

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

誌名	応用糖質科学：日本応用糖質科学会誌 = Bulletin of applied glycoscience
ISSN	21856427
著者名	片山,健二 小林,晃 時村,金愛 片野,豊彦 横山,公一 北原,兼文
発行元	日本応用糖質科学会
巻/号	8巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 56-62
発行年月	2018年2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





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*

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*

片山健二¹，小林 晃²，時村金愛³，片野豊彦⁴，
横山公一⁵，北原兼文^{6,**}

(かたやま けんじ，こばやし あきら，ときむら かなえ，かたの とよひこ，
よこやま まさかず，きたはら かねふみ)

Kenji Katayama,¹ Akira Kobayashi,² Kanae Tokimura,³ Toyohiko Katano,⁴
Masakazu Yokoyama,⁵ and Kanefumi Kitahara^{6,**}

¹ 農研機構次世代作物開発研究センター
305-8518 茨城県つくば市観音台 2-1-2

² 農研機構九州沖縄農業研究センター都城研究拠点
885-0091 宮崎県都城市横市町 6651-2

³ 鹿児島県大隅加工技術研究センター
893-1601 鹿児島県鹿屋市串良町細山田 4938

⁴ 株式会社サナス 891-0196 鹿児島県鹿児島市南栄 3-20

⁵ 松谷化学工業株式会社 664-8508 兵庫県伊丹市北伊丹 5-3

⁶ 鹿児島大学農学部 890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-24

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

² Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO
6651-2 Yokoichicho, Miyakonojo, Miyazaki, 885-0091, Japan

³ Kagoshima Prefectural Osumi Food Technology Development Center
4938 Hosoyamada, Kushira, Kanoya, Kagoshima 893-1601, Japan

⁴ SUNUS CO., LTD.
3-20 Nan-ei, Kagoshima, Kagoshima 891-0196, Japan

⁵ Matsutani Chemical Industry Co., Ltd.
5-3 Kitaitami, Itami, Hyogo 664-8508, Japan

⁶ Faculty of Agriculture, Kagoshima University
1-21-24 Korimoto, Kagoshima, Kagoshima 890-0065, Japan

要旨：サツマイモは，火山灰土壌の痩せ地で台風の常襲地域である南九州の風土に適合した基幹作物の1つであり，焼酎産業や澱粉産業の原料として地域経済を担っている。本研究では，サツマイモに低温糊化性澱粉を有する特殊な系統が発見されたことを契機として，澱粉の物理化学特性の優位性や構造変異の原因酵素，形質の遺伝様式などを明らかにする一方，品種改良により同様の澱粉を有する多収・高澱粉の原料用品種「こなみずき」を育成することに成功した。また，「こなみずき」澱粉の用途拡大を目的として，栽培条件や澱粉製造条件と澱粉特性との関連性を明らかにして澱粉の品質向上を図るとともに，「こなみずき」澱粉を用いた加工食品は耐老化性と弾力性に優れ，これらが澱粉の特殊な分子構造に起因していることを明らかにした。これらの研究成果を基にして生産農家や食品製造業などの実需者へ「こなみずき」の普及に努め，その結果，平成28年度で栽培面積は47ヘクタール，塊根の生産量は1,300トンを超え，その澱粉を用いた麺やパン，菓子類の製品化が実現しており，地域振興に貢献している。

キーワード：サツマイモ澱粉，こなみずき，低温糊化，アミロースとアミロペクチン構造，食品利用***

* 本原稿は，日本応用糖質科学会平成29年度大会の技術開発賞受賞講演で一部発表された。

** 連絡先 (Tel. 099-285-8638, Fax. 099-285-8638, E-mail: kitahara@chem.agri.kagoshima-u.ac.jp)

*** Key words: sweetpotato starch, Konamizuki, low gelatinization temperature, amylose and amylopectin structures, food uses

1. はじめに

サツマイモは国内で年間約 85 万トン (平成 26~28 年度平均) 生産され¹⁾、青果用や焼酎原料用、澱粉原料用として利用される重要な糖質資源作物である。特に鹿児島県では火山灰土壌の痩せ地で台風の常襲地域である南九州の風土に適合した基幹作物の 1 つとして約 32 万トン (同 3 カ年平均) が生産され²⁾、焼酎産業や澱粉産業の原料として地域経済を担っている。原料用サツマイモから生産される澱粉は年間約 3.8 万トン (同 3 カ年平均) であり、その用途は清涼飲料水などに使用される異性化糖などの糖化製品用が 68%、菓子類や麺類などの食品への用途は 27% となっている (同 3 カ年平均)³⁾。このうち大部分を占める糖化製品用は澱粉の種類に依らず安価な輸入澱粉と競合することから、サツマイモ澱粉の用途を拡大するためには固有の澱粉特性を活かした食品用途を広める必要がある。

本総説では、筆者らのグループにおいてサツマイモに低温糊化性澱粉を有する特殊な系統を発見し、その澱粉特性の食品実用性から澱粉原料用品種「こなみずき」を育成した経緯と、「こなみずき」澱粉の用途拡大を図る高品質澱粉製造技術と食品利用技術の開発について述べる。

2. 低温糊化性澱粉を有するサツマイモ品種「こなみずき」の育成に至るまで

2.1. サツマイモの一般澱粉特性と新形質澱粉

澱粉は植物種により固有の特性を持ち、サツマイモ澱粉のアミロースとアミロペクチンについても竹田らの先駆的研究により詳細な分子構造が解析されている⁴⁾。各種植物澱粉の固有特性をわかりやすく比較するために図形化された澱粉尺^{5,6)}や十字図形⁷⁾、レーダーチャート⁸⁾をみると、サツマイモ澱粉の性質は概して中間的な位置づけとなる。また、サツマイモ品種間では、いもの皮色や肉色の異なる品種が存在し、さらに青果用や原料用などの用途別品種が育成されているにもかかわらず、これら 16 種の澱粉特性を調べると比較的類似しており⁹⁾、モチ種から高アミロース種が存在する穀類澱粉と比べると多様性に乏しい。この理由を考えると、植物学的にはサツマイモが同質六倍体で劣性ホモ個体の出現率が低く、また自家不和合性および交雑可能な組み合わせの制約により劣性遺伝形質が表現型に現れる機会が制約されるためであり、生化学的には澱粉生合成酵素群が質・量的に類似するためであろう。一方では、過去の育種選抜の視点が高澱粉・多収にとどまり、澱粉特性に着目した積極的な育種選抜が行われていなかったことにも起因すると思われる。

中間的で画一的なサツマイモ澱粉は平凡に利用できる一面もあるが、差別化された食品への用途開発が進まない要因でもある。このような観点から、農研機構九州沖縄農業研究センターサツマイモ育種研究室 (現サツマイモ育種グループ) と鹿児島大学農学部が連携して澱粉特性の調査を

開始し、ユニークな澱粉素材を検索した。

サツマイモ育種研究室において、サラダやコロッケ用の調理用サツマイモが選抜されていた。この 29 系統の澱粉の鎖長分布を調べると、通常品種はアミロース画分が平均値 20.9%¹⁰⁾であるのに対して、調理用系統は平均値 16.5% で低アミロース性に偏っていることがわかった¹⁰⁾。低アミロース性の共通する形質を持った系統群が主に蒸しもの食味官能検査により選抜されてきたことは、その能力に驚きである。これらの中で「九系 89376-12」はアミロース画分が 11.7% と最も小さい澱粉として見出され¹⁰⁾、アミロペクチンの鎖長分布は従来品種 (「コガネセンガン」) と類似すること、アミログラフィーにおいて最高粘度とブレークダウンが大きい特徴を持つことを明らかにした¹¹⁾。なお、国外のサツマイモ澱粉において¹²⁻¹⁴⁾、最低で 4.6% のアミロース含量が報告¹⁵⁾されており澱粉特性に興味を持たれる。一方、沖縄の在来種の「宮農 36 号」や加工用に選抜されていた「九州 127 号」は、蒸しもの甘味度が高く、冷めても羊羹のような食感を有していた。両澱粉の性質を調べると糊化温度が従来澱粉より約 10~15℃ 低く低温糊化性澱粉であることが判明し、共通する構造特性としてアミロペクチンに重合度 6~10 の短鎖の多いことがわかった¹¹⁾。また、農研機構作物研究所 (現次世代作物開発研究センター) では、従来澱粉より約 20℃ 低い極低温糊化性澱粉を有する「関東 116 号」(現品種名「クイックスイート」) が見出され、このアミロペクチンにも短鎖が多く低温糊化性のサツマイモ澱粉に普遍的な特徴であった¹⁶⁾。加えて、低温糊化性要因の科学的裏付けとして、一般サツマイモの 2 品種について RNA 干渉法により II 型澱粉合成酵素遺伝子 (*SSI*) の発現を抑制した形質転換体を作成し、それらの澱粉特性が低温糊化性澱粉に類似することを示して原因酵素を推定した^{17,18)}。低温糊化性澱粉は、低温かつ低エンタルピー変化で糊化することから低エネルギー糊化性とも言え、また糊液やゲルが老化しにくく、酸や酵素による分解性が高いことから^{19,20)}、多方面での利用上のメリットは大きいと思われた。しかし、「クイックスイート」は青果用品種であり、澱粉原料用としては収量性と澱粉含量が不十分であったため、低温糊化性澱粉を有する原料用品種の開発プロジェクトが発足した。その成果として、多収・高澱粉で白皮の「九州 159 号」(後に「こなみずき」) が育成され、実用化ステップとして展開した。

2.2. 「こなみずき」の育成経過および品種・栽培特性

「こなみずき」は、低温糊化性澱粉を含む澱粉原料用品種を育成するため、「クイックスイート」²¹⁾の後代で低温糊化性澱粉を含む「99L04-3」を母、高澱粉・多収の「九系 236」を父とする交配組合せから選抜した品種である²²⁾。その系譜を図 1 に示す。交配採種は 2003 年に農研機構九州沖縄農業研究センターサツマイモ育種研究室で実施し、2004 年以降同研究室で選抜を重ねた。2007 年から「九州 159 号」の系統名で地域適応性検定試験等を行った結果、

「九州159号」は低温糊化性や耐老化性といった新規特性を有する澱粉を含み、標準マルチ栽培で標準品種「シロユタカ」と同程度の澱粉収量を示し、病虫害抵抗性にも優れることが明らかとなった。このため、農林水産省から早急に現場への普及を推進する重要な作物として「農業新技術2011」²³⁾に選定されるとともに、2012年1月に品種名「こなみずき」として品種登録され、鹿児島県で澱粉原料用品種として普及に移されることとなった。「こなみずき」の品種名は、糊化した澱粉が長くみずみずしさを保つことができる耐老化性澱粉を含む品種であることを示す。

育成地(宮崎県都城市)で2006~2009年の間に実施した生産力検定試験の結果から、「こなみずき」の主な特性を表1に示す。萌芽性はやや良で、草型はやや匍匐型、頂葉色は淡緑、葉色は緑、葉形は心臟形である。いもの皮色・肉色は白で、形状は長紡錘形、大きさはやや大である。蒸しいもの肉色は淡黄白で、肉質はやや粘である。蒸しいもの糖度(Brix)は「シロユタカ」や「コガネセンガン」より高く、食味は中で「シロユタカ」より優るが、「コガネセンガン」より劣る。冬期に無加温の屋内に放置した

いもの貯蔵性は中である。病虫害抵抗性については、サツマイモネコブセンチュウ抵抗性は強、ミナミネグサレセンチュウ抵抗性はやや強、黒斑病抵抗性はやや強で、「シロユタカ」と同程度である。

「こなみずき」の収量および関連形質を表1に示す。育成地におけるいも収量は、標準無マルチ栽培では「シロユタカ」と同程度で「クイックスイート」より多収を示し、長期マルチ栽培では「シロユタカ」より低収であるが「クイックスイート」より多収を示した。さらに、6月中旬植付で10月下旬収穫の晩植無マルチ栽培では「コガネセンガン」と同程度の収量であるが、4月下旬植付で8月上旬収穫の早掘マルチ栽培では「コガネセンガン」より低収で早掘栽培適性は低い。澱粉歩留は、標準無マルチ栽培や晩植無マルチ栽培では「シロユタカ」や「コガネセンガン」より1~2%高い。これらから単位面積当たりの澱粉収量は、標準無マルチ栽培や晩植無マルチ栽培では「シロユタカ」や「コガネセンガン」より多収を示し、長期マルチ栽培や早掘マルチ栽培では「シロユタカ」や「コガネセンガン」より低収であるが、「クイックスイート」よりは多収である。普及が見込まれる鹿児島県において鹿児島県農業開発総合センター大隅支場で2007~2009年に実施した奨励品種決定調査試験では、「こなみずき」のいも収量は標準無マルチ栽培で「シロユタカ」よりやや高く、早掘マルチ栽培では「シロユタカ」より低いが、「クイックスイート」よりは高かった。澱粉歩留は「シロユタカ」よりやや低いため、澱粉収量は標準無マルチ栽培で「シロユタカ」と同程度で、早掘マルチ栽培では「シロユタカ」より劣る

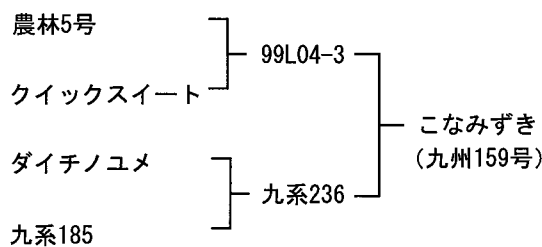


図1. 「こなみずき」の系譜図

表1. 「こなみずき」の主な特性 (2006~2009年)

特性名	品種名			
	こなみずき	シロユタカ	コガネセンガン	クイックスイート
萌芽性	やや良	良	やや良	やや不良
葉形	心臟形	単欠刻浅裂	単欠刻浅裂	単欠刻浅裂
いもの形状	長紡錘形	短紡錘形	下膨短紡錘形	紡錘形
いもの皮色	白	白(紅)	黄白	濃赤紫
いもの肉色	白	白	黄白	黄白
蒸しいもの肉質	やや粘	やや粉	やや粉	粘
蒸しいもの糖度(Brix%)	20.0	17.2	15.6	21.6
蒸しいもの食味	中	やや下	やや上	やや上
貯蔵性	中	やや難	やや難	中
サツマイモネコブセンチュウ抵抗性	強	強	やや弱	強
ミナミネグサレセンチュウ抵抗性	やや強	やや強	やや弱	中
澱粉白度*	95.1	96.6	96.2	94.9
糊化開始温度(°C)	58.1	75.5	75.0	57.0
離水率(%)	0.0	19.3	17.2	0.0
標準無マルチ栽培**				
いも収量(kg/a)	305	307	280	203
澱粉歩留(%)	24.6	23.6	23.4	22.7
澱粉収量(kg/a)	75	72	66	46
長期マルチ栽培***				
いも収量(kg/a)	341	431	—	311
澱粉歩留(%)	24.5	24.4	—	23.7
澱粉収量(kg/a)	83	105	—	74

*分光測色計ミノルタ CM-2002 で明度(L*値)を測定。 **5月中旬植付, 10月上旬収穫, 標準施肥。 ***4月下旬植付, 10月末~11月初収穫, 多肥。

が、「クイックスweet」より多収を示した。また、2007～2009年の間に鹿児島県内で実施した現地試験の早掘栽培でも、いも収量は「シロユタカ」より低かった。

「こなみずき」の澱粉は、既存品種の「シロユタカ」や「コガネセンガン」にはない低温糊化性や耐老化性といった新規特性を有するが、白度は「シロユタカ」よりやや劣る。澱粉粒の中心部に亀裂があることから、顕微鏡観察による識別が可能である。その低温糊化性は異なる栽培条件でも安定して発現し、晩植無マルチ栽培で最も低い糊化開始温度を示した。一方、早掘マルチ栽培では澱粉の糊化開始温度が高めになる傾向があり、収量も「シロユタカ」より低くなることから、「こなみずき」のいも収量および澱粉の品質を向上させるためには、早掘栽培を避けることが重要と考えられた²³⁾。

さらに、低温糊化性澱粉を含む品種を効率的に選抜するために、低温糊化性澱粉の遺伝様式の解明や簡易迅速判別法の開発にも取り組んだ。サツマイモは他殖性の同質6倍体のため、遺伝様式の解析が困難な作物である。低温糊化性澱粉を含む「クイックスweet」およびその交配後代と、正常型の品種・系統を用いて交配実験を行った結果、澱粉の低温糊化性は1対の劣性遺伝子に支配される形質であることが示唆された²⁴⁾。さらに優性遺伝子が増えるに伴って、澱粉の糊化開始温度が高くなるという遺伝子の量的効果が認められた。一方、品種育成の効率化のためだけではなく、「こなみずき」澱粉への他品種澱粉の混入を防止するために、澱粉のアルカリ溶解性の程度の違いを利用した簡易迅速判別法を開発した²⁵⁾。1.25%水酸化カリウム水溶液を澱粉に滴下し顕微鏡観察(倍率100倍)することにより、溶解する低温糊化性澱粉と溶解せず澱粉粒のままの通常澱粉を簡易に判別することができる。これは塊根の切断面をスライドガラスにこすりつけ、微量の澱粉を附着させて行っても同様の結果が得られ、澱粉工場における原料検査等にも適用可能である。

3. 「こなみずき」澱粉の高品質化および物理化学特性と食品利用に関する研究

3.1. 「こなみずき」の栽培条件および澱粉製造条件と澱粉品質

サツマイモ澱粉を食品用として普及させるためには、澱粉白度の向上や糊液の粘度安定性といった澱粉の高品質化が必須である。特に澱粉白度は使用した食品の外観に影響することから、白度の高い澱粉が市場的に有利である。育成段階における試験では「こなみずき」澱粉の白度は他品種と比較してやや劣る程度とされ、さらに澱粉工場で製造すると澱粉白度の低いことが問題となった。そこで、植付け時期や収穫時期などの栽培条件が異なる「こなみずき」について、澱粉着色の要因と考えられる塊根中のポリフェノールなどの成分および調製した澱粉の白度を調査した。澱粉白度については、12月中旬(12/17)に収穫した「こ

なみずき」から調製した澱粉は白度が82前後と低く、これらの塊根ではポリフェノール含量が顕著に高いことを明らかにした²⁶⁾。図2に「こなみずき」の澱粉白度とポリフェノール含量およびポリフェノールオキシダーゼ活性との関係性を示す。「こなみずき」の澱粉白度とポリフェノール含量には塊根の中心部で相関係数 $R = -0.887$ 、表皮部で $R = -0.862$ と高い負の相関が認められ、「こなみずき」から調製した澱粉の白度はポリフェノール含量が大きく影響することが明らかとなった。これらのことから、収穫時期が12月以降と遅くなると、地温低下のストレスによって塊根中のポリフェノール含量やポリフェノールオキシダーゼ活性が増加し、澱粉へのポリフェノールの吸着量が多くなることで澱粉白度が低下すると推察した。ポリフェノール含量は植え付け時期や栽培期間よりも収穫時期に影響され、気温や地温が低下する収穫後期(11月下旬～12月中旬)は澱粉白度が低下するとともに、物性の変化も大きくなることから、「こなみずき」は11月中の時期に収穫することが望ましいと考えられる。

澱粉白度の観点からは、「こなみずき」を11月中に収穫して澱粉を製造することが望ましいが、製造量の少ない現状では、「こなみずき」澱粉の製造は従来品種の澱粉製造が終了した後の12月初旬に行われている。そこで、収穫時期に係わらず澱粉品質を一定の基準以上に保つ必要があ

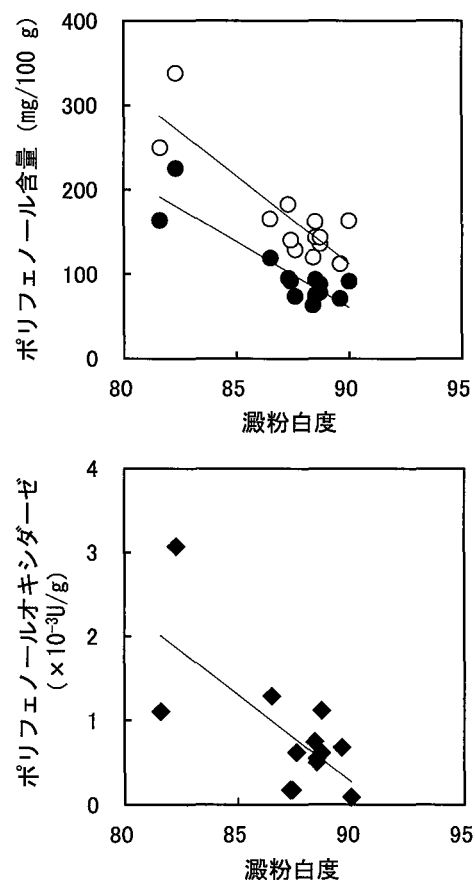


図2. 澱粉白度と「こなみずき」塊根のポリフェノール含量とポリフェノールオキシダーゼ活性との関係性²⁶⁾

●, 中心部のポリフェノール含量; ○, 表皮部のポリフェノール含量; ◆, 塊根のポリフェノールオキシダーゼ活性. 文献26)より引用。

表2. 「こなみずき」澱粉製造工場でpH調整を行った各製造工程のpHと各製造工程から調製した澱粉の白度とアルカリ着色度²⁷⁾

製造工程	pH	澱粉白度	アルカリ着色度 (420 nm 吸光度)
磨砕	8.8	81.1	0.217
濃縮	6.4	85.7	0.313
精製	6.3	88.4	0.113
脱水	6.2	91.5	0.080
乾燥	6.2	91.7	0.097

「こなみずき」塊根磨砕液に水酸化カルシウム飽和水溶液を加えてpHを弱アルカリ(pH 8.8)に調整した。白度はKett C-100白度計で測定し、着色度はアルカリ抽出液の420 nmでの吸光度とした。文献27)より引用。

り、ポリフェノール含量が増加した塊根でも、澱粉製造時に澱粉白度を向上させる技術開発に取り組んだ。まず、モデル実験で塊根磨砕物に水酸化カルシウム飽和水溶液を添加して、pHを弱アルカリ(pH 7.0~9.0)に調整し、澱粉白度や澱粉品質に与える影響について調べた。その結果、pH調整により、RVA粘度特性および澱粉ゲルや糊液の物性に大きな変化はなく、澱粉白度の向上が認められた²⁷⁾。この結果を踏まえ、澱粉製造工場において塊根の磨砕後にpH調整を行い、ポリフェノールの澱粉への吸着抑制および澱粉白度に与える影響について調べた。表2にpH調整を行った各製造工程で採取した澱粉のpH、白度ならびにアルカリ着色度を示す。脱水工程と乾燥工程を経た最終的な澱粉白度は91.7となり、澱粉へのポリフェノール吸着量の目安となるアルカリ着色度も乾燥工程後の澱粉では0.097に低下した²⁷⁾。

以上の結果から、「こなみずき」澱粉の白度向上対策として、塊根中のポリフェノール含量が高まる寒冷期の収穫後期は回避した方が望ましく、また栽培環境のストレスによりポリフェノール含量が高まった「こなみずき」であっても、水酸化カルシウム飽和水溶液による磨砕工程のpH調整によって澱粉へのポリフェノール吸着が抑制され澱粉白度を向上できることが明らかになった。このような栽培および澱粉製造マニュアルにより「こなみずき」澱粉の高品質化と安定化に寄与するものと思われる。

3.2. 「こなみずき」澱粉の物理化学特性の解明と食品利用技術の開発

低温糊化特性を有する「こなみずき」澱粉は、澱粉ゲルの耐老化性や少量添加でのゲル成型性といった優れた特性を有している²²⁾が、これらの特性がどういった食品への利用に適するのか、また、優れたゲル成型性と澱粉の分子構造との関連性については知見がなかった。そこで、食品素材としての「こなみずき」澱粉を評価するために、「こなみずき」澱粉を使用していくつかの加工食品を試作し、それらの食品の物性を分析した。また、「こなみずき」澱粉の物性に寄与する分子構造特性を明らかにするために、澱粉原料用に用いられるサツマイモ3品種(「シロユタカ」, 「コガネセンガン」, 「ダイチノユメ」)を加えて澱粉の物

性と分子構造を調べた。

サツマイモ低温糊化性澱粉は、アミロペクチンに重合度6~10の短鎖が多い特徴がある^{11,16,19,22,28)}。従来の澱粉と比較して、「こなみずき」澱粉は結晶化できない短鎖が多いことから、澱粉粒子として保持力が弱い糊化しやすく、一方、糊化後は外部鎖の再配列が遅いため老化しにくいと考えられている^{19,29)}。図3は、イソアミラーゼ処理澱粉のゲルろ過クロマトグラフィーによりアミロース主鎖の鎖長分布を調べた結果である³⁰⁾。「こなみずき」澱粉は、他の澱粉よりもアミロース画分の溶出が早く、長いアミロース主鎖を有することが明らかになった。また、図4にはイソアミラーゼ処理アミロペクチンのゲルろ過クロマトグラフィーにより超長鎖画分の鎖長分布を調べた結果を示す³⁰⁾。「こなみずき」のアミロペクチンには、アミロース様の超長鎖が多く、かつ超長鎖が長いことも「こなみずき」澱粉の特徴であることを見出した。

澱粉物性についてはRVA粘度特性および澱粉糊液の動的粘弾性や流動特性を測定した。「こなみずき」澱粉は、RVA粘度特性において、他品種の澱粉よりもブレイクダ

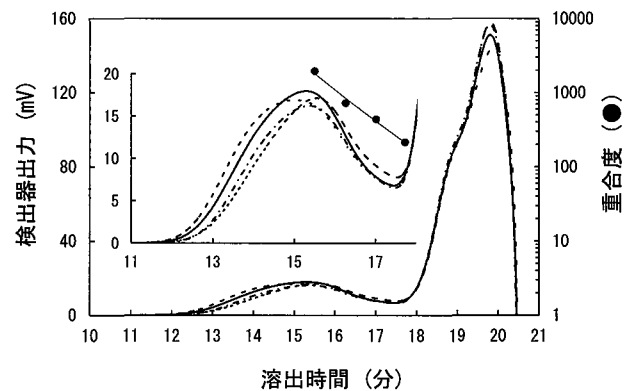


図3. イソアミラーゼ処理澱粉のゲルろ過クロマトグラフィーによる鎖長分布³⁰⁾

分析カラムはTSKgel GMPWXLを使用し、直鎖アミロースの標準品[重合度(DP=1953, 722, 438, 215)]で校正した。拡大図は高分子側のアミロース主鎖画分を示した。文献30)より引用改変。—, シロユタカ; ·····, コガネセンガン; - - - -, ダイチノユメ; ·····, こなみずき。

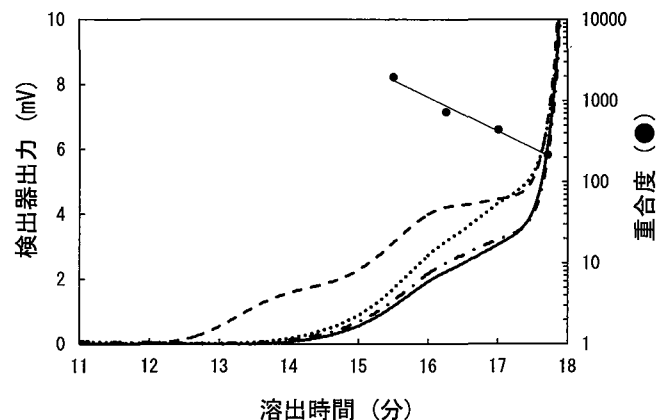


図4. イソアミラーゼ処理アミロペクチンのゲルろ過クロマトグラフィーによる超長鎖画分の鎖長分布³⁰⁾

分析条件は図3と同じ。文献30)より引用改変。—, シロユタカ; ·····, コガネセンガン; - - - -, ダイチノユメ; ·····, こなみずき。

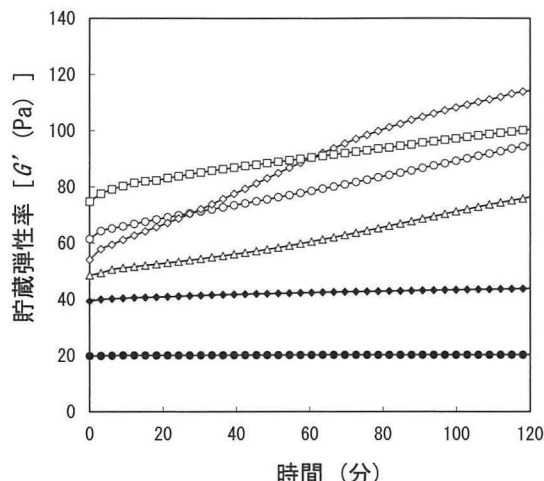


図 5. 澱粉糊液 (7%, w/w) の貯蔵弾性率 (G') の時間依存性³⁰⁾

測定温度は 20℃ で実施した。文献 30) より引用改変。○, シロユタカ; ◇, コガネセンガン; △, ダイチノユメ; □, こなみずき; ◆, バレイショ; ●, キャッサバ

ウンが小さく、最終粘度が高い特徴を示した³⁰⁾。図 5 に 7% 澱粉糊液の動的粘弾性の分析結果を示す。「こなみずき」澱粉の貯蔵弾性率 (G') は他の澱粉よりも高い値を示しており、このことから「こなみずき」澱粉の糊液はゲルを形成しやすく、安定性のあることが明らかになった。また、澱粉糊液の流動特性において、「こなみずき」澱粉糊液のせん断応力や流動履歴曲線の面積値は他の澱粉よりも大きい値を示し、せん断に対する抵抗性が高いと考えられた³⁰⁾。これらの結果から、「こなみずき」澱粉はアミロペクチン中のアミロース様の超長鎖が多く、さらにアミロースおよびアミロペクチンの超長鎖は長いことが明らかになり、このような長い分子鎖の特徴により澱粉ゲルのネットワーク形成力が強く、優れたゲル弾力性とゲル成型性を示すと考えている。

さらに、「こなみずき」澱粉を食品素材として評価するために、加工製品 (パール状加工品と澱粉麺) を作り、それらの物性等について従来のサツマイモ澱粉やキャッサバ澱粉およびバレイショ澱粉の製品と比較した。「こなみずき」澱粉を使用した製品は、従来のサツマイモ澱粉やキャッサバ澱粉を使用した製品よりも弾力性が高く、良好な食感が得られ、澱粉ゲル製品として優れた特性を認めた³⁰⁾。この他、「こなみずき」澱粉を使用した水産練り製品では硬化が抑制されるとともに、弾力感と歯切れの良さを兼ね備えており、蒸し菓子やパンについても歯切れと口溶けに優れ、保水性の高さからしっとり感に優れていた。硬化抑制やしっとり感については、アミロペクチンに短鎖が多い特徴、弾力感や歯切れの良さについては、アミロペクチンの超長鎖やアミロース主鎖の長さの特徴が関与すると考えられ、食品の食感改良効果に影響していると考えられる。

以上のように、「こなみずき」澱粉は、保水性と弾力感を兼ね備えた優れた機能性を有する国産の天然澱粉と言えるであろう。本研究の研究成果は、農林水産省の「農業新

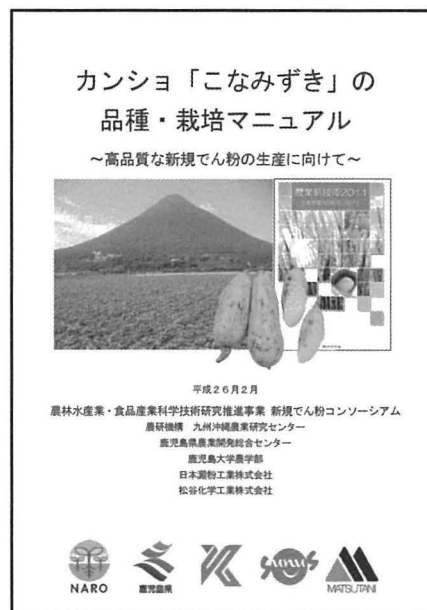


図 6. 本研究で作成した栽培および澱粉利用マニュアル

技術 2011²³⁾に加えて、澱粉の食品利用技術については「最新農業技術・品種 2015²⁴⁾」に選定された。また、栽培特性から食品利用技術まで記載したマニュアル「カンショ『こなみずき』の品種・栽培マニュアル～高品質な新規でん粉の生産に向けて～、農林水産省・食品産業科学技術研究推進事業 新規でん粉コンソーシアム (編集代表 高畑康浩, 平成 26 年 2 月)」(図 6) を作成して生産農家に普及し、「こなみずき」の栽培面積は平成 24 年度以降次第に増えており、平成 28 年産では栽培面積 47 ヘクタール、塊根の生産量は 1,300 トンを超えるようになった。このような成果を背景に、「こなみずき」澱粉を使用した加工食品が多数開発されており、サツマイモ澱粉の知名度を向上させるとともに、地域産業の活性化に寄与するものと考えている。現在でも、新たな特性を有するサツマイモ澱粉の開発は継続しており、今後も多様な澱粉素材が提供できるよう努力している。

謝辞

この度は、栄えある日本応用糖質科学会技術開発賞をいただき、誠に有り難うございました。林 清 会長を始め役員の方、ご選考いただきました加藤陽治 前会長および役員の方並びに学会賞受賞考委員会の先生方、また候補者推薦の応募にあたりましては心強くも後押ししていただきました九州支部会員の竹田靖史 元会長、鮫島吉廣 前支部長、菅沼俊彦 元支部長に厚く御礼申し上げます。

本研究は、農林水産省の「農林水産バイオリサイクル研究プロジェクト」、「産学官連携による食料産業等活性化のための新技術開発事業」、「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」、「新たな農林水産政策を支援する実用技術開発事業」により実施されました。各プロジェクトにおいては、アドバイザーの先生方が配置され、適切にご指導

とご助言を承りました。御礼申し上げますとともに、引き続き私どもの今後の研究にご教示ご鞭撻の程宜しくお願ひいたします。

最後に、本受賞は各機関の研究者代表として6名の名前で表彰させていただきました。本研究結果は、各機関に所属する多くの共同研究者の皆様と、さらなる関係機関および関係者のご協力により達成することが出来たと思っております。多くの皆様に御礼申し上げますとともに、この受賞の喜びを分かち合いたいと思います。

文献

- 1) 政策統括官地域作物課：「かんしょの生産等。平成28年度いも・でん粉に関する資料」, 農林水産省, pp. 1 (2017). <http://www.maff.go.jp/j/seisan/tokusan/imo/28shiryou.html>
- 2) 政策統括官地域作物課：かんしょの生産等。平成28年度いも・でん粉に関する資料, 農林水産省, pp. 7 (2017). <http://www.maff.go.jp/j/seisan/tokusan/imo/28shiryou.html>
- 3) 政策統括官地域作物課：「平成26~28年度国内産いもでん粉需給の見通し。でん粉の需給見通しについて」, 農林水産省, (2017). <http://www.maff.go.jp/j/seisan/tokusan/kansho/denpun.html>
- 4) Y. Takeda, N. Tokunaga, C. Takeda, and S. Hizukuri: Physicochemical properties of sweet potato starches. *Starch*, **38**, 345-350 (1986).
- 5) 貝沼圭二：澱粉の化学反応性と化工澱粉。食品工業, **11** (6下), 13-19 (1968).
- 6) 鈴木繁男：「食料工業」, 藤巻正生編, 恒星社厚生閣, 東京, p. 135 (1985).
- 7) 藤本滋生, 菅沼俊彦, 永浜伴紀：本邦の自生植物72種の性質の図形化。澱粉科学, **40**, 55-60 (1993).
- 8) 菅沼俊彦, 藤本滋生, 北原兼文, 永浜伴紀：本邦の自生植物澱粉のクラスター分類とレーダーチャートによる図形化。応用糖質科学, **43**, 525-533 (1996).
- 9) K. Kitahara, Y. Ooi, S. Mizukami, T. Sukanuma, and T. Nagahama: Physicochemical properties of starches from sweetpotato cultivars. *Oyo Toshitsu Kagaku*, **43**, 59-66 (1996).
- 10) K. Kitahara, S. Mizukami, T. Sukanuma, T. Nagahama, M. Yoshinaga, T. Kumagai, and O. Yamakawa: A new line of sweetpotato with a low amylose content. *Oyo Toshitsu Kagaku*, **43**, 551-554 (1996).
- 11) K. Kitahara, J. Ueno, T. Sukanuma, K. Ishiguro, and O. Yanakawa: Physicochemical properties of root starches from new types of sweetpotato. *J. Appl. Glycosci.*, **46**, 391-397 (1999).
- 12) S.J. Tian, J.E. Richard, and J.M.V. Blanshard: Physicochemical properties of sweet potato starch. *J. Sci. Food Agric.*, **57**, 459-491 (1991).
- 13) L.S. Collado, R.C. Mabesa, and H. Corke: Genetic variation in the physical properties of sweet potato starch. *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 4195-4201 (1999).
- 14) F. Zhu and S. Wang: Physicochemical properties, molecular structure, and uses of sweetpotato starch. *Trends Food Sci. Technol.*, **36**, 68-78 (2014).
- 15) S. Lockwood and J.M. King: Amino acid additives effects on sweet potato starch thermal properties. *Starch*, **60**, 690-695 (2008).
- 16) K. Katayama, K. Komae, K. Kohyama, T. Kato, S. Tamiya, and K. Komaki: New sweet potato line having low gelatinization temperature and altered starch structure. *Starch*, **54**, 51-57 (2002).
- 17) Y. Takahata, M. Tanaka, M. Otani, K. Katayama, K. Kitahara, O. Nakayachi, H. Nakayama, and M. Yoshinaga: Inhibition of the expression of the *starch synthase II* gene leads to lower pasting temperature in sweetpotato starch. *Plant Cell Rep.*, **29**, 535-543 (2010).
- 18) K. Kitahara, Y. Takahata, M. Otani, M. Tanaka, K. Katayama, M. Yoshinaga, K. Fujita, and T. Sukanuma: Starch properties of transgenic sweetpotato plants modified by RNA interference of the starch synthase II gene. *J. Appl. Glycosci.*, **58**, 85-90 (2011).
- 19) K. Kitahara, S. Fukunaga, K. Katayama, Y. Takahata, Y. Nakazawa, M. Yoshinaga, and T. Sukanuma: Physicochemical properties of sweetpotato starches with different gelatinization temperature. *Starch*, **57**, 473-479 (2005).
- 20) K. Katayama, S. Tamiya, K. Ishiguro: Starch properties of new sweet potato lines having low pasting temperature. *Starch*, **56**, 563-569 (2004).
- 21) 片山健二, 田宮誠二, 藏之内利和, 小巻克巳, 中谷 誠：サツマイモ新品種「クイックスイート」, 作物研報, **3**, 35-52 (2003).
- 22) 片山健二, 境 哲文, 甲斐由美, 中澤芳則, 吉永 優：サツマイモ新品種「こなみずき」の育成。九州沖縄農研報告, **58**, 15-36 (2012).
- 23) 農林水産技術会議事務局研究推進課：「農業新技術2011生産現場への普及に向けて」, 農林水産省, (2011).
- 24) K. Katayama, S. Tamiya, T. Sakai, Y. Kai, A. Ohara-Takada, T. Kuranouchi, M. Yoshinaga: Inheritance of low pasting temperature in sweetpotato starch and the dosage effect of wild-type alleles. *Breed. Sci.*, **65**, 352-356 (2015).
- 25) 小林 晃, 片山健二, 境 哲文, 甲斐由美, 高畑康浩, 吉永 優：サツマイモ低温糊化性でん粉の迅速判別法。育種学研究, **16**, 37-41 (2014).
- 26) 時村金愛, 下園英俊, 久米隆志, 西原 悟, 小山田耕作, 福元伸一, 藤田清貴, 北原兼文：栽培条件の異なるサツマイモ新品種「こなみずき」塊根の澱粉品質, 応用糖質科学, **4**, 234-240 (2014).
- 27) 時村金愛, 久米隆志, 藤田清貴, 北原兼文：サツマイモ品種「こなみずき」澱粉製造におけるpH調整が澱粉品質に与える影響, 応用糖質科学, **7**, 29-44 (2017).
- 28) K. Kitahara, T. Yamasaki, K. Fujita, and T. Sukanuma: Physicochemical properties of starches from recently bred sweetpotatoes in Japan. *J. Appl. Glycosci.*, **61**, 81-88 (2014).
- 29) T. Noda, N. Isono, A.V. Krivandin, O.V. Shatalova, W. Błaszczak, and V.P. Yuryev: Origin of defects in assembled supramolecular structures of sweet potato starches with different amylopectin chain-length distribution. *Carbohydr. Polym.*, **76**, 400-409 (2009).
- 30) K. Tokimura, K. Fujita, and K. Kitahara: Physicochemical properties and food uses of starch from the new sweetpotato cultivar Konamizuki. *J. Appl. Glycosci.*, **64**, 1-8 (2017).
- 31) 農林水産技術会議事務局研究推進課：「最新農業技術・品種2015—「新品種・新技術の開発・保護・普及の方針」に基づき普及が期待される新たな研究成果—」, 農林水産省 (2015).