総説

サツマイモの甘さに関わる糖質成分

中村 善行*

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

Carbohydrate Components Associated with Sweetness of Cooked Storage Roots of Sweet Potato Cultivars

Yoshiyuki Nakamura*

National Agriculture and Food Research Organization (NARO), 3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8517

The carbohydrate components associated with sweetness of heat-cooked sweet potato are free sugars and starch. The free sugars are glucose, fructose, sucrose and maltose, and they are mainly generated from starch. Maltose is generated after hydrolysis of gelatinized starch by beta-amylase, and the amount of generated maltose is significantly correlated with starch gelatinization temperature rather than beta-amylase activity in normal roots. The sweet potato cultivated under cooler condition increases maltose generation by heat-cooking because of its lower starch gelatinization temperature induced by change in molecular structure of amylopectin. These results suggest that the starch gelatinization plays an important role in maltose generation in sweet potato during heat-cooking. Sucrose is secondary abundant sugar in heat-cooked roots, and however it makes contribution to the sweetness as equally as maltose because its sweetness is stronger than maltose. Sucrose accumulation is observed in fresh root during storage, and it can be facilitated by lower temperature condition. The texture of heat-cooked storage root, which could affect the sensory evaluation of sweetness, is practically correlated with content of carbohydrate components such as starch. The beta-amylase is also concerned with the texture of cooked sweet potato root via enzymatic starch digestion during heating. (Accepted Apr. 20, 2020)

Keywords : sweet potato, sweetness, starch gelatinization temperature, carbohydrate, beta-amylase

キーワード : サツマイモ, 甘さ, 炭水化物, デンプン糊化温度, β -アミラーゼ

1. はじめに

サツマイモ（カンショ）は統計上、世界中で生産量が10数番目に多い主要農作物の一つであり、日本においても麦類、ダイズ、ジャガイモ（バレイショ）などとともに重要な畑作物である¹⁾。

しかしながら、近年、国内における年間需給量は最盛期（昭和30年代初頭）の15%にも満たない約80~90万ト²⁾で推移している¹⁾。用途に関しても、最盛期にはデンプン原料や家畜飼料などが多くを占めていたが、現在では、焼きいもなどとして消費される青果（約43%）および干しいもやペースト等の加工食品の素材（約14%）などが主流となっている¹⁾。それに伴い、塊根収量やデンプン含有率などに加えて食味、加工適性、貯蔵性などの品質特性が重視されるようになってきた。特に最近では、強い甘さを求める消費者の嗜好変化などを背景として、高糖度品種の育成^{2,3)}に加えて、甘さの増強に向けた栽培⁴⁾や貯蔵⁵⁾の方法、調理の仕

方^{6)~10)}などにも再び、目が向けられている。サツマイモの甘さの主役はマルトースとスクロースとであるが、前者は加熱により糊化したデンプンから生成されるため、未加熱塊根には含まれない¹¹⁾。一方、後者は、一般的なサツマイモ品種では含量が前者の半分にも満たないものの甘味が強いつことから、甘さに対してほぼ同程度に寄与する¹¹⁾。

農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）では今世紀に入り、従来の品種に比べて格段に糖度が高い「クイックスイート」¹²⁾、「べにはるか」¹³⁾などの新品種を世に送り出すとともに、それらが高糖度である要因について科学的解明に取り組んできた^{14)~16)}。本稿では、それらを改めて紹介しながら、サツマイモの甘さに関与する炭水化物成分¹⁷⁾について概説する。

2. サツマイモの甘さに関わる糖質成分

収穫直後のサツマイモ塊根の重量の約35%を占める乾物の9割以上は炭水化物で、そのうちの細胞壁多糖類と遊

離糖類を除いた約 8 割がデンプンである¹⁸⁾。デンプン自体には呈味性はないが、その構成成分であるグルコースは、スクロースなどと同様に、遊離糖類に属する代表的な甘味物質である。サツマイモの未加熱塊根に含まれる主な遊離糖類は単糖のフルクトースおよびグルコースと二糖のスクロース¹⁹⁾で、スタキオース等のオリゴ糖類は検出されないか、極く僅か検出される²⁰⁾にすぎない。塊根を加熱調理すると、前記の単糖およびスクロースに加えて新たにマルトースが多量に生成し、遊離糖類の総含量が飛躍的に増加する。一方、未加熱塊根に含まれる上記 3 種の遊離糖類の含量は加熱によってほとんど変化しない。加熱調理後の塊根におけるこれら遊離糖類の重量当たりの含有率は、フルクトースとグルコースがいずれも約 0.5 wt.%, スクロースが 2~4 wt.%, マルトースが 0~15 wt.% であるが、これらの値は品種によって異なる。国内における育成品種や育種素材約 50 点を加熱された塊根の糖組成によって分類すると、他の品種等と比べて、フルクトースとグルコースの含量は高く、スクロースの含量は低いタイプ、逆にフルクトースとグルコースの含量は低く、スクロース含量は高いタイプ、マルトースが殆ど含まれないタイプの 3 つに分けられる²¹⁾。フルクトースおよびグルコースは主にスクロースの分解により生成するため、両単糖の含量とスクロース含量とは一方が高いと他方は低い傾向が認められる。一方、「サツマヒカリ」や「オキコガネ」など加熱しても殆ど甘みが増えない品種・系統²²⁾のサツマイモ塊根では、糊化したデンプンのアミロースおよびアミロペクチンの非還元末端から順次マルトースを遊離する加水分解反応を触媒する酵素 β -アミラーゼ²³⁾の活性が一劣性遺伝子の変異²⁴⁾²⁵⁾によって完全にあるいは殆ど欠失している。

上述のように、サツマイモの甘さに関与する主な遊離糖類はフルクトース、グルコース、スクロース、マルトースの 4 種類であるが、これらの甘さは一様ではなく、スクロースの室温における甘味度を 1.0 とした場合、フルクトース、グルコース、マルトースのそれは各々約 1.1, 約 0.7, 約 0.4 である²⁶⁾。そのため、これら遊離糖の含量を各々の甘味度に応じて重み付けしたうえで足し合わせた値は、各々の含量を単純に合計した値よりもサツマイモの甘さの官能的な評価との相関が高い²⁷⁾。

一方、サツマイモの品種開発に当たって多数の交配後代をスクリーニングする際などには甘さの指標として Brix 糖度を用いることが多い。これは、液体の屈折率が溶質濃度に応じて変化する現象に基づいて作製されている屈折率糖度計による測定値²⁸⁾で、最近ではサツマイモに限らず、野菜や果物の美味しさや甘さのアピールにも利用されている。Brix 糖度は溶けている糖類が一種類であればその濃度を表すと考えて差し支えないが、サツマイモ塊根には前述のように複数の遊離糖類が含まれているうえにデキストリンなど遊離糖類以外の固形物も溶けているため、Brix 糖

度と遊離糖類の総含量とは厳密には一致しない²⁹⁾。しかし、加熱前後の Brix 糖度の変化量は、加熱後の塊根に含まれる遊離糖類のなかで圧倒的に量が多く、甘さに最も寄与しているマルトースの含量と高い相関 ($r \approx 0.9$)¹⁴⁾¹⁵⁾を有したことから、加熱調理されたサツマイモの甘さの目安として Brix 糖度の値を利用することは可能と考えられる。

3. 加熱調理におけるマルトース生成量に及ぼす β -アミラーゼ活性およびデンプン糊化温度の影響

収穫後間もないサツマイモ塊根に含まれるデンプンは α -アミラーゼなどによる分解が生じていない³⁰⁾ため、マルトース生成のキーエンザイムである β -アミラーゼの作用を受けない。したがって、収穫後 1~2 ヶ月間を適切な環境下で貯蔵した塊根を加熱した後に検出されるマルトースは加熱調理の過程で生成したものと考えられる。サツマイモは β -アミラーゼが豊富な作物³¹⁾で、その活性上昇に伴ってマルトース生成量が増加する³²⁾と考えられるが、一般的な食用品種・系統のサツマイモでは活性が約 0.2 mmol maltose/min/mg protein を超えると、生成量が酵素活性に依じて増加することはなかった¹⁵⁾(Fig. 1)。現在、食用として普及している品種では大半の塊根で同酵素活性がこの閾値を上回っており、マルトース生成量には β -アミラーゼ活性以外の要因が大きく影響することが示唆された。マルトース生成のキーエンザイムである β -アミラーゼは未糊化の生デンプンには作用しないので、マルトース生成はデンプン糊化が前提となる³³⁾。サツマイモ塊根に含まれるデンプンが加熱によって糊化し始める温度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・系統で約 75℃である³⁴⁾。一方、サツマイモの β -アミラーゼは 60℃を超えると活性が低下し始め、75℃では 40~50℃とされる至適温度域における活性の約 30% 程度しか残らない³⁵⁾。したがって、サツマイモが加熱されてデンプンが糊化し始める温度に達した時にはマルトース生成に欠かせない酵素の活性はかなり低下していることになる。この点で、品温を徐々に上げて 70~80℃の温度域にできるだけ長時間曝す石焼きや壺焼きなどの加熱方法^{36)~39)}はサツマイモの甘みを増す上で合理的な調理方法と考えられる。一方で、デンプン糊化が β -アミラーゼ活性の低下が生じない低い温度で始まれば、マルトース生成量が増加すると考えられる。サツマイモデンプンの糊化開始温度は、品種・系統間で約 50℃から約 80℃までの広範囲に分布⁴⁰⁾し、栽培、生育時の環境等によっても変動しやすい^{41)~43)}ことから、糊化開始温度の多様なデンプンを含む塊根を得ることが可能である。そこで様々な品種・系統や野生種・遺伝資源等を供試し、マルトース生成量と Rapid Visco Analyzer (RVA)TMを用いて測定したデンプン糊化開始温度との関係を調べた。その結果、両者には統計的に有意な負の相関が認められ、特に、現行普及品種の健全な塊根の多くが含まれる β -ア

Fig. 1 Relationship between the beta-amylase activity of fresh storage roots and maltose concentration in steamed storage roots in Japanese sweet potato cultivars and breeding lines (Modified from Nakamura et al. 2014¹⁵⁾)

Fig. 2 Relationship between the pasting temperature of starch isolated from fresh roots and the maltose concentration in steamed storage roots of sweet potato with low (A) and high (B) beta-amylase activity (Modified from Nakamura et al. 2014¹⁵⁾)

ミラーゼ活性が 0.2 mmol/min/mg protein を超える塊根集団では活性がこの値以下の塊根集団と比較して有意に相関が高かった¹⁵⁾ (Fig. 2)。したがって、食用普及品種におけるマルトース生成量に関わる要因としては、 β -アミラーゼ活性よりデンプン糊化開始温度が重要と考えられた。

2005 年に品種登録されたサツマイモ品種「クイックスイート」⁸⁾ はその名の通り、一般的なサツマイモでは十分な甘さが得られない電子レンジ等による急速加熱⁴⁴⁾ でも甘く調理することが可能である。これは、同品種の塊根に含まれるデンプンの糊化開始温度が約 55℃ と一般的な品種

に比べて約 20℃ も低い⁴⁵⁾ ことに起因する。デンプンの組織細胞内での糊化開始温度は細胞外に単離された場合と異なる場合もある⁴⁶⁾ が、サツマイモ塊根細胞内のデンプンの大半 (90%) が糊化される加熱温度は、一般的な品種「ベニアズマ」の約 90℃ に対して、「クイックスイート」のそれは約 60℃ と低く、 β -アミラーゼ活性が低下しない加熱初期段階からマルトース生成が始まる¹⁴⁾⁴⁷⁾。その結果、マルトース生成量が一般的な品種に比べて多くなる。これに加えて、加熱中の塊根における β -アミラーゼの活性が「ベニアズマ」などの糊化開始温度の高い品種に比べてより高

Fig. 3 The activities of beta-amylase isolated from the storage roots of “Beniazuma” and “Quick Sweet” heated at various temperatures (Modified from Nakamura et al. 2014⁴⁹)

The plots and vertical bars represent the mean and the standard deviation of 10 individual experiments.

温域まで維持された¹⁴⁾ (Fig. 3) こともマルトース生成量の増加に寄与したと考えられる。β-アミラーゼの熱安定性はデンプンの糊化とともに加熱調理されたサツマイモ塊根におけるマルトース生成にとって重要な要素である⁴⁸⁾ が、加熱塊根から抽出した酵素自体の耐熱性は両品種で殆ど違いがないか、むしろ「クイックスweet」の方が低かった¹⁴⁾。デンプン糊化開始温度が低いサツマイモ品種では加熱塊根のアスコルビン酸残存率が高かった⁴⁷⁾ ことなどから類推すると、デンプンの糊化がより低い温度で始まることがβ-アミラーゼの構造や機能の維持に何らかの役割を果たした可能性が示唆される。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-アミラーゼの活性低下が同時進行する下で生じる³⁷⁾ ことから、両者が互いに影響すると思われるが、そのメカニズムには未解明な点も多い。

低温糊化性デンプンを含むサツマイモは、マルトース生成量が多いだけでなく、デンプンの糊化不良が主な原因とされる干しいもの中白障害⁴⁹⁾⁵⁰⁾ が殆ど発生しないので干しいも原料に適している。抽出されたデンプンの耐老化性が高く、デンプンの液化や糖化に要するエネルギーが少ないなど利点が多い⁵¹⁾ ことから、「クイックスweet」に続いて、「ほしキラリ」(干しいも原料用)⁵²⁾、「こなみずき」(デンプン原料用)⁵³⁾⁵⁴⁾ などの新品種が続々と開発された。これら一連のサツマイモのデンプン粒には偏光顕微鏡により亀裂が観察される⁵⁵⁾、未加熱塊根片がアルカリ溶液中で容易に崩壊する⁵⁶⁾ などの特徴が認められることから、デンプン糊化開始温度の測定に依らずともデンプン糊化温度の低い塊根をスクリーニングすることができる。

デンプンの糊化特性にはアミロースならびにアミロペク

チンの分子構造や両者の存在比などが大きく関わっている。サツマイモデンプンのアミロース含有率は、稲、麦などの穀類やジャガイモなどのデンプンに比べて変動幅が狭く、国内の既存品種で 13 wt.%~25 wt.%, 海外の遺伝資源を含めても 12 wt.%~30 wt.% の範囲に収まっていた⁵⁷⁾ が、近年、遺伝子操作技術を用いてアミロース含有率を大幅に変えたサツマイモ変異体が作出され、従来のサツマイモとは異なる糊化特性を有することが報告されている⁵⁸⁾⁵⁹⁾。

もう一方のデンプン構成成分であるアミロペクチンはグルコース分子が重合した側鎖を多数もつ分岐性を有する。側鎖の重合度はサツマイモ、ジャガイモ、トウモロコシなどでいずれも 6~36 の範囲に分布するが、サツマイモデンプンは重合度の低い側鎖の占める割合が多いため、穀類やジャガイモのデンプンに比べて、糊化温度が低く、糊化ゲルが軟らかく⁶⁰⁾、老化しにくい⁶¹⁾ 傾向がある。これは、アミロペクチン側鎖にグルコース重合度の低い単位鎖が多くなるとデンプンの結晶性が弱まるため⁶²⁾ と考えられている。アミロペクチンのグルコース側鎖の合成には可溶性デンプン合成酵素 (SS) II が関与するが、同酵素の遺伝子発現を阻害したサツマイモではグルコース重合度の低い側鎖の割合が増えて、デンプン糊化温度 (RVA で測定) が 10~15 °C 低下した⁶³⁾。同質 6 倍体であるサツマイモ⁶⁴⁾ には SS II 遺伝子のアイソフォームが 6 個存在するが、「クイックスweet」などそれら全てに変異がある品種のデンプン糊化温度は 55~60 °C と最も低く、糊化開始温度が 65~70 °C の品種 (「ほしキラリ」や「べにはるか」など) および同温度が 70~73 °C の系統の変異型アイソフォームの数はそれぞれ 5 および 4 と、変異型アイソフォームの数が減少するにしたがって糊化開始温度が上昇し、3 個以下では一般品種並みの約 75 °C であった⁶⁵⁾。このように、デンプン糊化開始温度の低下は SS II 遺伝子における変異と関係がある。

このような遺伝的要因以外に、栽培環境条件もデンプンのアミロース含量や糊化特性に影響を及ぼす。なかでも栽培生育中の温度はデンプン糊化開始温度に影響を及ぼす大きな要因^{66)~68)} であり、気温や土壌温度が低下すると糊化開始温度が低下する。サツマイモに関しても、栽培土壌温度の低下に伴うデンプン糊化開始温度の低下が報告されている⁶⁹⁾。国内では近年、温暖化を背景とした年間平均気温の上昇に伴ってサツマイモの商業生産可能な地域が北海道や標高の高い中山間地などに拡大している。これらの地域で収穫されたサツマイモは東日本や西日本の平地産に比べて加熱調理後の糖度が高く^{70)~72)}、デンプン糊化開始温度の低下 (Fig. 4) に伴うマルトース生成量の増加が認められた^{15)73)~75)} (Table 1¹⁵⁾)。サツマイモの糖度に影響する温度以外の栽培環境要因としては、土壌の特性⁷⁶⁾ や水分⁷⁷⁾、施肥の組成⁷⁸⁾ や量⁷⁹⁾⁸⁰⁾ 等が報告されている。

Table 1 Maltose concentration, beta-amylase activity, starch content and starch pasting temperature of “Beniazuma” and “Beniharuka” harvested in “Ibaraki” and “Hokkaido” (Modified from Nakamura et al. 2014¹⁵⁾)

Variety	Harvest location	Maltose concentration (Wt.%)	Beta-amylase activity (Unit †)	Starch content (%)	Starch pasting temperature (°C)
Beniazuma (n=6)	Hokkaido	8.55±1.36**	0.108±0.044	18.62±3.36	66.3±2.07***
	Ibaraki	6.23±1.18	0.133±0.031	22.67±2.00	73.2±0.71
Beniharuka (n=4)	Hokkaido	13.4±1.28*	0.228±0.024	20.12±2.67	64.4±0.91***
	Ibaraki	10.3±1.28	0.281±0.044	20.87±2.91	69.4±0.54

•*, **, *** indicate significant differences between the samples harvested in Hokkaido and Ibaraki at $p<0.05$, $p<0.01$, and $p<0.001$ as determined by Tukey's test, respectively.

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

The number of samples examined is shown in parentheses below the name of each variety.

Fig. 4 Degree of intracellular starch gelatinization in heated storage roots of “Beniazuma” harvested in Ibaraki and Hokkaido (Modified from Nakamura et al. 2014¹⁵⁾)

4. マルトース以外の糖質成分とその代謝

加熱調理後のサツマイモ塊根の甘さに関与する遊離糖でマルトースに次いで含有率が高いスクロースは常温における甘味度がマルトースの約 2.5 倍で甘みの持続性も強い⁸¹⁾ため、甘さに果たす役割は大きい。スクロースはマルトースとは異なり、加熱に伴う含量の増減がほとんどないので、未加熱塊根における含量が重要となる。塊根のスクロース含量は品種によって異なり、現在の主要な食用品種のなかでは、「ベニアズマ」や「クイックスイート」などの含有率が約 4.0 Wt.と高く、「高系 14 号」や「タマユタカ」（干しいも原料用）など昭和 2, 30 年代の品種⁸²⁾の含有率は約 2.0 Wt.% と低い。

スクロースは最も重要な光合成産物で、デンプン合成の出発物質でもあるためか、マルトースとは異なり、これを含まないサツマイモの系統や野生種は知られていない。サ

ツマイモのスクロース含量はまた、品種・系統による遺伝的特性以外に栽培環境や貯蔵条件によっても大きな影響を受け、他の多くの作物と同様、生育時や貯蔵時の温度低下に伴って増加することが知られている。これは、低温環境下における植物のストレス防御反応の一種で、エネルギー源であるグルコースを獲得するためにデンプンがスクロースを経てグルコースへと代謝される過程の一環と解釈されている。

温度低下に伴うスクロースの蓄積は古くから知られ、ニンジンなど根菜類の雪下栽培⁸³⁾、ジャガイモの低温糖化⁸⁴⁾などとして広く利用されている。前節で述べたように、近年、国内ではサツマイモ産地の高緯度、高標高地域への拡大が見られるが、これらの地域では栽培・生育期間中の気温が従来のサツマイモ主産地に比べて低いため、マルトースに加えてスクロースの含量も高い¹⁵⁾。また、デンプンの糖化が遅く、貯蔵中に糖度が上がりにくい「高系 14 号」の塊根を収穫直後に通常の貯蔵温度（約 13°C）より数°C 低い温度で数週間～1ヶ月間ほど貯蔵すると、スクロースーリン酸合成酵素（SPS）の活性上昇によるスクロース合成の促進に加えて酸性インペルターゼによるスクロースの転化が抑制される結果、スクロース含量が増加する⁸⁵⁾。これらの糖質関連酵素は低温貯蔵されたパレイショにおける遊離糖類の増減にも深く関与している^{86/87)}。

また、干しいも生産では、収穫した塊根を加工前に 10°C 程度の温度環境下に約 1ヶ月間曝すことが一般に行われている。国産品の 9 割以上を生産する干しいも主産県である茨城県では、デンプン原料用を転用した往年の干しいも原料用主力品種である「タマユタカ」のデンプン分解酵素活性が低く、スクロース含有率が上がりにくい⁸⁸⁾ため、このようなデンプンのスクロースへの代謝（糖化）を促進する低温処理が農家などに推奨されている⁸⁸⁾。未加熱サツマイモ塊根の搾汁に含まれる遊離糖類は殆どがスクロースであるから、スクロース含量の増加は搾汁の糖度を測定することで検知できる。茨城県内の干しいも生産者らはスクロース

含量の増加に伴って搾汁の Brix 糖度が収穫直後の約 10% から約 13.0% に上昇した後に加工を開始する⁸⁹⁾。

近年では、干しいもだけでなく焼きいもにも柔らかい食感や強い甘みを求める傾向が若年層を中心に強く、食感がネっとりあるいはしっとりとした粘質系のテクスチャをもち、スクロース含量の高い焼きいもが人気を博している⁹⁰⁾。2010 年に品種登録された「べにはるか」はデンプンの糖化速度が速く、貯蔵中にデンプンがスクロースに代謝されやすいため、高糖度でしっとりとした食感の焼きいもや干しいもの原料として適していることから、急速に産地が拡大している⁹¹⁾。一方、「高系 14 号」やその派生系統のような糖化の比較的遅い品種のサツマイモ産地でも出荷前低温貯蔵などの技術を活用して高糖度を謳ったサツマイモを青果用市場に出荷し、他産地との差別化を図る動きも見られる。

サツマイモ塊根に含まれている単糖類はフルクトースとグルコースで、両者の重量含有率は、マルトースやスクロースに比べて 1 桁少ない 0.5~1.0% の範囲で、ほぼ等しい。しかしながら、甘味度は両者で大きく異なり、スクロースと比較してフルクトースが同等かそれ以上である一方で、グルコースの場合は 6 割程度に過ぎない⁸¹⁾。また、フルクトースの甘味は冷温で感度が高いが温度上昇とともに急速に消失しやすい、グルコースの甘みは舌に残りやすいなど、それぞれの甘さには特徴がある⁸¹⁾。そのため、これら二種の単糖類の存在はサツマイモの甘さに多面性をもたらす要因として重要と考えられる。

両単糖の含有率および収穫後のその変動は品種によって大きく異なる。「高系 14 号」や「タムユタカ」などにおける含有率は比較的高く、収穫直後では 1.0% を超えることもあるが、その後の貯蔵期間の経過に伴って減少する。一方、「ベニアズマ」や「べにはるか」などの含有率は前者に比べて低く、収穫直後の塊根では HPLC で検出されないことが多いが、貯蔵期間の経過に伴ってスクロースが分解されるに従って検出されるようになる。フルクトースおよびグルコースの含量はスクロースをこれらの単糖類に分解する反応を触媒する酸性インペルターゼの活性と関連を有し⁹²⁾、貯蔵中における同酵素活性の消長と両単糖およびスクロースの含量変化との関連が報告されている^{93/94)}。また、サツマイモ塊根を低温で 2~4 週間程度貯蔵するとこの転化反応を触媒する酸性インペルターゼの活性が低下し、両単糖類の含量が低下する。

5. サツマイモの甘さに関わる塊根のテクスチャ

テクスチャは、甘さと並んでサツマイモの美味しさに関わる重要な要素であり⁹⁶⁾、食用品種の開発研究においては必須の調査項目である。いも類やカボチャなどのデンプン含量の高い作物のテクスチャは肉質とも呼ばれ、その違いは、水分が少なく、ホクホクした食感を意味する「粉質」と水分が多く、ネっとりした食感を意味する「粘質」とい

う用語で表現される⁹⁶⁾。テクスチャが甘さの官能的評価に及ぼす影響は少なくなく、一般的に、粘質なテクスチャの食品は甘さを感じやすい。「安納いも」、「べにはるか」など高糖度焼き芋として近年、市場で高い人気を集めるサツマイモ品種・系統はいずれも粘質傾向のテクスチャを示す⁹⁷⁾が、このことも甘さの増感に寄与していると考えられる。

サツマイモ塊根のテクスチャ（肉質）はこれまで、特定の品種（「高系 14 号」）との官能的比較に基づいて分類、表現されてきた⁹⁶⁾が、これを時代や地域を跨いで伝えるためには数値等によって客観的に表現することが必要となる。テクスチャを物理的および化学的測定や心理学的手法などを駆使して客観的に評価する研究は各種食品についてこれまでに多数報告されている⁹⁸⁾が、サツマイモに関するものの^{99)~103)}は少ない。加熱調理されたサツマイモやジャガイモのテクスチャに関与する成分要因としては、未加熱塊根の乾物やデンプンの含量^{99)~101)}、Ca 結合性非水溶性ペクチン質の含量^{102/104)}などが報告されており、それらに基づいたテクスチャの数値化¹⁰³⁾が試みられている。テクスチャと塊根のデンプン含量との関係については、未加熱塊根よりも加熱後の塊根に残ったデンプンの含量がテクスチャと相関が高かった¹⁰⁵⁾。β-アミラーゼ活性が高く、マルトース生成量の多い塊根は加熱に伴うデンプン含量の減少量が大きく、粘質なテクスチャになることから、マルトース生成はテクスチャに影響を与えていると考えられる。このようにサツマイモにおいてテクスチャと甘さとの相互に影響を及ぼす点は興味深く、更なる研究が望まれる。

6. おわりに

日本では現在、少子高齢化や人口減少等による市場の縮小に伴って農産物消費の減退が続く、サツマイモも消費量の減少傾向に歯止めがかからない状況にある。その一方、冷凍焼き芋や干しいもなどの農産加工品の東南アジア諸国などへの輸出が最近、急速に伸びつつある。この背景には、国産サツマイモの食味品質が高いことがある。特に、今世紀になって相次いで登録された低温糊化性デンプンを含む品種は、加熱塊根の糖度が高く、テクスチャが粘質傾向で、食味品質が消費者の嗜好に合致している。その反面、これらの品種はデンプンの糖化が速いために貯蔵中の品質劣化が生じやすいなどの欠点が指摘されている。サツマイモ消費はかつて秋冬に限られていたが、近年は、冷凍技術や流通システムの進歩などによって周年化している。そのためには、収穫した塊根を高い品質を維持したまま翌年の春夏まで貯蔵することが必要で、新たな品種開発とともに加工、流通研究の進展に期待したい。

要 約

サツマイモの甘さに関わる遊離糖類はグルコース、フルクトース、スクロースおよびマルトースで、それらは主に

デンプンから生成される。糊化デンプンの β -アミラーゼによる加水分解で生じるマルトースは酵素活性の上昇に伴ってその生成量が増加するが、活性が0.2mmol maltose/min/mg proteinを超えると増加が抑制された。 β -アミラーゼ活性がこのように高い正常な塊根ではマルトース生成量はデンプン糊化開始温度と相関が高かった。また、冷涼な環境で栽培すると、アミロペクチンの分子構造変化に伴ってデンプン糊化開始温度が低下し、マルトース生成量が増加した。これらの結果から、マルトース生成にはデンプン糊化が重要な役割を果たすと考えられる。マルトースに次いで含量の多いスクロースはその強い甘味から甘さに対する寄与はマルトースとほぼ同等である。スクロースは貯蔵中のデンプン分解に伴って塊根に蓄積するが、貯蔵温度が低下すると、スクロース代謝関連酵素の活性が変化して蓄積量が増加する。甘さの官能評価に影響を及ぼす塊根のテクスチャは加熱に伴うマルトース生成後に塊根に残存するデンプン含量と密接な関係が認められた。

本稿では、筆者が農研機構作物研究所（現次世代作物開発研究センター）のサツマイモ育種・利用技術開発に関する研究グループにおいて携わった食味および肉質関連の成分研究の結果に基づき、サツマイモの甘さに関する国内研究を中心に紹介した。研究の実施に当たりご指導ならびにご支援を賜った関係各位に深く感謝を申し上げます。また、執筆をお勧めくださった農研機構食品研究部門食品加工流通研究領域長木村啓太郎博士に御礼を申し上げます。

文 献

- 農林水産省政策統括官付地域作物課 (2018). いも・でん粉に関する資料.
- 吉永 優 (2010). 甘しょ品種課題と育種の基本方針等—総括および九州沖縄農業研究センターにおける甘しょ育種について—, 特産種苗, **6**, 8-16.
- 高田明子 (2013). 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.
- 松本 淳 (2002). 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, **46** (1), 86-90.
- 宮崎丈史 (1993). 青果用サツマイモの品質特性と貯蔵性に関する研究. 千葉県農業試験場特別報告, **24**, 1-62.
- 安藤真美, 山岸拓人, 和田美香, 中川圭一, 松田廣子 (2009). 焼き芋ホイルのマルトース生成における有効性. 愛知, 日本食品科学工学会第56回大会講演要旨集, p. 117.
- 松田寛子 (2010). マイクロ波加熱によるサツマイモの糖度変化. 東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科修士学位論文.
- 片寄眞木子, 藤本滋生 (2014). 家庭での焼きいもの作り方, 焼きいも工場での製造, 「焼きいも事典」, pp. 155-162.
- 根岸由紀子 (2010). 調理法, 「サツマイモ事典」, pp. 226-228.
- 片寄眞木子 (2015). 家でも焼きいも作れます!, 「焼きいもが, 好き!」, 日本いも類研究会「焼きいも研究チーム」, (株)農文協プロダクション, 東京, pp. 116-119.
- 津久井亜紀夫 (2015). 焼きいもの「甘さ」とは?, 「焼きいもが, 好き!」, 日本いも類研究会「焼きいも研究チーム」, (株)農文協プロダクション, 東京, pp. 79-85.
- 片山健二, 田宮誠司, 藏之内利和, 小巻克巳, 中谷 誠 (2003). サツマイモ新品種「クイックスイート」. 作物研究所研究報告, **3**, 35-52.
- 甲斐由美, 境 哲文, 片山健二, 熊谷 亨, 石黒浩二, 中澤芳則, 山川 理, 吉永 優 (2017). サツマイモ新品種「べにはるか」の育成. 九州沖縄農業研究センター報告, **66**, 87-119.
- Nakamura, Y., Ohara-Takada, A., Kuranouchi, T., Masuda, R., and Katayama, K. (2014). Mechanism for maltose generation by heating in the storage roots of sweet potato cultivar “Quick Sweet” containing starch with a low pasting temperature. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kugaku Kaishi)*, **61**, 62-69 (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).
- Nakamura, Y., Kuranouchi, T., Ohara-Takada, A., and Katayama, K. (2014). The effects of β -amylase activity and starch pasting temperature on maltose generation in steamed storage roots of sweet potato. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kugaku Kaishi)*, **61**, 577-585 (中村善行, 藏之内利和, 高田明子, 片山健二. 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, 日本食品科学工学会誌).
- Nakamura, Y., Kuranouchi, T., Ohara-Takada, A., Masuda, R., Kumagai, T., and Katayama, K. (2018). Maltose generation by beta-amylase and its relation to eating quality of steamed storage roots of sweet potato cultivars, including recently developed varieties in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly*, **52**, 7-16.
- Nakamura, Y. (2019). Quality evaluation of sweet potato products. In “Sweet Potato, chemistry, processing, and nutrition,” ed. by Tai-Hua Mu and Jaspreet Singh, Academic press, London, pp. 349-379.
- 高畑康浩 (2012). いもの成分, 「サツマイモ事典」第1版, (財)いも類振興会, (財)いも類振興会, 東京, pp. 111.
- Picha D.H. (1986). HPLC Determination of sugars in raw and baked sweet potatoes. *J. Food Sci.* **50**, 1189-1190.
- Den, T.V., Biermann, C.J., and Marlett, J.A. (1986). Simple sugars, oligosaccharides, and starch concentrations in raw and cooked sweet potato. *J. Agric. Food Chem.*, **34**, 421-425.
- Takahata, Y., Noda, T., and Nagata, T. (1992). Varietal diversity of free sugar composition in storage root of sweet potato. *Jpn. J. Breed.*, **42**, 515-521.
- 吉永 優 (2012). 低糖, 「サツマイモ事典」第1版, (財)いも類振興会, (財)いも類振興会, 東京, pp. 158.
- 坂野好幸 (1989). β -アミラーゼ, 「澱粉・関連糖質酵素実験法」, 中村道徳, 貝沼圭二編, 学会出版センター, 東京, pp. 151-163.
- Kumagai, T., Umemura, Y., Baba, T., and Iwanaga, M. (1990). The inheritance of β -amylase null in storage roots of sweet potato. *Ipomoea batatas* (L.). *Theor. Appl. Genet.*, **79**, 369-376.
- Anwar, N., Kikuchi, A., Kumagai, T., and Watanabe, N. (2009). Nucleotide sequence variation associated with β -amylase deficiency in the sweet potato *Ipomoea batatas* (L.). *Lam. Breed. Sci.*, **59**, 209-216.
- 北畑寿美雄 (2000). 甘味源としての機能, 「糖質の科学」, 新家 龍, 南浦能至, 北畑寿美雄, 大西正健編, 朝倉書店, 東京, pp. 75-77.

- 27) 高畑康浩, 野田高弘, 永田忠博 (1993). カンショ塊根遊離糖類組成の地域間比較及び遊離糖類組成と食味との関連. 九州農業研究, **55**, 43.
- 28) 斎藤祥治 (2016). 砂糖の科学, 「砂糖入門」改訂版, 斎藤祥治, 内田 豊, 佐野寿和, 日本食糧新聞社, 東京, pp.47-81.
- 29) 高田明子 (2015). 糖度と Brix の違い, いも類振興情報, **123**, 51.
- 30) 馬場 透 (1990). 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.
- 31) 竹田靖史, 檜作 進 (1976). サツマイモ β -アミラーゼ, 別冊蛋白質・核酸・酵素「植物酵素・蛋白質研究法」, pp. 438-443.
- 32) 柏木伸哉, 池田健一郎, 原田昭夫 (2007). 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.
- 33) Kiribuchi, T. and Kubota, K. (1976). Studies on cooking of sweet potato (part 1). *Journal of Home economics of Japan (Kaseigaku Zasshi)*, **27**, 418-422 (桐渕壽子, 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).
- 34) Kitahara, K., Nakamura, Y., Otani, M., Hamada, T., Nakayachi, O., and Takahata, Y. (2017). Carbohydrate components in sweetpotato storage roots: their diversities and genetic improvement. *Breeding Sci.*, **67**, 62-72.
- 35) Ogura, N., Hirato, Y., and Kazami, D. (2001). Detection of a heat-stable and insoluble form of β -amylase in sweet potatoes. *Journal of Food Science and technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi)*, **48**, 218-220 (小倉長雄, 平戸八千代, 風見大司. サツマイモ中の耐熱性不溶型 β -アミラーゼの存在, 日本食品科学工学会誌).
- 36) Ito, T., Ando, T., and Ichikawa, K. (1968). Effects of cooking processes on the saccharification of sweet potato (part 1) — The relation between heating temperature and increase of sugar contents —. *Journal of Home economics of Japan (Kaseigaku Zasshi)*, **19**, 170-173 (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).
- 37) 山口美代子, 桶上純子, 北村由香里 (1994). 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.
- 38) 小倉長雄, 稲田瑞穂, 辰田和佳子, 平戸八千代 (1998). 野菜類の β -アミラーゼについて II) さつまいもの加熱処理とマルトースの生成量. 山協学園短期大学紀要, **36**, 23-31.
- 39) 津久井亜紀夫 (2014). 焼きいもの甘味成分, 「焼きいも事典」, (財)いも類振興会, (財)いも類振興会, 東京, pp.41-46.
- 40) Katayama, K., Komae, K., Kohyama, K., Kato, T., Tamiya, S., and Komaki, K. (2002). New sweet potato line having low gelatinization temperature and altered starch structure. *Starch/Stärke*, **54**, 51-57.
- 41) Noda, T., Takahata, Y., Sato, T., Hisamatsu, M., and Yamada, T. (1995). Physicochemical properties of starch extracted from sweet potato roots differing in physiological age. *J. Agric. Food Chem.*, **43**, 3016-3020.
- 42) Noda, T., Takahata, Y., Sato, T., Ikoma, H., and Mochida, H. (1997). Combined effects of planting and harvesting dates on starch properties of sweet potato roots. *Carbohydr. Polym.*, **33**, 169-176.
- 43) Noda, T. (2001). Effect of cultivar and growth conditions on starch properties of sweet potatoes. *J. Appl. Glycosci.*, **48**, 233-238 (野田高弘. サツマイモ澱粉特性と品種ならびに栽培環境要因に関する研究).
- 44) Matsumoto, F., Hirayama, S., and Otake, Y. (1965). Studies on the cooking of sweet potato by electronic range. *J. Home Economics of Japan (Kaseigaku Zasshi)*, **16**, 284-287 (松元文子, 平山静子, 大竹蓉子. 電子レンジによる甘藷の加熱について, 家政学雑誌).
- 45) Katayama, K., Komae, K., Kohyama, K., Kato, T., Tamiya, S., and Komaki, K. (2002). New sweet potato lines having low gelatinization temperature and altered starch structure. *Starch/Stärke*, **54**, 51-57.
- 46) Kugimiya, M. and Fujimura-Ito, T. (1996). Gelatinization of starches in parenchyma cells separated from potatoes. *Journal of Food Science and technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi)*, **43**, 951-955 (釘宮正往, 伊藤 (藤村) 知子. ジャガイモから分離した細胞中に存在するデンプンの糊化, 日本食品科学工学会誌).
- 47) Nakamura, Y., Masuda, R., Kuranouchi, T., and Katayama, K. (2016). Effect of starch pasting temperature on remaining total ascorbic acid content in steamed sweet potatoes. *Journal of Food Science and technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi)*, **63**, 433-438 (中村善行, 増田亮一, 藏之内利和, 片山健二. 蒸したサツマイモ塊根の総アスコルビン酸残存率に及ぼすデンプン糊化温度の影響, 日本食品科学工学会誌).
- 48) Takahata, Y., Noda, T., and Nagata, T. (1994). 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.
- 49) Maenami, K., Ishitani, T., and Sato, R. (2005). Prevention of white spot generation and control of maltose formation in the processing of steamed sweet potato. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **52**, 172-177 (前波清隆, 石谷孝佑, 佐藤 潤. 甘藷蒸切干し製造における中白の発生防止とマルトース生成制御, 日本食品科学工学会誌).
- 50) Nakamura, Y., Kuranouchi, T., Ishida, N., Kumagai, T., and Nakatani, M. (2007). The contents of starch and water in storage roots in relation to the occurrence of white-opaque defect "Shirota" in steamed and cured slices of sweetpotato. *Jpn. J. Crop Sci.*, **76**, 576-585 (中村善行, 藏之内利和, 石田信昭, 熊谷 亨, 中谷 誠. サツマイモ蒸切干の中白障害「シロタ」発生に関わる塊根のでん粉および水分の含量, 日本作物学会紀事).
- 51) Kitahara, K., Fukunaga, S., Katayama, K., Takahata, Y., Nakazawa, Y., Yoshinaga, M., and Suganuma, T. (2005). Physicochemical properties of sweetpotato starch with different gelatinization temperatures. *Starch/Stärke*, **57**, 473-479.
- 52) 藏之内利和, 中村善行, 高田明子, 田宮誠司, 中谷 誠, 熊谷 亨 (2012). 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.
- 53) 片山健二, 境 哲文, 甲斐由美, 中澤芳則, 吉永 優 (2012). サツマイモ新品種「こなみずき」の育成. 九州沖縄農業研究センター研究報告, **58**, 15-36.
- 54) Katayama, K., Kobayashi, A., Tokimura, K., Katano, T., Yokoyama, M., and Kitahara, K. (2018). Breeding and property elucidation of a sweetpotato variety "Konamizuki" having low gelatinization-temperature starch, and technological developments of the starch production and the starch application to food. *J. Jap. Soc. Appl. Glycosci. (Ohyo Toshitsu kagaku)*, **8**, 56-62 (片山健二, 小林 晃, 時村金愛, 片野豊彦, 横山公一, 北原兼文. 低温糊化性澱粉を有するサツマイモ品種「こなみずき」の育成, 特性解明, 澱粉製造および食品利用技術の開発, 応用糖質科学).
- 55) Katayama, K., Tamiya, S., and Ishiguro, K. (2004). Starch properties of new sweet potato lines having low pasting temperature. *Starch/Stärke*, **56**, 563-569.
- 56) Kobayashi, A., Katayama, K., Sakai, T., Kai, Y., Takahata, Y.,

- and Yoshinaga, M. (2014). Rapid screening for low pasting temperature starches in sweetpotato. *Breeding Report*, **16**, 37–41.
- 57) 片山健二, 小巻克巳, 田宮誠司, 高柳謙治 (1998). サツマイモ塊根澱粉におけるアミロース含量の品種・系統間および収集地間差異. 熱帯農業, **42**, 288–295.
- 58) Shimada, T., Otani, M., Hamada, T., and Kim, S.H. (2006). Increase of amylose content of sweetpotato starch by RNA interference of the starch branching enzyme II gene (*tbSBEII*). *Plant Biotechnol.*, **23**, 85–90.
- 59) Otani, M., Hamada, T., Katayama, K., Kitahara, K., Kim, S.H., Takahata, Y., Suganuma, T., and Shimada, T. (2007). Inhibition of the gene expression for granule-bound starch synthase I by RNA interference in sweet potato plants. *Plant Cell Rep.*, **26**, 1801–1807.
- 60) Noda, T., Takahata, Y., and Nagata, T. (1995). Distributions of the amylopectin chain length of sweet potatoes differing in stages of development, tissue zone and variety. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **42**, 200–206 (野田高弘, 高畑康浩, 佐藤 哲. 生育段階, 組織部位, 品種の異なるサツマイモアミロペクチンの鎖長分布, 日本食品科学工学会誌).
- 61) Ishiguro, K., Noda, T., Kitahara, K., and Yamakawa, O. (2000). Retrogradation of sweetpotato starch. *Starch/ Stärke*, **52**, 13–17.
- 62) Noda, T., Takahata, Y., Sato, T., Suda, I., Morishita, T., Ishiguro, K., and Yamakawa, O. (1998). 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.
- 63) Takahata, Y., Tanaka, M., Otani, M., Katayama, K., Kitahara, K., Nakayachi, O., Nakayama, H., and Yoshinaga, M. (2010). Inhibition of the expression of the *starch synthase II* gene leads to lower pasting temperature in sweetpotato starch. *Plant Cell Rep.*, **29**, 535–543.
- 64) Shiotani, I. and Kawase, T. (1989). Genomic structure of the sweet potato and hexaploids in *Ipomoea trifida* (H.B. K.) Don. *Japan. J. Breed.*, **39**, 57–66.
- 65) Katayama, K., Tamiya, S., Sakai, T., Kai, Y., and Ohara-Takada, A. (2015). Inheritance of low pasting temperature in sweetpotato starch and the dosage effect of wild-type alleles. *Breeding Sci.*, **65**, 352–356.
- 66) Asaoka, M., Okuno, K., Sugimoto, Y., and Fuwa, H. (1985). Developmental changes in the structure of endosperm starch of rice (*Oryza sativa* L.). *Agric. Biol. Chem.*, **49**, 1973–1978.
- 67) Lu, T.J., Jane, J., Keeling, P.L., and Singletary, G.W. (1996). Maize starch fine structure affected by ear developmental temperature. *Carbohydr. Res.*, **282**, 157–170.
- 68) Tester, R.F., South, J.B., Morrison, W.R., and Ellis, R.P. (1991). The effect of ambient temperature during the grain-filling period on the composition and properties of starch from four barley genotypes. *J. Cereal Sci.*, **13**, 113–127.
- 69) Noda, T., Kobayashi, T., and Suda, I. (2001). Effect of soil temperature on starch properties of sweet potatoes. *Carbohydr. Polym.*, **44**, 239–246.
- 70) 高濱雅幹 (2014). 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.
- 71) 桐村史悠, 足立文彦, 門脇正行, 松本真悟, 小葉田亨 (2016). 中国山地の標高環境を活用した高糖度サツマイモ栽培. 日本作物学会中国支部研究集録, **56**, 20–21.
- 72) 足立文彦, 竹村芹香, 桐村史悠, 木原康孝, 小葉田亨 (2017). 中国山地中標高地でのサツマイモ栽培は調理糖度を大幅向上させる. 日本作物学会中国支部研究集録, **57**, 12–13.
- 73) 中村善行, 鈴木啓太郎, 藏之内利和, 高田明子, 片山健二 (2015). 北海道産サツマイモの食味品質特性. 北農, **82**, 352–358.
- 74) 足立文彦, 竹村芹香, 桐村史悠, 松本真悟 (2017). 中国山地における栽培地標高にともなうサツマイモ調理糖度の変化. 第244回日本作物学会講演会要旨集, p. 60.
- 75) 足立文彦, 竹村芹香 (2018). 中国山地での高冷地栽培によるサツマイモ調理糖度の向上. 日本作物学会中国支部研究集録, **58**, 46–47.
- 76) 小野 忠, 矢野輝人 (1995). 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.
- 77) 犬飼義明, 松林隆宗, 芝山秀次郎 (2007). カンショの甘味に関わる栽培環境要因. 根の研究, **16**, 147–154.
- 78) 足立文彦, 野津修一, 本田裕基, 春日純子, 松本真悟 (2019). カリウム施肥による塩基不均衡に起因するサツマイモの糖度低下. 鳥取, 日本作物学会第248回講演会要旨集, p. 75.
- 79) 犬飼義明, 福井 睦, 芝山秀次郎, 有馬 進, 光富 勝 (2002). 栽培法の相違がカンショ塊根中の遊離糖含量に及ぼす影響. 日本作物学会九州支部会報, **68**, 82–84.
- 80) 犬飼義明, 芝山秀次郎 (2003). 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.
- 81) 斎藤祥治 (2006). 甘味度, 「砂糖」, 朝倉書店, 東京, pp. 154–156.
- 82) 熊谷 亨 (2010). 栽培品種の変遷, 「サツマイモ事典」第1版, (財)いも類振興会, 東京, pp. 135–139.
- 83) 石原和夫, 鈴木裕行. 雪と食のかかわりあい—ニンジン雪下貯蔵に伴う食味および香味成分の変化—平成9・10年度県立新潟女子短期大学共同研究事業実績報告書.
- 84) Matsuura-endo, C., Ishiguro, K., Takigawa, S., Noda, T., and Hasa, Y. (2015). The effect of low-temperature storage on the sugar content of table potato cultivars. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **62**, 50–55 (遠藤千絵, 石黒浩二, 瀧川重信, 野田高弘, 佐波康弘. 生食用ジャガイモ品種の低温貯蔵による糖含量の増加特性, 日本食品科学工学会誌).
- 85) Masuda, D., Fukuoka, N., Goto, H., and Kano, Y. (2007). Effect of cold treatment after harvest on sugar contents and storability in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Hort. Res. (Japan)*, **6**, 597–601 (増田大祐, 福岡信之, 後藤秀幸, 加納恭卓. 収穫後のサツマイモへの低温処理が糖含量ならびに貯蔵性に及ぼす影響, 園芸学研究).
- 86) Hironaka, K., Ishibashi, K., Koaze, H., Umezaki, K., Mori, M., Tsuda, S., and Takada, A. (2004). Relationship between invertase activity and reducing sugar content of cold-stored Japanese processing potatoes. *Food Preservation Sci.*, **30**, 295–299.
- 87) Hironaka, K., Ishibashi, K., Koaze, H., Miyashita, H., Mori, M., Tsuda, S., and Takada, A. (2005). Effect of storage temperature on invertase, sucrose-6-phosphate synthase and UDP-glucose pyrophosphorylase activities of Japanese processing potatoes. *Food Preservation Sci.*, **31**, 67–74.
- 88) 茨城県県央農林事務所 (2010). 茨城県における干しいも生産. 特産種苗, **6**, 42–44.
- 89) 池羽智子, 鬼澤宏幸 (2015). 干しいもの製造と販売, 「干しいも事典」, (財)いも類振興会編, (財)いも類振興会, 東京, pp. 162–166.
- 90) 河野恵伸, 荒木田尚広, 西中未央, 中村善行, 此村 瞬, 河

- 野隆徳 (2019). 焼き芋の製品テストによるかんしょ貯蔵技術の評価. 農研機構研究報告食農ビジネス推進センター, **3**, 15-26.
- 91) 栗原大二 (2015). サツマイモ新品種「べにはるか」に対する消費者ニーズの特性と産地販売戦略. 千葉県農林総合研究センター研究報告, **7**, 1-13.
- 92) Takahata, Y., Noda, T., and Nagata, T. (1996). Relationship between acid invertase activity and hexose content in sweet potato storage roots. *J. Agric. Food Chem.*, **44**, 2063-2066.
- 93) Miyazaki, T. (1990). Effects of curing, storage conditions, and cooking on the composition of sweet potatoes. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **59**, 649-656 (宮崎丈史. サツマイモの成分変化に及ぼすキュアリング処理と貯蔵条件および加熱処理の影響, 園芸学会雑誌).
- 94) Baba, T., Nakama, H., Tamaru, Y., and Kono, T. (1987). Changes in sugar and starch contents during storage of new type sweet potato (low β -amylase activity in roots). *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kogyougaku Kaishi)*, **34**, 249-253 (馬場透, 中間洋征, 田丸保夫, 河野利治. 低 β -アミラーゼ活性サツマイモの貯蔵中における糖類およびデンプンの変化, 日本食品工業学会誌).
- 95) 吉永 優 (2014). 焼きもの美味しさの構成要素, 「焼きいも事典」, (財)いも類振興会, (財)いも類振興会, 東京, pp. 87-105.
- 96) 中村善行 (2010). 肉質, 「サツマイモ事典」, (財)いも類振興会, (財)いも類振興会, 東京, pp. 91-92.
- 97) 片山健二 (2016). 食用サツマイモ育種研究の最新動向, いも類振興情報, **128**, 8-11.
- 98) 日本食品科学工学会監修, 森 友彦, 川端晶子編 (1997). 「食品のテクスチャー評価の標準化」, 光琳, 東京.
- 99) 奈良省三 (1957). 蒸甘藷加工に関する研究—粉質と粘質の差異, 三重大学農学部研究報告, **14**, 141-147.
- 100) 奈良省三 (1959). 蒸甘藷加工に関する研究, 京都大学園芸研究所研究集録, **8**, 99-100.
- 101) Nakamura, Y., Kuranouchi, T., Ohara-Takada, A., Ishida, N., Koda, I., Iwasawa, N., Matsuda, T., and Kumagai, T. (2010). Cell structure, water status and starch properties in tuberous root tissue in relation to the texture of steamed sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). *Jpn. J. Crop Sci. (Nippon Sakumotsu Gakkai Kiji)*, **79**, 284-295 (中村善行, 藏之内利和, 高田明子, 石田信昭, 鴻田一絵, 岩澤紀生, 松田智明, 熊谷 亨. サツマイモ塊根における蒸した後の肉質に関わる組織・細胞の形態, 水分およびデンプンの特性, 日本作物学会紀事).
- 102) Nakamura, Y., Ohara-Takada, A., Kuranouchi, T., and Katayama, K. (2015). Disintegration of steamed root tissues of sweet potato and its relation to texture and the contents of starch, calcium and pectic substances. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **62**, 555-562 (サツマイモのテクスチャーに係わる塊根の組織崩壊性ならびにそのデンプン, カルシウムおよびペクチン質との関係, 日本食品科学工学会誌).
- 103) Ando, T., Yasuda, M., and Hisaka, H. (2018). Effect of storage period on free sugar and starch contents of six sweet potato varieties with different taste on baking, and quantification of sweetness and texture. *Hort. Res. (Japan) (Engeigaku Kenkyu)*, **17**, 449-457 (安藤利夫, 家壽多正樹, 日坂弘行. 焼きいもの食味が異なるサツマイモ 6 品種の遊離糖およびデンプン含量に対する貯蔵期間の影響ならびにこれら成分値による甘味, 肉質の数値化, 園芸学研究).
- 104) Matsuura-Endo, C., Ohara-Takada, A., Yamauchi, H., Mukasa, Y., Mori, M., and Ishibashi, K. (2002). Disintegration difference in cooked potatoes from three Japanese cultivars : comparison of the properties of isolated starch, degree of cell separation with EDTA, and contents of calcium and galacturonic acid. *Food Sci. Technol. Res.*, **8**, 323-327.
- 105) Nakamura, Y., Masuda, R., Kuranouchi, T., and Katayama, K. (2017). Texture and unsaccharified residual starch content in steamed roots of sweet potato cultivars with varying levels of beta-amylase activity. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **64**, 59-65 (中村善行, 増田亮一, 藏之内利和, 片山健二. 蒸したサツマイモの肉質と未糖化残存デンプンに及ぼす β -アミラーゼ活性の影響, 日本食品科学工学会誌).

(令和 2 年 4 月 20 日受理)