報 文

高アミロース米の米粉から調製したゲルの物性

芦田 (吉田) かなえ^{1,2*}, 幸谷かおり¹, 梅本貴之^{1,2}

¹ 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター

² 現所属: 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 次世代作物開発研究センター

Texture of Gel Made from High-amylose Rice Flour

Kanae Ashida^{1,2*}, Kaori Koya¹ and Takayuki Umemoto^{1,2}

¹ Hokkaido Agricultural Research Center, National Agriculture and Food Research Organization (NARO),

1 Hitsujigaoka, Toyohira, Sapporo, Hokkaido 062-8555

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

Amylose content was measured by the colorimetric determination and Concanavalin A (ConA) procedure. The difference between apparent amylose content measured by the colorimetric determination and amylose content measured by the Con A procedure should correspond with the amount of super long chains of amylopectin. Soft and less-sticky gel was obtained from high-amylose rice flour by adding 10 to 15 times the amount of water to rice flour and heating under continuous stirring. The texture of gel made from rice flour was measured according to claims of a consumer affairs agency. The hardness, cohesiveness, and adhesiveness of gel made from high-amylose rice flour with 10 or 15 times the amount of water were adaptable for a dysphagia diet. The ratio of gel adhesiveness to hardness could represent ease of swallowing. Significant correlations were observed between gel texture and amylose content. There was no significant change in gel texture after 3 days of storage under refrigeration.

(Received Jul. 3, 2018; Accepted Feb. 21, 2019)

Keywords : high-amylose rice, rice flour, gel, texture, dysphagia diet

キーワード : 高アミロース米, 米粉, ゲル, 物性, 嚥下食

稲は日本人にとって最も身近な作物であり, 米は主食として消費されているが, 食の多様化および人口の減少が進む中でその消費量は年々減少している¹⁾。米の需要を拡大するために, 主食用米だけでなく加工用米や飼料用米など, これまでにない新しい特性を持った品種の米が開発されている。

米の主成分は澱粉であり, 澱粉はグルコースが α -1,4結合により直鎖状に結合したアミロースと α -1,4に加えて α -1,6結合により枝分かれ構造を有するアミロペクチンとから構成される。アミロースはヨウ素と複合体を形成して青紫色に呈色することから, ヨウ素呈色の度合いを測定することで, アミロース含有率を簡易に測定することが可能である。実際には, アミロペクチンもヨウ素と親和性を示す構造を一部持つため, ヨウ素呈色法により測定したアミロース含有率は見かけのアミロース含有率と呼ばれている。見かけのアミロース含有率が低いほど炊飯米の粘りが強くなることが知られており, 日本で主食用に消費されている米の見かけのアミロース含有率は16~23%, 粘りの強

い低アミロース米の見かけのアミロース含有率は5~15%程度である。

見かけのアミロース含有率が25%以上の値を示す米は高アミロース米と呼ばれる。高アミロース米の中には, 「夢十色」のように真のアミロース含有率は高くなくアミロペクチンの超長鎖 (super long chain, SLC) が多いタイプの系統も存在する²⁾。SLCはアミロペクチンの側鎖であるが, アミロースと同程度の長い直鎖であり, ヨウ素と親和性を示し呈色する³⁾。高アミロース米品種の多くはアミロースを合成する澱粉粒結合型澱粉合成酵素I (GBSSI) をコードするワキシー (Waxy) 遺伝子が Wx^a 型であるが, 「ミズホチカラ」のように Wx^b 型であっても25%程度の高アミロース含有率を示す品種も存在する⁴⁾。SLCの多いタイプの高アミロース米は Wx タンパク質の量がSLCの少ないタイプの高アミロース米よりも多く⁵⁾, Wx タンパク質はアミロペクチンSLCの合成に関与することも示されている^{6,7)}。

澱粉の構造はヒトの食後インスリン応答性や血糖値上昇

¹ 〒062-8555 北海道札幌市豊平区羊ヶ丘1, ² 〒305-8518 茨城県つくば市観音台2-1-2

*連絡先 (Corresponding author), kanaea@affrc.go.jp

表 1 試験に用いたイネ品種, Wx 遺伝子型およびアミロース含有率

品種名	栽培年	栽培地	Wx 遺伝子型	AAC (%)	ConA AC (%)	AAC-ConA AC (%)
高アミロース米						
北瑞穂	2013	札幌市	Wx^a	30.4 ^a	18.4 ^{cd}	12.0
越のかおり	2015	上越市	Wx^a	29.8 ^{ab}	23.4 ^a	6.6
ふくのこ	2013	福山市	Wx^a	28.9 ^{ab}	21.1 ^{ab}	7.8
モミロマン	2015	上越市	Wx^a	26.7 ^{bc}	23.1 ^a	3.9
ミズホチカラ	2013	筑後市	Wx^b	25.3 ^c	19.0 ^{bc}	6.3
中アミロース米						
日本晴	2014	福山市	Wx^b	20.1 ^d	16.8 ^{cde}	3.3
ななつばし	2013	札幌市	Wx^b	19.7 ^d	16.3 ^{de}	3.4
ヒノヒカリ	2014	福山市	Wx^b	17.8 ^d	15.6 ^e	2.4

異なるアルファベットは Tukey の多重検定により 5% 水準で品種間に有意差があることを示す

に影響を及ぼすことが知られており、アミロースを摂取した場合はアミロペクチンを摂取した場合よりも食後の血糖上昇が穏やかでインスリン分泌量も少ない⁸⁾。ヒトが米を食べた場合においても、高アミロース米はアミロース含有率の低い米よりも食後の血糖上昇が穏やかである⁹⁾¹⁰⁾。このことから、高アミロース米のレトルト米飯が低 GI (グリセミック・インデックス) 食として販売されている。しかし、一般的には、高アミロース米の炊飯米は硬くて粘りが弱い¹¹⁾ため、日本では利用が限られている。近年、高アミロース米の粥を攪拌することによって、特異な粘弾性を持つ「米ゲル」が生成されることが報告された¹¹⁾。この米ゲルは、パンや麺、かまぼこなど様々な食品の物性改良剤としての利用が期待されている¹²⁾¹³⁾。一方、高アミロース米は粘りが少ない特徴を活かし、米粉を用いた麺やクッキー等に加工され販売されている。

我々は、北海道農業研究センターで育成された高アミロース米「北瑞穂」¹⁴⁾の米粉としての利用について試験する中で、米粉に対し水を 10 倍量程度加えて糊化させた後に冷却すると、軟らかく付着性の低いゲルが得られることを見出した¹⁵⁾。現在一般に入手可能な上新粉や米粉パン用の米粉は中アミロース品種が原料であり、10 倍量程度の水を加えて加熱しても糊状になるだけで、ゼリー状のゲルは得られない。高アミロース米から調製可能な軟らかく付着性の低いゲルは飲み込みやすい物性であると期待された。

日本では、高齢化の進行等により、噛むことや飲み込むことに支障のあるいわゆる嚥下困難者の増加が見込まれており¹⁶⁾、嚥下困難者向け食品の需要が高まっている¹⁾。嚥下困難者向け食品の規格としては、ユニバーサルデザインフードⁱⁱ⁾、嚥下食ピラミッドⁱⁱⁱ⁾、えん下困難者用食品¹⁷⁾、嚥下調整食分類¹⁸⁾と様々な分類がなされてきているが、客観的な評価尺度として、一定の条件で測定された食品の硬さや付着性といった物性値が用いられている。農林水産省も栄養面や嚥下能に配慮した食品を 2014 年にスマイルケア食として整理し、2016 年から嚥下能に応じた商品選択に寄与

する識別マークの運用を開始している。

高アミロース米から調製した米ゲルについての論文では粘弾性や破断応力について述べられているが^{11)~13)}、嚥下食の規格として参考となる硬さ・付着性・凝集性といった物性値については測定されておらず、食品としてどのような硬さであるのか、どのような粘りを有するのか明らかでない。本研究では、数品種の高アミロース米の米粉から調製したゲルの物性を測定し、その嚥下食への応用可能性について調査することを目的とした。

実 験 方 法

1. 試験材料

供試材料として、表 1 に示す高アミロース米と中アミロース米の精白米を用いた。いずれの材料も、農研機構の各地の稲育種グループで慣行栽培・収穫されたものを供試した。90% 搗精した精白米は乾式小型製粉機 (SATAKE SRG05A, 0.5 mm スクリーン) を用いて製粉した。

2. アミロース含有率の測定

精白米の見かけのアミロース含有率 (Apparent amylose content, AAC) について、ヨウ素呈色比色法¹⁹⁾の改良法で測定した。即ち、精米粉 10 mg に 100 μ l の 95% EtOH を加えて分散させ、1.0 ml の 1 N NaOH を加えて 4℃ 下で一晩静置し糊化させた。糊化液を希釈して酢酸を用いて中和した後に、ヨウ素・ヨウ化カリウム液を加え、30℃ の恒温水槽で 20 分間発色させたものについて、620 nm の吸光度を測定した。糯米「はくちょうもち」の精白米糊化液とアミロース (Sigma Potato Amylose Type III) の糊化液を混合し、アミロース含有率が 0%, 10%, 20%, 30%, 40% になるよう調製したものを標準液として用いアミロース含有率を求めた。

一方、精米粉から冷アルカリ法²⁰⁾²¹⁾により澱粉を精製した。即ち、精米粉 2 g に 40 ml の 0.1% NaOH を加え 4℃ 下で 6 時間攪拌した後 4℃ 下で 16 時間静置し沈殿物を得た。上清を除去して 4℃ の純水を加えて攪拌し、遠心する作業

を上清のpHが7.0になるまで繰り返し、得られた沈殿物を凍結乾燥することで澱粉を精製した。得られた米澱粉について、Megazyme社のキット(Amylose/Amylopectin Assay Kit)を用いて、コンカナバリンA(Concanavalin A, Con A)によりアミロペクチンを除去して得られるアミロース含有率(ConA AC)を求めた。

3. 米粉ゲルの調製

精米粉に対し重量比で6倍量, 10倍量, 12倍量, 15倍量, 20倍量のMilli-Q水を添加して混合した懸濁液をラピッド・ビスコ・アナライザー(RVA3D+, Newport Scientific社)にセットし、攪拌しながら50℃下で1分間保持した後、3分48秒かけて95℃まで加温し、95℃下で1分12秒保持することで糊化させた。得られた糊液を直径40mm, 高さ15mmのステンレスシャーレに充填し、4℃の恒温庫に一晩静置した。

4. 物性測定

クリープメータ(RHEONERII RE2-33005C, 山電)を用いて、消費者庁えん下困難者用食品許可基準²³⁾に基づき、常温(20±2℃)下、直径20mm, 高さ8mmの樹脂製プランジャにより、圧縮速度10mm/sec, クリアランス5mmで2回圧縮し、テクスチャープロファイルを得た。米粉ゲルは前項に従って調製したものを恒温庫から取り出して常温に戻し、直径40mm, 高さ15mmのステンレスシャーレに入れたまま試料台に固定して物性を測定した。

5. アンケート調査

2017年11月11日に札幌市内の病院において、茶話会に参加した60代以上の健常者17名に対し試食アンケートを実施した。試食物は、「北瑞穂」の精米粉に等量の上白糖を混合し、精米粉に対して10倍量および15倍量の浄水を加えて鍋に入れてかき混ぜながら電磁調理器で加熱し、得られた糊化物を製氷トレーに流し込んで4℃の恒温庫に一晩静置したものをアンケート当日に型から取り出し提供した。アンケートでは二種類のゲルについて加水量を隠し、飲み込みやすさについて「良い/少し良い/ふつう/少し悪い/悪い」の5段階の中から選択形式で評価してもらうとともに、自由記述で感想を集めた。

6. 統計解析

アミロース含有率の測定は2回以上行い平均値を求めた。ゲルの調製および物性測定は3回以上行い、平均値を求めた。多重検定および相関解析は統計解析ソフトSAS(SAS 9.4)を用いて行った。

実験結果および考察

1. アミロース含有率とその特徴

本研究で用いた米のアミロース含有率は表1の通りであった。ヨウ素呈色法で測定した見かけのアミロース含有率(AAC)は中アミロース米で17.8~20.1%, 高アミロース米で25.3%~30.4%であった。中アミロース米は高アミ

ロース米よりも有意にAACが低かった。高アミロース米の中でも Wx^b を有する「ミズホチカラ」はAACが「モミロマン」を除く他の3品種よりも有意に少なかった。

レクチンの一種であるCon Aはアミロースとは反応せず、分岐構造を持つアミロペクチンとだけ複合体を形成するため²³⁾、Con Aによりアミロペクチン画分を除去して測定したアミロース含有率(ConA AC)は真のアミロース含有率に近いと考えられる。ConA ACは中アミロース米で15.6~16.8%, 高アミロース米で18.4%~23.4%であり、いずれもAACより低い数値を示した。高アミロース米の中でも「北瑞穂」と「ミズホチカラ」は中アミロース米と同程度のConA ACを示した。

AACはアミロースがヨウ素と複合体を形成して呈色する原理を利用して測定した値である。アミロースと同程度の長い直鎖であるアミロペクチンの超長鎖(SLC)はアミロースと同様にヨウ素と親和性を示し呈色する³⁾ため、AACは真のアミロースとSLCの両方を含んだ値となる。一方、ConA ACは、前述したようにアミロペクチンと特異的に結合するCon Aを作用させてアミロースのみを測定する²³⁾ため、真のアミロース含有率に近い値を測定できる。このことから、AACとConA ACの差はSLCを含むと考えられる。本研究ではAAC-ConA ACの値が中アミロース米では2.4~3.4%, 高アミロース米では3.9~12.0%であった。「北瑞穂」はAACとConA ACの値の差が大きく、これは、「北瑞穂」の親がアミロペクチンのSLC含有率が高い「夢十色」であることに由来すると考えられた。

Horibataら²⁾は、澱粉と精製したアミロペクチンのゲル濾過クロマトグラフィークロマトグラムを比較することでSLCを求め、近年日本で育成された水稻品種は、2%以下のSLCを持つ「コシヒカリ」タイプ、5~7%の「ホシユタカ」タイプ、13~16%の「夢十色」タイプとに分けられることを報告している。この手法は、見かけのアミロース、真のアミロース、SLC、アミロペクチン長鎖画分、アミロペクチン短鎖画分を同時に測定することができるが、アミロペクチンの調製とゲル濾過に時間と手間を要する。本研究で求めたAAC-ConA ACの値を、Horibataら²⁾の報告したSLCの値と比較すると、中アミロース米では1%程度高く、高アミロース米では「モミロマン」を除き5~7%の「ホシユタカ」タイプと同程度、「北瑞穂」は「夢十色」タイプより1%低い値となっていた。米澱粉のアミロース含有率は登熟気温によって数%上下するため、AAC-ConA ACをSLCとみなしても矛盾がないと考えられた。このことから、SLCと真のアミロースの両方を含むAACを測定し、そこからSLCの多寡に関わらずアミロペクチンを沈殿除去して求められるアミロース含有率であるConA ACの値を差し引くことでSLCを推定できると考えられた。「モミロマン」においてAAC-ConA ACの値が小さい原因は、栽培環境によるアミロースやSLCの変動によるものと考え

	6倍加水	10倍加水	12倍加水	15倍加水	16倍加水	20倍加水
北瑞穂	ゲル	ゲル	ゲル	ゲル	ゾル	ゾル
越のかおり	ゲル	ゲル	ゲル	ゲル	ゲル	ゾル
ふくのこ	ゲル	ゲル	ゲル	ゲル	ゲル	ゾル
モミロマン	ゲル	ゲル	ゲル	ゲル	ゲル	ゾル
ミズホチカラ	ゲル	ゲル	ゲル	ゲル	ゲル	ゾル
日本晴	ゲル	ゲル	ゾル	ゾル	ゾル	ゾル
ななつぼし	ゲル	ゲル	ゲル	ゾル	ゾル	ゾル
ヒノヒカリ	ゲル	ゲル	ゲル	ゾル	ゾル	ゾル

図 1 米粉ゲルの外観と加水量によるゲル形成の有無

られた。

2. 加水と加熱によるゲルの形成

本研究で用いた高アミロース米はいずれも、米粉に対し重量比 10～15 倍の水を加え糊化させて冷却するとゲルになり、加水量を 16 倍以上に増やすと一部の品種は流動性を示すゾルになった(図 1)。ステンレスシャーレから取り出した際の挙動から、高アミロース米から調製したゲルは、軟らかいゼラチンゼリーやプリンのような物性であると考えられた。見かけのアミロース含有率が 19.7% の中アミロース米「ななつぼし」では加水量 15 倍以上で流動性を示すゾル状になり、加水量 12 倍以下でかろうじてゲル状になったがべとつきが大きく、加水量 10 倍のものは餡のような状態となり、一般的な食品のゼリーとは様子が異なった。加水量を 6 倍に減らすと高アミロース米は硬くて付着性が低く、指で押すと割れるゲルになった。一方、中アミロース米も加水量を 6 倍にするとゲル状になったが、ういろうのような粘りのあるゲルになったため型から取り出すことが困難であった(データ省略)。アミロースを含まない糯米「はくちょうもち」の米粉を用いた場合、加水量を 3 倍まで減らしても流動性を示す糊状であった。加水量 10～15 倍で形の崩れないゼリー状の米粉ゲルを得るためには、見かけのアミロース含有率が 25% 以上の高アミロース米を用いる必要があり、中アミロース米からはゼリー状のゲルは作成不可能であると考えられた。

柴田ら¹¹⁾は粒のまま糊化させた高アミロース米に高速せん断加工を適用することにより、硬い性質のゲル(米ゲル)を調製可能であることを報告している。本研究では、高アミロース米の米粉に 10～15 倍量の水を加えて加熱攪拌して冷却することで、軟らかいゼリー状のゲルが得られることが示された。高アミロース米の米粉が入手できれば、特別な機械や技術を必要とせず加熱装置と水でゲルを調製す

ることが可能であるため、高アミロース米の米粉はゲル化剤として利用できると考えられた。

米粉ゲル糊液作成時の RVA 粘度曲線は、いずれの品種においても糊液を調製する 6 分間の間にピーク粘度を示した(データ省略)。一方、本研究の米粉ゲル調製条件での各米粉の糊化の程度は不明であり、今後、ゲルを調製する温度や時間がゲル形成にどのような影響を及ぼすのか解析する必要がある。

3. 高アミロース米粉ゲルの物性

得られた米粉ゲルあるいはゾルについて、えん下困難者用食品許可基準に基づき、その物性を測定した(表 2)。えん下困難者用食品はその物性(硬さ、付着性、凝集性)によって、許可基準 III(少し咀嚼して飲み込める性状のもので、不均質なものを含む)、許可基準 II(口の中で少しつぶして飲み込める性状のもので、均質なもの)、許可基準 I(そのまま飲み込める性状のもので、均質なもの)に分けられる¹⁷⁾²²⁾。いずれの品種においても、加水量が少ないと硬さと付着性の値は大きかった。6 倍加水により調製したゲルは、中アミロース米である「ななつぼし」と「ヒノヒカリ」が嚥下食品基準 III に相当する物性を示した。一方、その他の品種は「日本晴」は付着性の値が、高アミロース米品種群は硬さと付着性の値が大きいため基準には相当しなかった。10 倍加水ゲルは、すべての品種で基準 II に相当する物性を示した。15 倍加水のゲルは、いずれの品種も基準 I もしくは II もしくは III に相当する物性を示した。

もっとも飲み込みやすい物性区分である許可基準 I の規格は、均質で、硬さが 2500～10000 N/m²、付着性が 400 J/m³ 以下、凝集性が 0.2～0.6 とされている²²⁾。この値と比較すると、高アミロース米から調製したゲルは、6 倍加水だと硬さと付着性の両方の値が大きすぎ、10 倍加水だと硬さは程よいが付着性の値がやや大きい、15 倍加水だと付着

表2 米粉ゲルの物性とアミロース含有率との相関係数

品種名	6倍加水					10倍加水					15倍加水				
	硬さ (N/m ²)	付着性 (J/m ³)	凝集性	基準	付着性 /硬さ	硬さ (N/m ²)	付着性 (J/m ³)	凝集性	基準	付着性 /硬さ	硬さ (N/m ²)	付着性 (J/m ³)	凝集性	基準	付着性 /硬さ
北瑞穂	41943 ^a	2117 ^a	0.53 ^{de}	—	0.05 ^d	9295 ^b	648 ^a	0.48 ^d	II	0.07 ^c	997 ^d	218 ^a	0.58 ^{bc}	III	0.22 ^{ab}
越のかおり	40595 ^a	2255 ^a	0.52 ^e	—	0.06 ^d	8817 ^b	636 ^a	0.53 ^{bc}	II	0.07 ^c	668 ^d	176 ^a	0.68 ^{ab}	III	0.26 ^a
ふくのこ	36510 ^a	1849 ^{ab}	0.58 ^{cd}	—	0.05 ^d	13178 ^a	704 ^a	0.51 ^{bcd}	II	0.05 ^c	2928 ^a	239 ^a	0.53 ^c	I	0.08 ^c
モミロマン	43566 ^a	1822 ^{ab}	0.52 ^e	—	0.04 ^d	12669 ^a	639 ^a	0.51 ^{cd}	II	0.05 ^c	1634 ^{bc}	206 ^a	0.59 ^{bc}	II	0.13 ^{bc}
ミズホチカラ	19555 ^b	2025 ^a	0.62 ^{bc}	—	0.11 ^c	8626 ^b	678 ^a	0.56 ^b	II	0.08 ^c	2165 ^b	221 ^a	0.59 ^{abc}	II	0.10 ^c
日本晴	8425 ^c	2038 ^a	0.67 ^{ab}	—	0.24 ^a	3268 ^c	812 ^a	0.68 ^a	II	0.25 ^b	1157 ^{cd}	273 ^a	0.68 ^{ab}	II	0.24 ^a
ななつばし	6536 ^c	1129 ^c	0.67 ^{ab}	III	0.17 ^b	2249 ^c	646 ^a	0.67 ^a	II	0.29 ^{ab}	1040 ^d	209 ^a	0.67 ^{ab}	II	0.20 ^{ab}
ヒノヒカリ	5868 ^c	1363 ^{bc}	0.69 ^a	III	0.23 ^a	2324 ^c	705 ^a	0.71 ^a	II	0.31 ^a	944 ^d	274 ^a	0.69 ^a	III	0.29 ^a
相関係数															
AAC	0.94 ^{**}	0.72 [*]	-0.93 ^{**}	—	-0.93 ^{**}	0.86 ^{**}	-0.49	-0.97 ^{**}	—	-0.94 ^{**}	0.27	-0.64	-0.66	—	-0.40
ConA AC	0.86 ^{**}	0.58	-0.87 ^{**}	—	-0.83 [*]	0.84 ^{**}	-0.47	-0.78 [*]	—	-0.84 ^{**}	0.26	-0.69	-0.42	—	-0.40
AAC-ConA AC	0.67	0.58	-0.64	—	-0.68	0.56	-0.34	-0.79 [*]	—	-0.68	0.18	-0.36	-0.62	—	-0.23

異なるアルファベットは Tukey の多重検定により 5% 水準で品種間に有意差があることを示す。* は 5% 水準で有意, ** は 1% 水準で有意な相関であることを示す。

性は程よいが硬さの値がやや小さいと考えられた。加水量を増やすと硬さも付着性も値が小さくなることから、加水量を 10～15 倍の間で調節することで、硬さと付着性を基準 I の範囲内に近づけて飲み込みやすい物性に調製できる可能性があると考えられた。

全ての品種においてゲル状となり基準 II に相当する物性を示した 10 倍加水のゲルに注目すると、いずれの品種間でも付着性に有意な差はなく、硬さと凝集性の数値が高アミロース米群と低アミロース米群とで異なった。また、硬さと付着性の比率（付着性/硬さ）が高アミロース米品種群と中アミロース米品種群とで大きく異なった。基準 II の物性でも、高アミロース米のゲルは硬さに対し付着性が非常に小さく、べとつきの少ないゲルであることが示された。

高アミロース米のゲルの付着性/硬さの比率を基準の範囲内に入った加水量 10 倍と 15 倍で比較すると、いずれの品種においても 10 倍加水のゲルの方が小さい数値を示した。15 倍加水ゲルは硬さも付着性の値も小さいがクリープメータでの物性測定時にプランジャにゲルが付着し、10 倍加水ゲルだとプランジャに付着することはなかった。今回の測定条件ではプランジャとゲルの接触面積は全てのサンプルで同一であるため、15 倍加水ゲルではゲル構造を維持する力よりも、ゲルがプランジャに付着する力の方が大きかったためにゲルが変形してプランジャに付着したと考えられる。このことから、物性値上は 15 倍加水ゲルの方が硬さも付着性も小さいが、喉への付着性を考慮すると飲み込む際の物性は 10 倍の方が良いと推察された。

4. 高アミロース米粉ゲルの試食アンケート

「北瑞穂」に 10 倍もしくは 15 倍加水して得られた米粉ゲルを 60 代以上の健康者 17 名（60 代 7 名、70 代 8 名、80 代

以上 2 名）に試食してアンケートを行った。飲み込みやすさについて「良い」と答えた人の割合は 10 倍加水ゲルの場合 82%, 15 倍加水ゲルの場合 59% と、10 倍加水ゲルの方が物性は好まれる傾向が認められた（図 2）。また、15 倍加水のゲルは柔らかいものの喉に張り付くといった意見や 10 倍加水ゲル程度の硬さが食べやすいといった意見が挙げられた。表 2 の付着性と硬さの比率から飲み込む際の物性は 10 倍加水ゲルの方が良いと推察されたが、アンケート結果からも 10 倍加水ゲルの方が飲み込みやすいことが示唆された。

岩崎ら²⁴⁾ はユニバーサルデザインフードの物性値の「かたさ」と官能評価の「つぶしやすさ」に高い相関関係を認めた一方で、物性値の「付着性」ならびに「凝集性」については官能評価の「べたつき」「残留しやすさ」「飲み込みやすさ」と相関を示すものの、通常食に近いものでは食感との対応は限定的であることを示唆している。「北瑞穂」の 10 倍加水ゲルは 15 倍加水ゲルよりも硬さと付着性が大きいと、岩崎ら²⁴⁾ の発表に基づく、つぶしにくく残留しやすくと推察されるが、アンケートの結果は異なった。本研究で得られた「付着性/硬さ」の数値は、アンケートの結果で飲み込みやすいと示唆された 10 倍加水ゲルの方が 15 倍加水ゲルよりも小さかった。このことから、付着性と硬さの比率が小さいほど飲み込みやすいと考えられ、「付着性/硬さ」の数値の小ささは飲み込みやすさを表す指標になりうると考えられた。

高アミロース米の中でも、品種によりゲルの硬さと凝集性に有意差があった。これは、高アミロース性を示す Wx2 遺伝子の中でのさらなる多型や、栽培環境が異なることに起因する澱粉構造の差にも原因があると推察された。今

図 2 米粉ゲルの試食アンケート結果

「北瑞穂」の10倍加水ゲルと15倍加水ゲルについて、加水量を隠してアンケート調査を行った。

図 3 アミロース含有率と米粉ゲル物性との相関図

○：6倍加水，＋：10倍加水，●：15倍加水。

後、*Wx2* の遺伝子型解析やアミロパекチンの単位鎖長分布などについて詳細に解析を進める必要がある。

5. ゲル物性とアミロース含有率との関係

ゲル物性とアミロース含有率の測定値 (AAC, ConA AC, AAC-ConA AC) との間の相関を解析した (表 2, 図 3)。6倍加水ゲルでは、AAC と硬さ、付着性、凝集性、付着性/硬さとの間に有意な相関が、また、ConA AC と硬さ、凝集性、付着性/硬さとの間に有意な相関が認められた。一方、AAC-ConA AC の値はいずれの値とも有意な相関は示さなかった。すべての品種で嚥下困難者用食品基準 II に相当する物性を示した 10 倍加水ゲルでは、AAC と硬さ、凝

集性、付着性/硬さとの間に有意な相関が、また、ConA AC とかたさ、凝集性、付着性/硬さとの間に有意な相関が、AAC-ConA AC と凝集性との間にも有意な相関が認められた。10 倍加水ゲルにおいて、アミロース含有率は付着性とは有意な相関を示さなかった。嚥下食に適すると考えられる加水率のゲルにおいて、アミロース含有率は付着性よりも硬さに関与することでべとつきの少ない独特の物性をもたらすと考えられた。

6 倍加水ゲルにおいても 10 倍加水ゲルにおいても、AAC と ConA AC はゲルの硬さと凝集性との間に強い相関を示したが、15 倍加水したゲルおよび粥において、ア

図4 冷蔵保存時のゲル物性の変化

エラーバーは標準偏差を示す ($n=3$).

ミロース含有率とゲル物性値との間に有意な相関は認められなかった。15倍加水したものはゲルとゾルが混在していたため、「北瑞穂」、「越のかおり」、「ふくのこ」、「モミロマン」、「ミズホチカラ」から得られた15倍加水ゲルのみで相関解析を行ったが、アミロース含有率の測定値とゲル物性との間に有意な相関は認められなかった。

6. 冷蔵に伴う物性の変化

高アミロース米「北瑞穂」、「ふくのこ」、「ミズホチカラ」および中アミロース米「ななつぼし」の10倍加水ゲルおよび15倍加水ゲルについて、一晚冷蔵後、二晩冷蔵後、三晩冷蔵後にえん下困難者用食品許可基準に基づき物性を測定し、3日間の硬さ、付着性、凝集性の変化を解析した(図4)。高アミロース米、中アミロース米いずれの品種においても、10倍もしくは15倍加水で調製したゲルは冷蔵3日を経過しても硬さ、付着性、凝集性に有意な変化は認められなかった。また、10倍および15倍加水で調製したゲルは冷蔵3日間において目視による離水は認められなかった。

離水率の高い食品は液体と固体が分離するため誤嚥の危険性が高く、嚥下食では離水の少ない食品が求められる¹⁸⁾。コーンスターチや馬鈴薯澱粉の離水率は澱粉糊の濃度によって異なることが報告されている²⁵⁾。高アミロース米粉ゲルも濃度を変えることにより離水する可能性があるが、嚥下食に適する可能性のある10倍および15倍加水のゲルでは離水が認められないことが示された。高アミロース米粉ゲルは冷蔵保存に適することが示された一方、これらのゲルは冷凍するとスポンジ状になり離水した(データ省略)ため、冷凍保存には適さないと考えられた。

7. 高アミロース米粉ゲルの活用

アミロース含有率25%~30%の高アミロース米の米粉

に10倍量の加水を行って調製したゲルは程よい硬さと付着性を示すため、高アミロース米の新しい用途として嚥下困難者用食品としての利用が期待される。梗米粉のゲル状食品としては団子やういろ等が挙げられるが、伝統的に国内で高アミロース米粉は利用されてきておらず、水分含有率の高いゼリー状食品は存在しなかった。今後、高アミロース米粉の利用により、付着性の低いゼリー状の食品開発が期待される。また、ゲル化した際に硬さに対する付着性が低いという特性を活かし、澱粉性食品の歯切れを良くするための物性改良剤としての利用も期待される。本研究で得られた米粉ゼリーそのものは米粉の風味がするものの、日常的に食べるためには味をつける必要がある。我々は砂糖を米粉と同量添加してもゼリー状の物性を保つことを確認しており、米粉ゼリーとして菓子等への加工が期待される。高アミロース米粉ゲルを調製するためには米粉に水を加え、攪拌しながら95℃以上に加熱する必要がある。家庭では鍋と熱源があればゲルを調製できるが、嚥下食が必要となる現場では、粉末に水を加えるだけでゲル化が起るような簡便にゲルを調製できる製品が利用されている。今後、高アミロース米粉のゲル化剤としての利用を進めるためには、より簡便にゲルを調製できるような製粉方法やゲル化方法を検討していく必要がある。現在、製粉方法の工夫により粒子をより細かくしたり、 α 化させた米粉を使用したりすることでゲルの形成が容易になるかどうか検討を進めている。

要 約

(1) 見かけのアミロース含有率からコンカナバリンA法によって測定したアミロース含有率を差し引くことで、ア

ミロペクチンの超長鎖 (SLC) を推定できる可能性が示された。

(2) 見かけのアミロース含有率 25%~30% の高アミロース米の米粉に 10 倍量から 15 倍量の水を加えて加熱攪拌することで得られるゼリー状のゲルは、嚥下困難者用食品の基準に相当する物性を示した。硬さと付着性の比率から 10 倍加水ゲルの物性がより飲み込みやすいことが示唆された。

(3) 飲み込みやすいと示唆された 10 倍加水ゲルの物性値は、見かけのアミロース含有率およびコンカナバリン A 法によるアミロース含有率と有意な相関関係を示した。

(4) 10 倍加水もしくは 15 倍加水により調製した高アミロース米粉ゲルは 3 日間冷蔵保存しても物性の変化が少なく離水も認められなかった。

以上のことから、高アミロース米の米粉ゲルが嚥下食として利用できることが期待される結果が得られた。

本研究は JSPS 科研費 (JP15K00802) および農研機構男女共同参画推進室研究支援要員雇用経費の支援を受けた。貴重な研究材料を提供いただいた農研機構北海道農業研究センター、中央農業研究センター、西日本農業研究センター、九州沖縄農業研究センターの各水稻育種関係者および実験補助いただいた大鋸千恵氏に深謝する。

文 献

- 農林水産省 (2018). 平成 28 年度食料需給表, 品目別累年表, 穀類, 米.
- Horibata, T., Nakamoto, M., Fuwa, H., and Inouchi, N. (2004). Structural and physicochemical characteristics of endosperm starches of rice cultivars recently bred in Japan. *J. Appl. Glycosci.*, **51**, 303-313.
- Takeda, Y., Hizukuri, S., and Juliano, B.O. (1987). Structures of rice amylopectins with low and high affinities for iodine. *Carbohydrate Res.*, **168**, 79-88.
- Aoki, N., Umamoto, T., Hamada, S., Suzuki, K., and Suzuki, Y. (2012). The amylose content and amylopectin structure affect the shape and hardness of rice bread. *J. Appl. Glycosci.*, **59**, 75-82.
- Inouchi, N., Hibi, H., Li, T., Horibata, T., Fuwa, H., and Itani, T. (2005). Structure and properties of endosperm starches from cultivated rice of Asia and other countries. *J. Appl. Glycosci.*, **52**, 239-26.
- Aoki, N., Umamoto, T., Yoshida, S., Ishii, T., Kamijima, O., Matsukura, U., and Inouchi, N. (2006). Genetic analysis of long chain synthesis in rice amylopectin. *Euphytica*, **151**, 225-234.
- Hanashiro, I., Itoh, K., Kuratomi, Y., Yamazaki, T., Matsugasako, J., and Takeda, Y. (2008). Granule-bound starch synthase I is responsible for biosynthesis of extra-long unit chains of amylopectin in rice. *Plant and Cell Physiol.*, **49**, 925-933.
- Behall, K.M., Scholfield, D.J., and Canary, J. (1988). Effect of starch structure on glucose and insulin responses in adults. *Am. J. Clin. Nutr.*, **47**, 428-432.
- Goddard, M.S., Young, G., and Marcus, R. (1984). The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. *Am. J. Clin. Nutr.*, **39**, 388-392.
- Juliano, B.O. and Goddard, M.S. (1986). Cause of varietal difference in insulin and glucose responses to ingested rice. *Qual. Plant Plant Foods Hum. Nutr.*, **36**, 35-41.
- Shibata, M., Sugiyama, J., Fujita, K., Tsuta, M., Yoshimura, M., Kokawa, M., and Araki, T. (2012). Gel property changes in high-amylose rice by mechanical mixing. *Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi*, **59**, 220-224 (柴田真理朗, 杉山純一, 藤田かおり, 葛 瑞樹, 吉村正俊, 粉川美路, 荒木徹也. 攪拌処理による高アミロース米のゲル物性の変化, 日本食品科学工学会誌).
- Matsuyama, S., Shibata, M., Sugiyama, J., Fujita, K., Tsuta, M., Yoshimura, M., Kokawa, M., Hirano, Y., Araki, T., and Nabetani, H. (2014). Development of a rice noodle processing method using mechanical mixing gelation of high-amylose rice. *Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi*, **61**, 127-133 (松山信悟, 柴田真理朗, 杉山純一, 藤田かおり, 葛 瑞樹, 吉村正俊, 粉川美路, 平野由香里, 荒木徹也, 鍋谷浩志. 高アミロース米の機械的攪拌ゲル化処理を利用した米麺加工法の開発, 日本食品科学工学会誌).
- Shibata, M., Sugiyama, J., Fujita, K., Hirano, Y., Tsuta, M., Kokawa, M., Yoshimura, M., and Araki, T. (2015). Effect of a high-amylose gel prepared by high-speed shear treatment on the physical properties of bread. *Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi*, **62**, 212-218 (柴田真理朗, 杉山純一, 藤田かおり, 平野由香里, 葛 瑞樹, 粉川美路, 吉村正俊, 荒木徹也. 高速せん断による高アミロース米ゲルのパン物性へ及ぼす効果, 日本食品科学工学会誌).
- Matsuba, S., Shimizu, H., Yokogami, N., Kuroki, M., Funatsuki, W., Ikegaya, T., and Tamura, Y. (2017). Breeding of "Kitamizuho", a rice cultivar with high amylose content suitable for processing. *Bull. NARO Agric. Res. Hokkaido Reg.*, **205**, 23-35 (松葉修一, 清水博之, 横上晴郁, 黒木慎, 船附稚子, 池ヶ谷智仁, 田村泰章. 加工用途に適する高アミロース米水稻品種「北瑞穂」の育成, 農研機構研究報告北海道農業研究センター).
- 芦田 (吉田) かなえ, 幸谷かおり, 梅本貴之 (2015). 高アミロース米「北 瑞穂」の米粉から得られるゲルの特性. 京都, 日本食品科学工学会第 62 回大会講演集, p. 101.
- 農林水産省 (2017). 平成 28 年度食料・農業・農村白書. p. 129.
- 厚生労働省 (2009). 特別用途食品の表示許可等について「食安発第 0212001 号」.
- 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会医療検討委員会 (2013). 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類 2013. 日摂食嚥下リハ会誌, **17** (3), 255-267.
- Juliano, B. O. (1971). A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Sci. Today*, **16**, 334-360.
- Yamamoto, K., Sawada, S., and Onogaki, T. (1973). Properties of rice starch prepared by alkali method with various conditions. *J. Jap. Soc. Starch Sci.*, **20**, 99-104 (山本和夫, 沢田澄恵, 小野垣俊雄. アルカリ法による米澱粉の調製とその性状について, 澱粉科学).
- Yamamoto, K., Sawada, S., and Onogaki, T. (1981). Effects of quality and quantity of alkaline solution on the properties of the rice starch. *J. Jap. Soc. Starch Sci.*, **28**, 241-244 (山本和夫, 沢田澄恵, 小野垣俊雄. 米澱粉調製の際のアルカリ溶液の濃度と種類の影響, 澱粉科学).
- 消費者庁 (2016). 特別用途食品の表示許可等について. 消費表第 221 号.
- Gibson, T.S., Solah, V.A., and McCleary, B.V. (1997). A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with concanavalin A. *J. Cereal Sci.*, **25**, 111-119.

- 24) 岩崎裕子, 大越ひろ, 熱田正吉, 伊藤裕子, 花村高行, 堀本智仁, 畠山 健, 藤崎 亨 (2015). ユニバーサルデザインフード (UDF) における官能評価と物性値の関連性の検証. 京都, 第 21 回日本摂食・嚥下リハビリテーション学会学術大会抄録集, s86.
- 25) 前沢辰雄, 大久保増太郎 (1963). 澱粉糊の離水について. 澱粉工業学会誌, **10**, 111-116.

引用 URL

- i) 株式会社富士経済 (2017). 高齢者向け食品市場の将来展望 2017 概要. <https://www.fuji-keizai.co.jp/market/17084.html> (2018. 5. 14)
- ii) 日本介護食品協議会. ユニバーサルデザインフードとは. <http://www.udf.jp/outline/udf.html> (2018. 5. 1)
- iii) 嚥下食ドットコム. 「嚥下食ピラミッド」の概要. <https://www.engesyoku.com/kiso/kiso06.html> (2018. 5. 1)
- (平成 30 年 7 月 3 日受付, 平成 31 年 2 月 21 日受理)