

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K02217

研究課題名(和文)高アミロース米の澱粉構造と難消化性澱粉利用に関する研究

研究課題名(英文) Study for resistant starch content of cooked rice and characterization of endosperm starch in high amylose rice.

研究代表者

芦田 かなえ (Ashida, Kanae)

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・主任研究員

研究者番号：90450329

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：食後の血糖上昇が穏やかで、人の体内で消化されない難消化性澱粉を多く含むことで注目されている高アミロース米について、品種の由来や澱粉特性の異なる性質を併せ持つ系統における澱粉の特性と、調理による難消化性澱粉の変化を調査した。品種によって生澱粉や米粉の状態、調理した状態によって難消化性澱粉の含有率は異なることが明らかになった。調査した中では「北瑞穂」をピラフ調理し、冷却後に再加熱して摂取することで効率よく難消化性澱粉を利用できると期待された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高アミロース米品種が複数育成されているが、澱粉の詳細な構造や物理特性、調理特性に関する知見は不足していた。本研究では、実際に栽培が広まりつつある品種を材料として、品種によって澱粉の構造や糊化した際の特性、調理前後の難消化性澱粉含有率の変化が異なることを明らかにし、難消化性澱粉をより多く利用できる調理条件と品種を見出した。得られた知見は、今後の高アミロース新品種の育成および高アミロース米の利用拡大に貢献すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Characteristics of endosperm starch and change of resistant starch content during cooking were studied using various types of high amylose rice. Resistant starch content of raw endosperm starch was differed among rice varieties. Processing and cooking had effect on resistant starch content. Cooked 'Kitamizuho' as pilaf showed highest resistant starch content. Resistant starch content was increased by cooling and reheat. By combination of high amylose rice, pilaf cooking, cooling and reheat, effective consumption of resistant starch will be attainable.

研究分野：食品科学

キーワード：高アミロース米 澱粉 難消化性澱粉 調理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

米の主成分は澱粉であり、澱粉はグルコースが直鎖状につながったアミロースと、直鎖に加え分岐構造を持つアミロペクチンとによって構成される。アミロペクチンの中には、長い直鎖を有しアミロース様の特性を示す超長鎖も存在することが知られている。アミロース含有率は炊飯米の物性を左右し、その含有率が高いほど粘りが弱く、硬くなる。日本で日常的に食べてられている米はアミロース含有率が 16~23%の中アミロース米である。アミロース含有率が 25%以上の米は高アミロース米と呼ばれ、その炊飯米はチャーハンやサラダ、リゾットに適性を示す他、米粉麺や米粉クッキーに適性がある。

高アミロース米は中アミロース米よりも食後の血糖上昇が穏やか (Goddard et al., 1984) であり、人の体内で消化されない難消化性澱粉 (Resistant Starch, RS) を多く含むことで注目されている。RS は血糖応答性や腸機能を改善することで知られており、健康への関心が高まる中、主食の選択肢を増やす上で高アミロース米の普及が期待される。

我々は、これまで幅広いアミロース含有率の米を用いて、その胚乳澱粉の構造と物性について研究を行ってきた。複数の高アミロース米品種系統の解析から、高アミロース性遺伝子 (Wx^a) の由来の違いやアミロースエクステンダー (*amylose-extender, ae*) 遺伝子の有無によって、澱粉特性・炊飯米物性・難消化性澱粉含有率に違いがあることが分かってきた。特に、 Wx^a と *ae* 遺伝子を併せ持つ系統の炊飯米は、中アミロース米の 10 倍以上の RS を含むことが分かった。しかし、 Wx^a と *ae* 遺伝子を併せ持つ系統はいずれも稲体が弱く低収量であるため実用化は難しい。一方、米の RS は一旦糊化した澱粉が老化する際に生成するため、調理加工方法により RS を制御できる可能性がある。RS を多く生成できる実用的な品種・系統を選定し、かつ、RS を高めることのできる調理方法を見出すことで、高アミロース米の普及と RS 素材としての利用が進むと期待される。

2. 研究の目的

本研究では、複数のタイプの高アミロース米品種系統を材料として、調理加工による難消化性澱粉の増減と食品物性の変化、系統間差を評価し、同時に、調理状態における澱粉の構造特性と物理特性を解析することで、難消化性澱粉をより多く生成する調理条件と系統を明らかにする。これにより、高アミロース米の普及と新品種育成に貢献することを目指す。

高アミロース米品種は見かけのアミロース含有率だけで育成・評価されており、澱粉の詳細な構造や物理特性、調理特性についての知見は不足している。本研究では、高アミロース性遺伝子の由来の異なる品種系統を材料として用い、その澱粉構造を詳細に解析し、さらに調理した状態での難消化性澱粉を評価することで、多様な調理における難消化性澱粉と澱粉特性の関係を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 材料

高アミロース性遺伝子 Wx^a の由来の異なる品種・系統および *ae* 遺伝子を併せ持つ系統、比較として中アミロース米品種を材料として用いた。いずれも農研機構の圃場で栽培・収穫されたものを使用した。

(2) 澱粉構造の解析

精白米から冷アルカリ浸漬法により澱粉を精製した。精製した澱粉からブタノール沈澱法によりアミロペクチンを精製した。また、澱粉に隣臓 α アミラーゼとアミログルコシダーゼを加えて一晩振蕩した後で得られる残渣を回収することで、難消化性澱粉を回収した。澱粉と I_2/KI 液を反応させることで見かけのアミロース含有率 (AAC) およびヨウ素親和度を測定した。真のアミロース含有率に近い値として、コンカナバリン 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) を測定した。また、中圧ゲルろ過クロマトグラフィーと全糖量・還元糖量の測定により分子構造を、示差走査熱量計により熱糊化特性を、ラピッドビスコアナライザーにより糊化粘度特性を測定した。

表. 供試した品種・系統

品種・系統名	AAC (%)	ConA AC (%)	Wx 遺伝子	<i>ae</i> 遺伝子
A-1	39.3	32.3	Wx^a	<i>ae</i>
A-2	39.8	31.3	Wx^a	<i>ae</i>
A-3	38.5	30.4	Wx^a	<i>ae</i>
A-4	36.4	31.0	Wx^a	<i>ae</i>
A-5	39.5	29.3	Wx^a	<i>ae</i>
こなゆきの舞	19.3	14.4	Wx^b	<i>ae</i>
研系2064	24.9	18.7	Wx^b	<i>ae</i>
越のかおり	29.8	23.1	Wx^a	野生型
北瑞穂	27.6	18.5	Wx^a	野生型
ふくのこ	30.7	22.9	Wx^a	野生型
日本晴	20.6	19.6	Wx^b	野生型
コシヒカリ	15.8	16.1	Wx^b	野生型

AAC, 見かけのアミロース含有率. ConA AC, コンカナバリン A 法で測定したアミロース含有率.

(3) 調理加工

膨化

精米 1 kg について、穀類膨張機を用いた膨化加工を行った。

炊飯

電気炊飯器（象印 NS-LD05-XA）を用いて、精白米 1 合について通常の炊飯を行った。また、精白米 1 合にサラダ油大さじ 1 を加えて中火で 5 分間炒めてから炊飯器で炊飯することでピラフ調理を行った。炊飯米およびピラフを炊飯直後直ちに冷凍庫で冷凍したもの、炊飯後に冷蔵庫で冷却してから冷凍したもの、冷凍後に電子レンジで解凍したもの、冷蔵後に電子レンジで解凍したものを調製し、冷凍後に凍結乾燥を行った。

米粉麵の製造および調理

小型製粉機（サタケ SRG05A, 0.5 mm スクリーン）を用いて精米を乾式製粉して米粉を調製した。米粉 200 g をヌードルメーカー（フィリップス HR2365/01）に入れて 80°C のお湯 120 ~ 130 ml を加え、8 分間こねて押出製麵を行った。得られた麵は熱湯中で 2 分間茹でて調理し、その後流水で洗った。得られた調理物は冷凍し、凍結乾燥を行った。

（4）難消化性澱粉（RS）の測定

精製した澱粉および調理物の凍結乾燥物を粉碎したものを試料として、難消化性澱粉測定キット（メガザイム）を用いて RS を測定した。

4．研究成果

（1）精製した澱粉の難消化性澱粉含有率

精製した米胚乳澱粉の RS は、一般的な中アミロース米で 1% 以下、高アミロース米で約 1 ~ 12% であった一方、*ae* 遺伝子を持つ低アミロース米では約 10%、*ae*+中アミロース米は 25%、*ae*+高アミロース米は約 30% であった。生澱粉の状態では、アミロース含有率が高いほど RS も高くなり、*ae* 遺伝子を併せ持つことによりさらに 10% 以上 RS 含有率が上がることが確認された。

（2）膨化加工したパフの難消化性澱粉含有率

精米について穀類膨張機を用いて膨化させ、いわゆるポン菓子状に加工した。中アミロース米も高アミロース米も香ばしくサクサクとしたパフになり、食味は良好であった。しかし、RS は中アミロース米品種でも高アミロース米品種でも 0.1% 以下と生澱粉よりも大幅に低くなり、膨化加工した米は RS を利用するための素材としては適さないと考えられた。

（3）炊飯米の難消化性澱粉含有率

中アミロース米の炊飯米は約 0.1%、高アミロース米の炊飯米は約 1 ~ 2%、高アミロース性遺伝子に *ae* 遺伝子を併せ持つ米の炊飯米は約 4% の RS 含有率を示した。アミロース含有率の多寡、*ae* 遺伝子の有無に関わらず、RS は生澱粉よりも炊飯米において低くなった。*ae* 遺伝子を有する系統及び高アミロース米の炊飯米は粘りがなく、硬く、食味が悪い「ごはん」として食べるのは適さないと考えられた。

（4）ピラフ調理した場合の難消化性澱粉含有率

高アミロース米はいわゆる「ごはん」としては食味が劣るが、チャーハンやピラフのような粘り気のない調理に向くと考えられた。油の添加による RS 含有率への影響を調査した結果、中アミロース米の炊飯米は約 0.2% の RS 含有率を示すが、ピラフの RS 含有率は約 0.4% を示し、通常の炊飯米の約 2 倍の値であった。高アミロース米を用いた場合、ピラフの RS 含有率は炊飯米と同程度の約 1.7% であり、油の添加による RS の増加は認められなかったが、低下も認められなかった。

（5）調理後の冷却と再加熱による難消化性澱粉含有率の消長

高アミロース米は、炊飯米においても、ピラフにおいても、調理後に冷蔵または冷凍による冷却を経て再加熱すると、RS 含有率が 2.5% 程度に上昇することが見出された。中アミロース米でも調理後の冷却と再加熱によって RS 含有率が炊飯米では約 0.3%、ピラフでは約 0.6% に上昇したが、高アミロース米と比較すると RS 含有率は低かった（図）。

（6）米粉麵の難消化性澱粉含有率

高アミロース米の米粉から調製した麵はべたつきが少なく、茹でた後の食感は良好であった。茹でた麵の RS 含有率は中アミロース米の「コシヒカリ」で 0.1% 未満であったのに対し、高アミロース米の「越のかおり」は 0.6%、「北瑞穂」では 1.0% であった。いずれも、米飯やピラフ調理したものよりも RS 含有率は低かったものの、高アミロース米品種は中アミロース米よりも 5 倍以上の RS を含むことが示された。

（7）澱粉の構造特性と調理後の難消化性澱粉含有率との関係

高アミロース米「越のかおり」の生澱粉には 11% の、高アミロース「北瑞穂」の生澱粉には 0.1% の RS が含まれていた。精製したアミロペクチンの平均鎖長は「越のかおり」の方が「北瑞穂」よりも長かった。また、示差走査熱量計で測定した澱粉の糊化ピーク温度も「越のかおり」

の方が高かった。これらのことからアミロペクチンの特性が生澱粉のRS含有率に影響している可能性があると考えられた。一方、精米を粉碎した米粉の状態ではRSを測定した場合には、「越のかおり」も「北瑞穂」もRSは2%程度であった。米粉の状態では粉碎時に澱粉が損傷を受け、より消化されやすい状態になっている可能性があると考えられた。

「越のかおり」および「北瑞穂」の澱粉からアミロペクチンを精製し、そのRSを測定すると、いずれも検出できなかった。この2品種の比較では、アルカリ崩壊性澱粉の遺伝子に由来するアミロペクチンの構造が生澱粉のRSに影響していると考えられたが、アミロペクチン単独の状態では難消化性澱粉が生成しないことを示唆していると考えられた。

「北瑞穂」は生澱粉の難消化性澱粉含有率は低い、炊飯およびピラフ調理後には「越のかおり」よりも高い難消化性澱粉含有率を示した。「北瑞穂」は糊化粘度特性の一つであるセットバック値が高く、老化のしやすさがRSの生成に寄与していると考えられた。しかし、米粉麵に加工した場合には「越のかおり」の方が「北瑞穂」よりもRSの値が大きかったことから、品種によって最適な加工方法が異なる可能性があると考えられた。

(8) 効率よく難消化性澱粉を摂取するための加工法

本研究では、特徴ある高アミロース米品種系統を用いて、米粉、澱粉、調理加工した際の澱粉構造とRS含有率について解析を行った。最もRSの多いae変異系統は、皺粒であったり低収であったりと農業形質が悪いため、実用化は難しい。品種化しているものの中では、粒の状態では糊化粘度特性のセットバック値が大きい「北瑞穂」が調理後のRSが多く、粉の状態では生澱粉にRSを多く含む「越のかおり」のRSが多かった。調理法としては、膨化加工や米粉加工するよりも、粒のまま炊飯あるいはピラフ調理した場合にRS含有量が大きかった。また、調理後に一旦冷却し再加熱することでよりRSがより生成することが確認された。美味しさの観点では、高アミロース米は膨化加工、麵、ピラフ調理した場合では食味が良かったが、炊飯米は食味が悪かった。本研究から、高アミロース米品種「北瑞穂」を冷凍ピラフや冷凍チャーハンの形で摂取することで、美味しくかつ効率よくRSを摂取できると期待された。

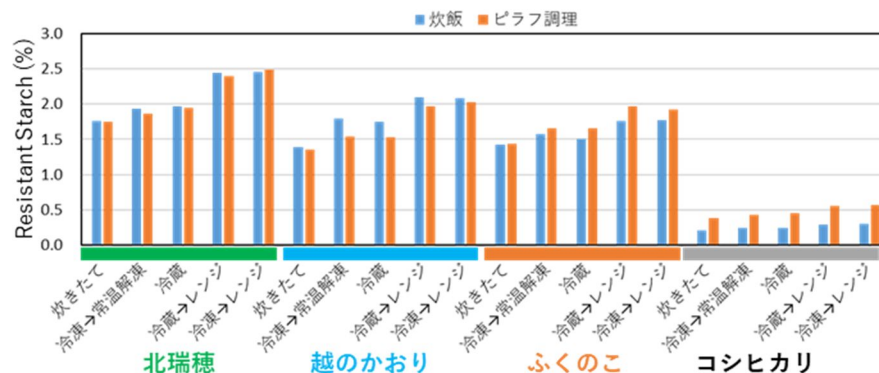


図. 調理後の冷却と再加熱による難消化性澱粉の変化

< 引用文献 >

Goddard, M.S. et al. (1984) The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. Am. J. Clin. Nutr., 39, 388-392.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 久保田結香、芦田（吉田）かなえ、井ノ内直良
2. 発表標題 ae遺伝子をもつアミロース含量の異なる米胚乳澱粉などの難消化性澱粉の性質
3. 学会等名 日本応用糖質科学会2020年度大会（第69回）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 芦田（吉田）かなえ、久保田結香、井ノ内直良
2. 発表標題 いくつかの高アミロース米を調理した際の難消化性澱粉含有率
3. 学会等名 日本応用糖質科学会2020年度大会（第69回）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久保田結香、大永知美、芦田（吉田）かなえ、井ノ内直良
2. 発表標題 いくつかの高アミロース米胚乳澱粉の粗グルコアミラーゼ分解残渣の構造
3. 学会等名 第68回日本応用糖質科学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田結香
2. 発表標題 特異なアミロペクチン構造をもつ高アミロース米の主として胚乳澱粉の性質
3. 学会等名 日本応用糖質科学会中国・四国支部シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田結香, 芦田(吉田)かなえ, 井ノ内直良
2. 発表標題 いくつかの高アミロース米の胚乳澱粉の微細構造
3. 学会等名 日本応用糖質科学会平成30年度大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	井ノ内 直良 (Inouchi Naoyoshi) (80193621)	福山大学・生命工学部・教授 (35409)	
研究分担者	久保田 結香 (Kubota Yuka) (60762698)	福山大学・生命工学部・助手 (35409)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------