

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 22 日現在

機関番号：13902

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700883

研究課題名(和文)高温障害米の食味劣化に及ぼす米澱粉の物理化学的特性の影響

研究課題名(英文) Effects of physicochemical properties of starch on the taste of rice grains stressed at high temperature

研究代表者

筒井 和美 (Tsutsui, Kazumi)

愛知教育大学・教育学部・講師

研究者番号：50435278

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：地球温暖化にともなう高温の影響を受けた米(高温障害米)の食味劣化を理解するため、収穫年度や品種の異なる高温障害米とその澱粉の物理化学的的特性について実体顕微鏡、DSC、膨潤度等から検討した。2010年新潟県産コシヒカリの物理化学的的特性は、高温の影響を受けていた。また、高温障害米の澱粉には、調理加工上の有益な糊化特性があった。

研究成果の概要(英文)：To understand the taste of cooked rice stressed at high temperature during the filling, the physicochemical properties of various rice grains harvested in 2009 and 2010 and the isolated starches were investigated by microscope, differential scanning calorimetry and swelling factor. The physicochemical properties of Koshihikari harvested in Niigata of 2010 were influenced by high temperature during the filling. The starch of high temperature stressed rice grains has the gelatinization characteristics which is helpful to control the texture and quality of starch-based foods during cooking.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・食生活学

キーワード：米 澱粉 乳心白米 食味 高温障害 地球温暖化

## 1. 研究開始当初の背景

昨今の地球温暖化にともなう高温は、米をはじめとする穀物の品質や収量に悪影響を及ぼし、深刻な環境問題に発展している。たとえば、食用米である1等米は外観がふっくらとして光沢のある完熟米が70%以上、被害米や着色米などは15%以下、その他水分15%から成る。1等米の収穫量に対する割合は1等米比率と定義されているが、稲の出穂後20日間の日平均気温(登熟温度)が23~24を超えると外観不良の米が発生し始め、27以上ではその発生歩合が20%を超え、1等米比率は低下する。たとえば、米どころである新潟県においては、粳玄米の1等米比率は2009年(登熟温度24.4)の90.1%に対し2010年(28.0)は20.3%に激減し、米の品質劣化が深刻であることがわかる。このような高温による米の品質劣化は、我われの食生活をはじめ、食料経済にも影響を与えかねない。

これまで、申請者は高温障害米のひとつである乳心白米に注目し、食味劣化の機構を解明するべく、画像解析に基づいた米の新規食味評価法の確立に向け、研究を遂行してきた(平成21~22年度科学研究費若手研究B21700744)。新潟県三条市産コシヒカリの場合、乳心白米の白濁している心白面積の割合が増加すると千粒重や粒径は低下し、また、SEM観察では心白部分の澱粉粒の表面は損傷していた。同産こしいぶきの場合においても、千粒重や粒径はコシヒカリと同様に心白発現割合の増加にともない減少した。しかし、高温障害米の外観形質(千粒重、粒径、心白発現割合)に及ぼす品種の影響についての検討が不十分であり、また、高温障害米の食味劣化の理解には米澱粉の特性の検討が大変重要である。

そこで、本研究では高温障害米の外観形質に及ぼす品種の影響について詳細を検討し、高温障害米の澱粉特性に及ぼす収穫年度の影響を調べ、高温耐性品種米の開発に役立てたい。これまで、高温障害米の澱粉特性に関する研究は少なく、高温障害により米澱粉の鎖長が増加し、糊化温度は上昇すると報告されている。本研究では、澱粉特性の理解から、高温障害米の食味劣化について検討し、地球温暖化対策に取り組むこととした。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、地球温暖化の高温の影響を受けた外観不良米の高温障害米(乳心白米)の外観形質に及ぼす品種の影響について検討すること、高温障害米の食味劣化に及ぼす澱粉の物理化学的特性(分子量、熱特性、膨潤度)の影響について明らかにすることである。収穫年度の異なる新潟県三条市産コシヒカリや同産こしいぶきを用い、どのような澱粉特性を有する米に高温耐性があるのか、高温障害米の有効活用を視野に入れ、澱粉の調理加工上の利点を見い出すことも検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) 試料米の分類

試料米には、2009年、2010年新潟県三条市産コシヒカリ及びこしいぶきを用いた。一般に市販されている1等米(玄米)から透明度が高く、丸みのある完熟米を選び、高温障害米には規格外として除外された未熟粒から乳心白米を選別した。特に、乳心白米は穀類判別器(ケット科学研究所製RN600)で分類の後、ライトボックス(FUJICOLOR製New-5000)を用いて目視で選別した。なお、試料米は実験に供するまで冷蔵保管しておいた。

### (2) 千粒重と粒径

完熟米および乳心白米のそれぞれの千粒重(千粒の重さ)や粒径(長径、幅、厚み)を調べた。千粒重は、200粒を選別して計量し、5倍積算したものを概算値として用いた。粒径は、デジタルのぎす(Mitsutoyo製DIGIMATIC MICROMETER)を用いて計測した。千粒重が7回、粒径は50粒の平均値を求めた。有意差検定はT検定より行った( $p < 0.05$ )。

### (3) 心白発現割合

温暖化にともなう高温被害の程度を理解するため、本研究では乳心白米の1粒あたりの心白面積割合を算出した。高解像度スキャナー(キャノン製CanoScan8800F)で米粒の画像を2次元的に取り込み、その後、画像解析ソフト(SWEDY製Just TLC)を用い1粒あたりの心白面積と全面積をそれぞれ算出した。玄米1粒あたりの心白面積の割合を心白面積割合とし、1試料につき50粒ずつ算出して、平均値を求めた。有意差検定はT検定より行った( $p < 0.05$ )。

### (4) SEM観察

キーエンス製3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡VE9800を用いて、試料の断面を金蒸着後、真空下( $10^{-4}$ Torr)で観察した。なお、試料は、カッターを用いて玄米の長径に対して輪切りにし、断面を作った。2009年産コシヒカリを用いて、完熟米の透明部、乳心米の白濁部および透明部の3ヶ所について、澱粉の形状や充填具合を観察した。

### (5) 破断特性

高温障害米のテクスチャーを簡易的に理解するため、玄米を小型精米機(ケット科学研究所製)で精米し(歩留り90%)、炊飯後の飯の破断特性を調べた。試料量に限りがあるため、1粒法により炊飯した。糠を取り除いた精白米1粒を200 $\mu$ L容マイクロチューブに入れ加水し、サーモシェーカー(Favorgen Biotech Co.製FATSM002)を用いて炊飯した。温度プログラムは、25 90分、48 10分、60 5分、98 12分、93 10分、60 10分、30 30分、25 30分とした。その後、山電

製レオナー (RE-33005) を用い、以下の条件下で破断測定を行った。測定条件は、温度 25℃、機器ロード 2N、圧縮速度 1mm/秒、歪 90%、プランジャー楔型 (30°) とした。

#### (6) 澱粉のアミロース含量と鎖長分布

2009 年産及び 2010 年産のコシヒカリから完熟米の透明部、乳心白米の透明部および白濁部の計 6 種類を用意した。0.2% 水酸化ナトリウム溶液に米粒を入れホモジナイズし、遠心分離後 (3000 × g, 4、10 分間) の沈殿物を回収した。pH が中性になるまで繰り返し洗浄し、ジメチルスルフォキシドとエタノールにより脱脂した。その後、イソアミラーゼ処理を行い、遠心エバポレーターで乾固した。蛍光標識/HPSEC 法により、見かけのアミロース含量と鎖長分布の測定を行った。なお、使用機器は蛍光検出器 (日本分光製 FP-2020、励起波長 315nm、測定波長 400nm) と示差屈折計 (日本分光製 RI-2031) である。

#### (7) グルコース量

グルコース量の定量には、2009 年産及び 2010 年産コシヒカリから完熟米の透明部、乳心白米の白濁部の計 4 種類を用いた。完熟米 80mg、乳心白米 40mg をそれぞれ 80% エタノールでホモジナイズし、3 回洗浄し、遠心分離 (10,000 × g, 4、10 分間) より上澄みを回収した。これを減圧濃縮器 (クボタ製 CHARIST ALPHA RVC) を用い、45℃ で乾燥させた。この乾燥試料を用い、Guglielminetti et al. (*Plant Physiol.*, 108, 735-741 (1995)) の方法に準じ、グルコース量を分光吸光度 (340nm) から見積もった。

#### (8) 食味検査

2009 年産コシヒカリの完熟米、乳心白米の 2 種類を小型炊飯器 (Panasonic 製 SR-03-GP-S) でそれぞれ炊飯し、学生 22 名に対して食味検査を 2 点比較法により実施した。検査の質問項目は、米飯の硬さ、ぼそぼそ感、粘り、好み等である。検査前には、予め、愛知教育大学倫理委員会にて承認を得ておいた。

#### (9) 澱粉の顕微鏡観察、熱特性と膨潤度

2009 年産及び 2010 年産コシヒカリを酵素処理により各米澱粉を抽出した (計 4 種類)。試料量の都合上、(6) とは異なる方法で澱粉を抽出した。予め、精米した米を粉碎し、米重量の 3 倍量を加水し室温で膨潤させ、その後、45℃ で酵素処理した。遠心分離により澱粉を回収し、45℃ で試料を乾燥させ、偏光顕微鏡観察、示差走査熱分析 (以下、DSC)、膨潤度の測定に供した。

まず、偏光顕微鏡観察では、予算で購入したオリンパス製システム生物顕微鏡 CX41LF を用いて、室温下で 400 倍観察した。

DSC には、予算で購入した SII 製 DSC6100 を用い、銀セル (70µL) に 20% 澱粉分散液に

なるように試料を詰め、25℃ で 90 分間膨潤させ、昇温速度 1℃/分で 25~120℃ 昇温させた。得られた吸熱ピーク (低温側、高温側) は、解析ソフトを用いて糊化開始温度、糊化ピーク温度、糊化終了温度、糊化エネルギーを解析した。

膨潤度の測定では、試料濃度を 3wt% と固定し、25℃ 下で 90 分間膨潤の後、50℃、60℃、70℃ を各 30 分間湯浴で加熱させ、遠心分離後の試料重量を計量した。この試料重量の乾物重量に対する比を求め、本研究ではこれを膨潤度とした。

## 4. 研究成果

### (1) 千粒重と粒径

コシヒカリの場合、千粒重と粒径は、収穫年度に関わらず、乳心白米は完熟米に比べて有意に小さかった ( $p < 0.05$ )。たとえば、2009 年産の平均千粒重は、完熟米 21.62g、乳心白米 16.97g で、2010 年産の場合は完熟米 21.99g、乳心白米 15.61g であった。玄米 1 粒の平均粒径 (幅) は、2009 年産の完熟米 2.95mm、乳心白米 2.80mm に対し、2010 年産の完熟米 2.88mm、乳心白米 2.72mm であった。千粒重ならびに粒径は、乳心白米においても、特に 2010 年産の試料は 2009 年産に比べて小さかった。これは 2010 年産の米の登熟温度 (28.0℃) が 2009 年 (24.4℃) に比べて大変高く、高温被害を受けやすかったため、澱粉集積率の低下によるものと推察された。

こしいぶきの千粒重についても、コシヒカリの結果と同様に、収穫年度を問わず、乳心白米は完熟米に比べて小さかったが、コシヒカリほど高温被害を受けることはなかった。

### (2) 心白面積割合

コシヒカリの心白面積割合は、2009 年産が  $61.1 \pm 10.2\%$ 、2010 年産は  $78.4 \pm 13.6\%$  で、2010 年産は 2009 年産に比べて大きい傾向にあった。心白面積割合が大きい 2010 年産は千粒重や粒径が小さく高温被害を受けやすかった。外観形質となる心白面積割合は高温被害の程度を図る指標になると考えられた。こしいぶきの場合、2009 年産も 2010 年産もほぼ同様の値を示し、2010 年産の場合でもコシヒカリのように心白面積割合が大きくなることはなかった。

本研究の心白面積割合は 2 次的画像による解析であるため、乳心白米の白濁部の詳細を見積もることは出来なかったが、収穫年度や品種が異なる試料において高温耐性を判定するのに役立つことがわかった。

### (3) SEM 観察

玄米の断片を SEM 観察すると、完熟米の澱粉は多角形の形状をし、密に充填していた (図 1A)。しかし、乳心白米の白濁部の澱粉は丸く、ルーズに詰まり、澱粉の表面には複数の穴が存在していた (図 1B)。このような澱粉の形状と充填具合の結果は、これまでの

他の高温障害米の研究報告と類似していた。

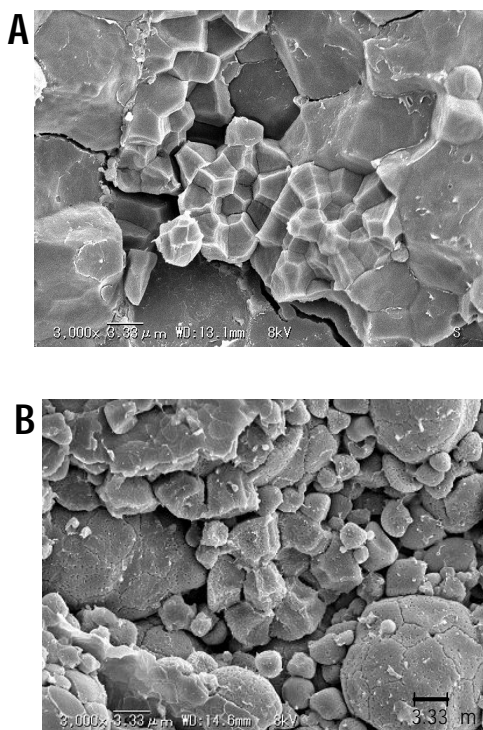


図1 2009年産コシヒカリのSEM画像  
A 完熟米の透明部、B 乳心白米の白濁部  
( $\times 3,000$ )

#### (4) 飯の破断特性

2009年産の場合、乳心白米の飯の見かけの応力は、完熟米に比べ、破断歪0~75%において小さかった(図2)。また、乳心白米の破断曲線では完熟米で見られた破断点がなかった。これまでの多くの研究では、高温被害を受けると飯は硬くなると報告されてきたが、本研究では乳心白米の澱粉がルーズに充填され、脆い食感の飯になると推察された。

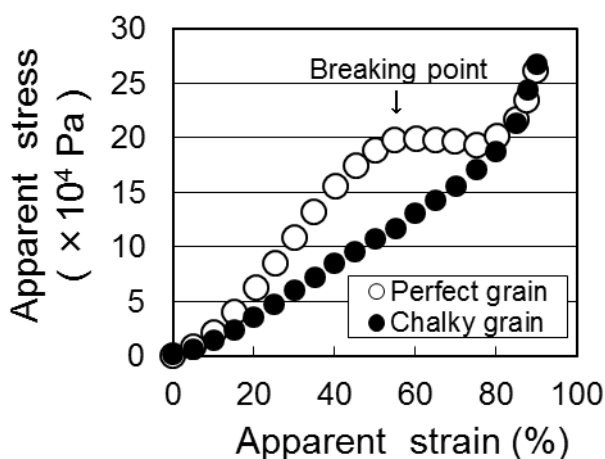


図2 完熟米(○)と乳心白米(●)の1粒飯の破断曲線

#### (5) 澱粉のアミロース含量と鎖長分布

本研究に用いた試料は、同一の収穫年度の場合、完熟米、乳心白米(透明部)、乳心白米(白濁部)の見かけのアミロース含量は等しかった。高温下で栽培された2010年産試料のアミロース含量(10.7~12.5%)は、2009年産(14.7~15.7%)に比べて少なかった。鎖長分布については、2010年産は2009年産に比べて長い傾向にあったが、アミロース含量と同様に、完熟米、乳心白米(透明部)、乳心白米(白濁部)においてほぼ同様の値を示した。

これまでの研究では、高温下で栽培された米澱粉は鎖長が伸び、アミロース含量は低下すると報告されてきたが、本研究では高温障害を受けた2010年産乳心白米が、2010年産完熟米とほぼ同様の澱粉の鎖長分布を示したのが特徴的であった。

#### (6) グルコース量

グルコース量の平均値(乾燥試料1gあたり)は、2009年産の場合、完熟米 $5.27 \mu\text{mol/g}$ 、乳心白米(白濁部) $11.37 \mu\text{mol/g}$ であった。2010年産の場合、完熟米 $5.46 \mu\text{mol/g}$ 、乳心白米(白濁部) $13.35 \mu\text{mol/g}$ であった。いずれの収穫年度においても、乳心白米のグルコース量は完熟米に比べて多く、特に2010年産乳心白米は全試料において有意( $p < 0.05$ )に多かった。これは、2010年の高温によりアミラーゼが活性化し、乳心白米のグルコース量が増加した結果、澱粉の表面の穴が観察されたと推察できた。

#### (7) 食味検査

2009年産コシヒカリを用い、乳心白米と完熟米の食味を比較すると、乳心白米は「ぼそぼそ感」が強いため、あまり好まれなかった。このような食味検査の結果は、(4)の米飯の破断測定で乳心白米に破断点が観察されなかったことと合致した。これまでの食味検査の研究報告では、乳心白米の含有率が比較的高い試料を用いたものが多かったが、乳心白米そのものの検査結果を示す報告は少なかった。本研究では、乳心白米の試料を100%用いて食味検査の結果を得たことは重要であると思われた。

#### (8) 澱粉の顕微鏡観察、熱特性と膨潤度

抽出後の澱粉を顕微鏡観察すると、収穫年度を問わず完熟米の澱粉形状は市販米澱粉と同様の多角形を示していた。また、偏光十字が観察されたことから、45度の乾燥処理による損傷もほとんど受けていないと判断できた。

米澱粉の熱特性については、収穫年度を問わず、乳心白米は、完熟米に比べて特異的な糊化特性を示した。この糊化特性は、澱粉系食品の調理加工時の有益な知見であると判断でき、今後は澱粉系食品の品質管理上に関する澱粉の老化現象についても検討する必

要がある。

澱粉の膨潤度は、乳心白米、完熟米ともに加熱温度の上昇にともない増加した。試料の糊化温度が低いほど、早く膨潤度が増加する傾向にあった。

## 5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Kazumi Tsutsui, Kentaro Kaneko, Isao Hanashiro, Katsuyoshi Nishinari and Toshiaki Mitsui: Characteristics of Opaque and Translucent Parts of High Temperature Stressed Grains of Rice, *Journal of Applied Glycoscience*, 査読有, **60**(1), 2013, 61-67  
10.5458/jag.jag.JAG-2012\_014

〔学会発表〕(計 4 件)

Kazumi Tsutsui, Chiharu Nishikawa, Toshiaki Mitsui, Kentaro Kaneko, Kazutoshi Hayase and Katsuyoshi Nishinari: Characteristics of various rice grains stressed at high temperature, 23<sup>rd</sup> Annual Meeting of MRS-Japan 2013, 2013 年 12 月 10 日, 横浜波止場

筒井和美、齋藤由佳、斉藤萌絵、三ツ井敏明、西成勝好：高温被害米の澱粉の糊化特性、日本食品科学工学会第 60 回記念大会、2013 年 8 月 31 日、実践女子大学

筒井和美、金古堅太郎、花城勲、西成勝好、三ツ井敏明：高温被害米の物理化学的特性の解明、平成 25 年度日本調理科学会 東海・北陸支部 第 10 回研究発表会、2013 年 7 月 6 日、三重大学 環境・情報科学館

筒井和美、廣神里奈、金古堅太郎、西成勝好、三ツ井敏明：各種乳心白粒の物理化学的特性、日本応用糖質科学会平成 23 年度大会、2011 年 9 月 28 日、北海道大学学術交流会館

## 6．研究組織

(1) 研究代表者

筒井 和美 (Kazumi Tsutsui)

愛知教育大学・教育学部・講師

研究者番号：50435278