)と呼ばれ、2つの光学異性体L体とD体を持つ²⁾が、後者は生理作用を持たないため、生理、栄養学的見地からはビタミンCと言えばL-アスコルビン酸を指す。その生理作用としては、抗壊血病性の根拠となるコラーゲン合成の維持に加え、鉄分やカルシウム等の吸収促進、アミノ酸やホルモンの代謝への関与などが挙げられるほか、その強い還元性に基づく脂質等の酸化抑制や食品の変色防止などの機能も有している。また、ビタミンCには還元型（アスコルビン酸）と酸化型（デヒドロアスコルビン酸）との2つの存在形態があるが、その生理作用や機能

性の多くが還元性に由来することから、酸化型には生理的效果が期待できないとされてきた。しかし、酸化型も生体内で容易に還元型へ変化しうることが明らかにされてから、ヒトにおける生理的效果に関しては酸化型も還元型とほぼ同等と見なされるようになり、現在の日本食品標準成分表では両者を合わせた総アスコルビン酸の含量が記載されている³⁾。

ビタミンCの定量法は、化学的分析による方法と高速液体クロマトグラフィ(HPLC)による方法とに大別される。後者は酸化型と還元型とを容易に分別定量できることから、現在、主流の方法であるが、前者にも、HPLCがなくても実行可能、総アスコルビン酸の定量であれば実験操作も比較的簡易である、などの利点がある。今回は、インドフェノールでアスコルビン酸を全て酸化型に変えた後、その最終生成物であるジケトグルン酸がヒドラジン(2,4-dinitrophenylhydrazine; DNP)と反応して生じるオサゾンを経由して比色定量する化学的分析法を用いて、総アスコルビン酸としてビタミンCを定量した。

3 でん粉糊化温度の異なるサツマイモ品種の蒸しいもに残存する総アスコルビン酸含量

農研機構作物研究所(現:農研機構次世代作物開発研究センター)では2002年以来、でん粉糊化温度が従来品種よりも低いサツマイモ新品種をいくつか育成してきた。「クイックスweet」は最初に育成された品種で、RVA(Rapid Visco Analyzer: でん粉懸濁液の温度を一定の時間変化率で上昇、下降させ、その間の粘度変化を追跡す

る装置)で解析されたでん粉糊化開始温度(starch pasting temperature、でん粉糊化温度とは定義が異なるが、本質的な違いはない)が従来品種に比べて20℃ほど低い約52℃であることから、電子レンジなどで短時間(Quick)調理しても甘く(Sweet)なることを謳って名付けられた。その後、2010年にはでん粉糊化開始温度が従来品種より約10℃低い約63℃である干しいも原料用新品種「ほしキラリ」が育成、登録された。この品種は、その干しいもの食味が従来品種と比べて格段に優れていることに加え、シロタと呼ばれる品質障害(干しいもの中心部分が白く、固くなり、商品価値が著しく低下する)が発生しにくいことから高品質干しいも向け品種として一定の評価を得ている。これらにでん粉糊化開始温度が約75℃である従来品種「ベニアズマ」を加えた3品種を供試し、それらの総アスコルビン酸含量を測定した。表1に上記3品種の生いもと蒸しいもに含まれる総アスコルビン酸含量と蒸しいもにおける残存率を示した。生いもにおける重量当たりの総アスコルビン酸含量は「ベニアズマ」、「ほしキラリ」、「クイックスweet」でそれぞれ約276 µg/g、約245 µg/g、約218 µg/gと、3品種のなかでは「ベニアズマ」の含量が最も高かった。一方、蒸しいもにおける含量は「ベニアズマ」で約154 µg/g、「ほしキラリ」で約170 µg/g、「クイックスweet」で約175 µg/gで、残存率(蒸した塊根における含量/生塊根における含量×100)は「ベニアズマ」で約56.5%、「ほしキラリ」で約70.4%、「クイックスweet」で約80.4%であった。すなわち、でん粉糊化開始温度が低い品種ほど蒸しいもの総ア

表1 「ベニアズマ」、「ほしキラリ」、「クイックスweet」の総アスコルビン酸含量と残存率

品種名	含量 (μg/g いも)		残存率 (%)
	生いも	蒸しいも	
ベニアズマ	275.88 ^a ± 38.93	154.27 ^a ± 31.94	56.53 ^a ± 11.42
ほしキラリ	244.70 ^{ab} ± 50.48	170.20 ^a ± 26.20	70.64 ^b ± 9.28
クイックスweet	218.26 ^b ± 50.20	175.18 ^a ± 44.38	80.39 ^c ± 8.44

残存率 = 蒸しいもにおける含量 / 生いもにおける含量 × 100

各数値は13回の測定の平均値 ± 標準偏差を表す。

各列の異なる英文字を付した平均値間にはTurkey多重検定で5%水準の有意差がある。

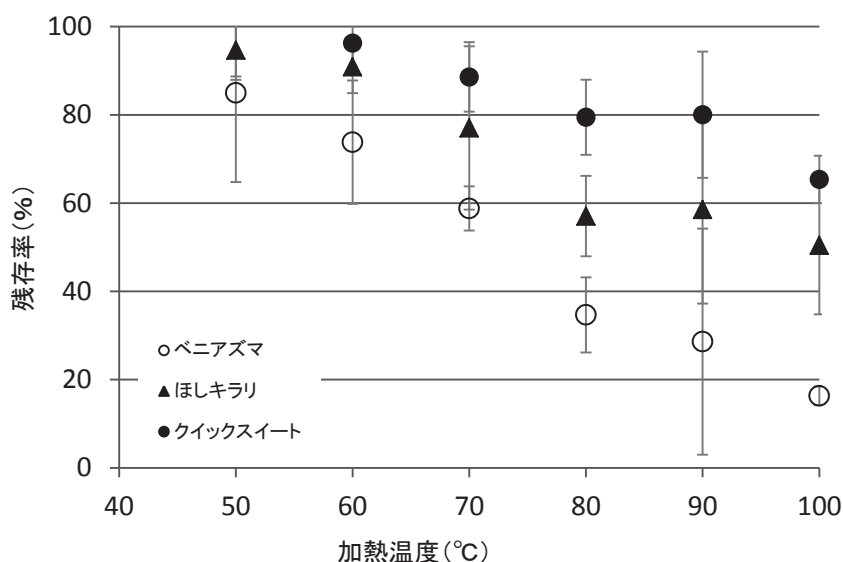


図1 塊根の加熱温度と加熱後の総アスコルビン酸残存率との関係 (n = 6)

点と縦棒は6回の実験で得られた測定値の平均と標準偏差を各々表す。

約3.5gの塊根片をガラス管に入れ、アルミブロックヒーターを用いて所定温度で20分間加熱した。

スコルビン酸残存率が高かった。これら3品種の加熱されたいもの総アスコルビン酸残存率と加熱温度との関係を図1に示した。「ベニアズマ」では、50℃で加熱されたいもにおける含量は生いもにおける含量の約85%に低下し、加熱温度が更に高くなるに従って含量は大きく低下した。これに対して「クイックスweet」では、70℃で加熱されたいもにおいても生いもにおける含量の約90%の総アスコルビン酸が検出され、さらに加熱温度が上昇しても総アスコ

ルビン酸の含量の低下は緩やかであった。「ほしキラリ」における含量は両品種の中間的な値を示して変化した。このように、でん粉糊化温度の高い品種ほど加熱に伴う総アスコルビン酸含量の減少が低い温度から認められ、また、加熱温度の上昇に伴う含量の減少が急激であった。

4 蒸したサツマイモにおけるマルトース生成とビタミンCの残存

サツマイモを加熱するとマルトース（麦

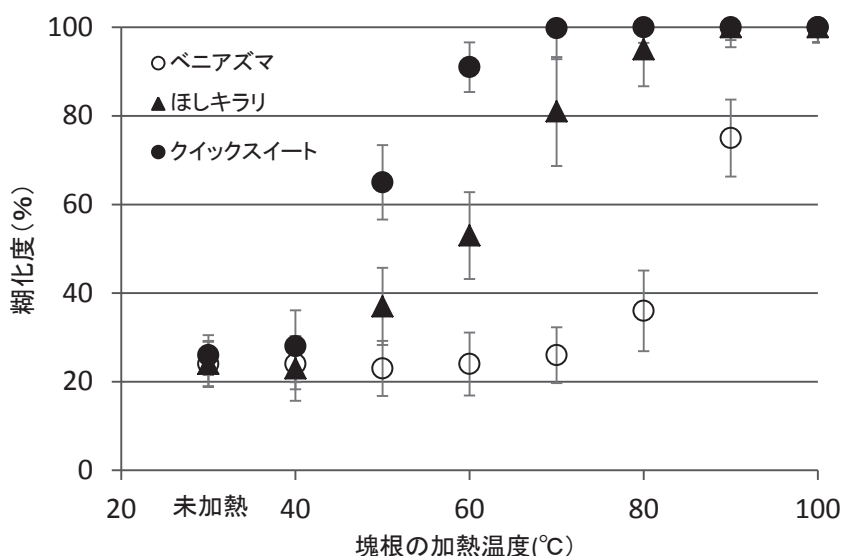


図2 塊根の加熱温度と加熱後の組織細胞内のデンプン糊化度との関係 (n=6)

点と縦棒は6回の実験で得られた測定値の平均と標準偏差を各々表す。
約3.5gの塊根片をガラス管に入れ、アルミブロックヒーターを用いて所定温度で20分間加熱した。

芽糖)が多量に生じ、糖度が大きく上昇する。マルトースは加熱によって糊化したでん粉が β -アミラーゼと呼ばれる酵素の触媒作用を介して加水分解されることで生成する。「ベニアズマ」や「高系14号」などの一般的なサツマイモに含まれるでん粉は凡そ70°Cで糊化し、 β -アミラーゼによって加水分解されるようになるが、80°Cを超えた高温になると今度は β -アミラーゼの働きが低下し、マルトース生成が抑制される。すなわち、マルトース生成が盛んに行われるのは70°C~80°Cの比較的狭い温度域に限られる。この温度域を通過する時間が長い方がマルトース生成量は増えるので、壺焼きや石焼きなどでじっくり加熱したサツマイモは甘く、電子レンジなどで急速加熱すると甘さが足りないと感じる。マルトース生成量を増やすには、このように加熱の仕方を工夫する他に、 β -アミラーゼの働きがより高温まで維持されるようにそ

の性質を改変することやでん粉をより低い温度で糊化するように改変することが有効と考えられる。「クイックスweet」や「ほしキラリ」のような糊化開始温度の比較的低いでん粉を含む品種では、「ベニアズマ」に比べて加熱過程のより早い段階(より低い温度)から塊根のでん粉が糊化し始め(図2)、それに伴ってマルトース生成の開始も早まった(図3)。でん粉糊化(開始)温度の違いを反映したと考えられる塊根の加熱温度とマルトース生成のタイミングとの関係には、図1に示した塊根の加熱温度と総アスコルビン酸(ビタミンC)含量との関係との類似性が認められ、でん粉糊化開始温度が低い品種の塊根ほど加熱に伴うマルトース生成が低い温度で始まり、総アスコルビン酸(ビタミンC)含量がより高温まで維持されると考えられた。野菜や果物のジュースを瓶詰や缶詰にする際、マルトースを添加しておくとか殺菌加熱によるビ

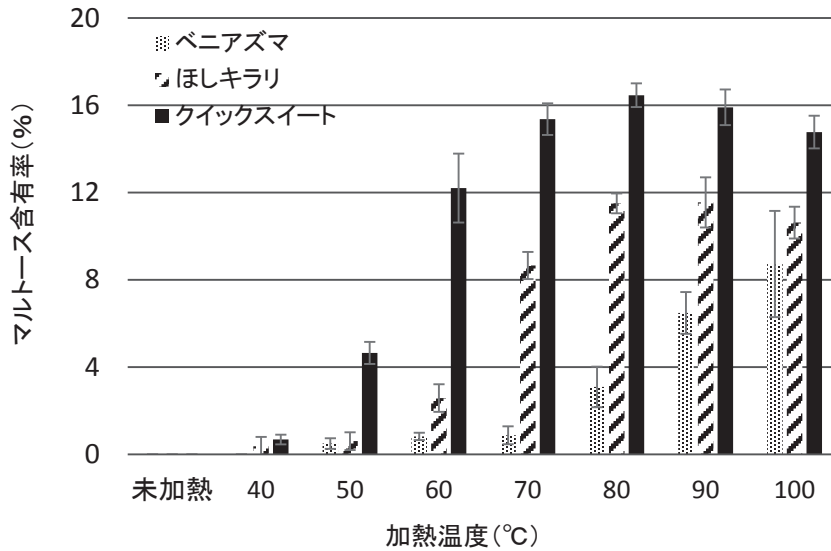


図3 塊根の加熱温度と加熱後の塊根におけるマルトース含有率との関係 (n=5)

太い縦棒と細い縦棒は5回の実験で得られた測定値の平均と標準偏差を各々表す。
約5gの塊根みじん切りをガラス管に入れ、アルミブロックヒーターを用いて所定温度で20分間加熱した。

表2 リンゴ、ジャガイモならびにマルトースが生成しないサツマイモ「オキコガネ」の生および蒸した植物体における総アスコルビン酸の含量と残存率

試料	含量 (μg/g)		残存率 (%)
	生	蒸し	
リンゴ	154.27 ± 31.94	56.53 ± 11.42	38.10 ± 4.84
ジャガイモ	170.20 ± 26.20	70.64 ± 9.28	50.89 ± 9.36
オキコガネ	175.18 ± 44.38	80.39 ± 8.44	48.60 ± 12.2

残存率=蒸した塊根における含量/未加熱塊根における含量×100
各数値は4回の実験で得られた測定値の平均±標準偏差を表す。

タミンC含量の低下が抑制されるという過去の報告もあることから、マルトースが加熱に伴う総アスコルビン酸含量の低下を抑制する効果を持つと推論された。 β -アミラーゼ活性が著しく低く、加熱してもマルトースが殆ど生成しないサツマイモ品種「オキコガネ」の蒸した塊根における総アスコルビン酸含量は、同じくマルトース生成能を持たないジャガイモ(「男爵芋」、「メイクイン」、「キタアカリ」)と同程度に、加熱前の含量の50%以下に低下したこと

(表2)も上記推論を支持するものと考えられた。

5 おわりに

でん粉糊化温度の異なるサツマイモ3品種について、蒸したサツマイモ(いも)のビタミンC(総アスコルビン酸)残存率を調べた。残存率は糊化開始温度が約75℃の「ベニアズマ」で約56.5%、約63℃の「ほしキラリ」で約70.4%、約52℃の「クイックスイート」で約80.4%と、糊化温度が低

い品種ほど蒸しいもにおけるビタミンC残存率が高かった。加熱に伴うビタミンC含量の変化はでん粉の糊化に伴うマルトース含量の経時変化と対応し、糊化開始温度が低い品種ほどマルトース生成が低温で始まり、ビタミンC含量が高温まで維持された。蒸したサツマイモにおけるビタミンC含量の維持にはマルトースの生成が関与すると考えられた。

本稿は筆者らによる論文（日本食品科学工学会誌第63巻p.433-438）⁴⁾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。

引用文献

- 1) 農林水産省政策統括官付地域作物課、いも・でん粉に関する資料2016（2016）
- 2) 倉田忠男、ビタミン総合事典 日本ビタミン学会pp.391-417（2010）
- 3) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会、日本食品標準成分表2015年版
- 4) 中村善行ら、日本食品科学工学会誌 63：433-438（2016）.