

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：35409

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00802

研究課題名(和文)高アミロース米の炊飯米と胚乳澱粉の特性解明に関する研究

研究課題名(英文) Study for elucidation of characteristics of cooked rice and endosperm starch of high amylose rice

研究代表者

井ノ内 直良 (INOUCHI, Naoyoshi)

福山大学・生命工学部・教授

研究者番号：80193621

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：食後の血糖上昇が穏やかで生活習慣病予防の観点から注目される高アミロース米の炊飯米と胚乳澱粉の特性を調べた結果、高アミロース米を4つのタイプに分類できること、さらに高アミロースでアミロペクチンクラスターの長い側鎖が極端に多いタイプの米は炊飯米表層が極めて硬く、難消化性澱粉含量が高いことが明らかにした。このタイプの米は炊飯米には適さないため、今後の米粉や米ゲルとしての食品への利用が期待される。

研究成果の概要(英文)：We have investigated some characteristics for cooked rice and endosperm starches of various types of high amylose rice. We found there were four types of high amylose rice judging from experimental results for contents of real amylose and extra-long chains of amylopectin, and chain length distribution of amylopectin etc. Cooked rice constituted from starch having high real amylose content and long unit-chains in amylopectin had hard surface layer and high resistant starch content. Since this type of high amylose rice is not utilized for cooked rice, it is expected as rice flour and rice gel for rice foodstuffs.

研究分野：糖質科学

キーワード：澱粉 米粉 高アミロース 炊飯特性

1. 研究開始当初の背景

高アミロース米は澱粉中のアミロース含量が安定的に 25%以上の値を示す米のことであり、その多くは多収なため、低コストで生産可能である。またアミロース含量が中程度の「コシヒカリ」などの良食味米と比べて食後の血糖上昇が穏やかで、糖尿病の治療食として利用される。しかし、高アミロース米の炊飯米は硬くて粘りが弱く、わが国では主に加工用または飼料用として利用されてきた。近年、高アミロース米で調製したお粥を攪拌することによりペースト状に加工すると、従来にはない特異な粘弾性をもつ米ゲルが生成され、新規食品として、また食感改良技術への応用も可能となった。このように高アミロース米は今後の利用が大いに期待されるが、米およびその主成分である胚乳澱粉に関する研究を世界的にリードしてきたわが国においても、高アミロース米の炊飯特性や澱粉に関する研究はあまり進んでいない。

2. 研究の目的

我々がこれまで幅広いアミロース含量の試料米を用いて、その胚乳澱粉の構造と物性について行ってきた研究実績を活かして、今後の利用拡大が見込める高アミロース米の、特に最近新たに育成された高アミロース米試料を中心として、その炊飯特性および胚乳澱粉の構造と物性を詳細に研究し、その成果を澱粉食品の関連メーカーや米の育種に携わっている方々に広く情報提供することを目的としている。

3. 研究の方法

【実験材料】

以下に実験に用いた試料米 56 種の試料名を栽培年ごとに示した。複数年にわたって栽培された同一の品種米（または試験米）も多く存在している。また高アミロース米には○印を付けて示した。

<2011 年産試料米>

○ホシニシキ ○モミロマン

<2012 年産試料米>

○北瑞穂 ○ミズホチカラ ○ホシユタカ

○中国 215 号 華麗米

<2013 年産試料米>

○北瑞穂 ○ミズホチカラ ○中国 215 号

○ホシユタカ ななつぼし

<2014 年産試料米>

○北瑞穂 ○奥羽 PL6 ○羽系 1718

○ホシユタカ(晩生) ○中国 215 号(晩生)

○中系 3115 ○中系 3116 ○中系 3119

日本晴(晩生) きぬむすめ(晩生)

ヒノヒカリ(晩生) 恋の予感(晩生)

○ホシユタカ ○中国 215 号 日本晴

きぬむすめ ヒノヒカリ 恋の予感

○札系 11128 ○札系 13163 札系 11109

ななつぼし 札系 13128 札系 13132

<2015 年産試料米>

○収粉 9871 ○収粉 9848 日本晴 ○モミ

ロマン ○越のかおり 中系粉 3275 恋の予感(多肥) ヒノヒカリ(多肥) ○ホシユタカ(多肥) ○中国 215 号(多肥) ○中系 3115 ○中系 3116 ○中系 3119

<2016 年産試料米>

○北瑞穂 ○札系 13163 ○札系 13164

札系 11036 ○札系 11128 ゆきがすみ

札系 11109

【実験方法】

高アミロース米の炊飯特性、物理特性、構造特性を福山大学と北海道農業研究センター(北農研)とで分担して行った。北農研では、高アミロース米試料および比較米として中アミロース米の収集・調製、90%精米、および炊飯米の官能検査およびテンシプレッサーによる表層と全体のそれぞれの硬さと粘りなどの調査、難消化性澱粉(レジスタントスターチ)含量の測定などの測定を行った。福山大学では、高アミロース米の精白米から冷アルカリ浸漬法による胚乳澱粉の調製、胚乳澱粉のヨウ素吸収曲線から測定した青価(Blue value; B.V.)と最大吸収波長(max)の測定、イソアミラーゼで枝切り後、中圧ゲルろ過法による見かけのアミロース(Apparent amylose)含量およびアミロペクチンの単位鎖長分布の測定、胚乳澱粉からアミロペクチンを精製し、その精製アミロペクチンをイソアミラーゼで枝切り後、中圧ゲルろ過法によるアミロペクチンの超長鎖(Extra-long chain; ELC)含量と真のアミロース(Real amylose)含量の測定、パルスドアンペロメトリー検出器を用いた陰イオン交換クロマトグラフィー(HPAEC-PAD)によるアミロペクチンの短鎖領域の単位鎖長分布の測定、精製アミロペクチンの平均鎖長の測定、アミラーゼ分解限度の測定、平均外部鎖長、平均内部鎖長の測定、生澱粉分解酵素ダビアーゼ K-27 による澱粉粒の分解率の測定、示差走査熱量測定計(Differential scanning calorimeter; DSC)による糊化温度と糊化熱量の測定、ラピッドビスコアナライザー(Rapid visco-analyser; RVA)による粘度上昇開始温度、ピーク粘度、ブレイクダウン、セットバックの測定などを行った。

4. 研究成果

(1) 高アミロース米の炊飯米の特性

表層の硬さは高アミロース米で高く、中アミロース米で低かった。高アミロース米の中でもアミロース・エクステンダー(amylose-extender; ae)変異体米の研系 2064 を親に持つ中系 3115、中系 3116、中系 3119、収粉 9848、収粉 9871 の 5 試料米(以後グループ A とする)は、特に高かった。表層の粘りは高アミロース米で低く、中アミロース米で高い傾向が見られたが、高アミロース米のミズホチカラは表層の粘りが中アミロース米と同程度に高かった。炊飯米全体の硬さは、高アミロース米のほうが中アミロース

ス米よりも高い傾向がみられたが、特に澱粉のアミロペクチンに多くの超長鎖 (ELC) を多く含む夢十色を親に持つ北瑞穂は高かった。炊飯米全体の付着性は、中アミロース米で高く、高アミロース米で低い傾向がみられたが、特にグループ A の高アミロース米で低かった。

これらの結果から、高アミロース米の炊飯米は、中アミロース米と比べ、表層も全体も硬くなる傾向が明らかとなった。これらの結果は一般に予想される結果であったが、今回、*ae* 変異した高アミロース米は炊飯米の表層の高い硬度と全体の低い付着性をもつこと、高 ELC 米は炊飯米全体の高い硬度をもつことを見出した。

(2)高アミロース米のレジスタントスターチ (RS) 含量の特徴

高アミロース米は中アミロース米と比べて、高い RS 含量を示した。中でもグループ A の高アミロース米は中アミロース米の数十倍高い値を示した。また、北瑞穂も十倍程度高い値を示した。

これらの結果から、*ae* 変異した高アミロース米は非常に高い RS 含量の澱粉をもつこと、高 ELC 米もかなり高い RS 含量をもつことを見出した。このことから、これらの高アミロース米は特に、体内で食物繊維的な役割を果たすことが期待される。

(3)高アミロース米胚乳澱粉の構造特性

高アミロース米胚乳澱粉の見かけのアミロース含量は 25% 以上であった。これは、一般に知られている高アミロース含量の値と一致していた。さらに、グループ A の胚乳澱粉は、いずれも 30% 以上の見かけのアミロース含量を示した。一方、中アミロース米の見かけのアミロース含量は 20% 以下であった。

アミロペクチンのクラスターを構成している側鎖に関して、中圧ゲル濾過法で得られる長鎖に対する短鎖の割合 (Fr. III / Fr. II) は 2~3 程度であることが知られているが、グループ A のアミロペクチンは 1.3~1.6 と有意に低値を示した。また、HPAEC-PAD 法で得られるアミロペクチン側鎖の最短鎖領域 (DP6~12) の存在割合もグループ A のアミロペクチンは有意に低い値を示した。しかしながら、グループ A 以外の高アミロース米および中アミロース米の胚乳澱粉試料間では、有意な違いは観察されなかった。一方、夢十色を親にもつ北瑞穂のアミロペクチンは高い ELC 含量を示した。

精製アミロペクチンをイソアミラーゼで枝切り後、全糖量と還元糖量で測定した結果、グループ A のアミロペクチンおよび北瑞穂の平均鎖長、平均外部鎖長は長い傾向がみられた。

これらの結果から、*ae* 変異した高アミロース米の胚乳澱粉のアミロペクチン側鎖は長いこと、夢十色を親に持つ北瑞穂は ELC 含量

が高いアミロペクチン構造をもつことが分かった。

粗グルコアミラーゼと粗 α -アミラーゼの強い活性をもち、生澱粉を酵素消化するダビアーゼ K-27 により酵素反応を行った結果、中アミロース米に比べて高アミロース米の胚乳澱粉は消化性が低い傾向が観察された。さらに、高アミロース米の中でも、グループ A の胚乳澱粉の消化性が最も低かった。

これらの結果から、高アミロース米の胚乳澱粉、特に *ae* 変異した高アミロース米の胚乳澱粉は生澱粉分解酵素に対する消化性が悪いことが明らかとなった。

(4)高アミロース米胚乳澱粉の物理特性

DSC による澱粉の 2.5 倍重量になるように水を加えて測定した高アミロース米胚乳の糊化温度、糊化熱量はグループ A を除き、ほぼ同様な値を示した。一方、グループ A の胚乳澱粉の糊化温度は 10~15 程度、糊化熱量は 10% 程度高かった。また、胚乳澱粉を DSC 容器内で 110 まで糊化した後、室温まで冷却後、5 分で 7 日間放置後、再び DSC 測定することにより、老化澱粉の熱測定を行った結果、グループ A の胚乳澱粉の老化澱粉の糊化終了温度、糊化熱量ともに有意に高かった。なお、精白米 10 粒に 1.3 倍量の水を加えて、同様な実験を行った結果、胚乳澱粉よりも全体に高温側で吸熱曲線が観察されたが、それぞれの糊化温度、糊化熱量の高低の傾向は類似していた。

これらの結果から、*ae* 変異した高アミロース米の生澱粉および老化澱粉ともに、熱に対する抵抗性が強く、糊化に必要な熱量も有意に高い強固な構造をもつことが明らかとなった。

RVA による高アミロース米胚乳澱粉の粘度特性を測定した結果、高アミロース米胚乳澱粉は中アミロース米胚乳澱粉と比べ、ピーク粘度、ブレイクダウンが低く、セットバックが高い傾向が見られた。特にグループ A の胚乳澱粉はピーク粘度、ブレイクダウンが低かった。セットバックは夢十色を親に持つ北瑞穂で高い値が観察された。

これらの結果から、*ae* 変異した高アミロース米の胚乳澱粉は粘度が低く、高い ELC 含量をもつ胚乳澱粉は老化しやすいことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

日本応用糖質科学会平成 29 年度大会
(平成 29 年 9 月 6 日、日本大学生物資源科学部 湘南キャンパス)

「いくつかの高アミロース米の胚乳澱粉の構造と物性」久保田結香、芦田かなえ、井ノ内直良

日本応用糖質科学会平成 29 年度大会
(平成 29 年 9 月 6 日、日本大学生物資

源科学部 湘南キャンパス)
「いくつかの高アミロース米の米飯物
性・難消化性澱粉含量及びアミロース含
有率との関係」芦田かなえ、久保田結香、
井ノ内直良

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井ノ内 直良 (INOUCHI, Naoyoshi)
福山大学・生命工学部・教授
研究者番号：80193621

(2) 研究分担者

芦田 かなえ (ASHIDA, Kanae)
(独) 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・主任研究員
研究者番号：90450329