糖質米「あゆのひかり」の消化性と構造特性

新井陽一[§], 白幡 登, 深澤純一*, 土田真由子**, 中島義信**,
中浦嘉子***, 堀端哲也***, 井ノ内直良***

花王株式会社ヒューマンヘルスケア研究センターヘルスケア食品研究所

* 花王株式会社生活者コミュニケーションセンター

** 花王株式会社ヒューマンヘルスケアフード & ビバレッジ事業グループ

*** 福山大学生命工学部生命栄養科学科

Digestive and Structural Characteristics of Sugary Rice, Ayunohikari

Youichi Arai[§], Noboru Shirahata, Junichi Fukasawa*, Mayuko Tsuchida**, Yoshinobu Nakajima**,
Yoshiko Nakaura***, Tetsuya Horibata*** and Naoyoshi Inouchi***

Health Care Food Research Laboratories, Human Health Care Research Center,
Kao Corporation, 2-1-3, Bunka, Sumida-ku, Tokyo 131-8501

* Consumer Communication Center, Kao Corporation, 2-1-3, Bunka, Sumida-ku, Tokyo 131-8501

** Food and Beverage Business Group, Human Health Care, Kao Corporation,
14-10, Nihonbashi Kayabacho 1-chome, Chuo-ku, Tokyo 103-8210

*** Department of Nutrition and Life Science, Faculty of Life Science and Biotechnology,
Fukuyama University, 1, Sanzo, Gakuen-cho, Fukuyama, Hiroshima 729-0292

The artificial digestibility of cooked rice and the structural properties of the endosperm starches of 11 cleaned rice cultivars bred in Japan were examined *in vitro*. The artificial digestibility was examined *in vitro* by analyzing the amount of free glucose after the cooked rice was treated by digestive enzyme. The structural properties of the endosperm starch were estimated by analyzing the contents of the apparent amylose and the Fr.A(DP6-12) of the starch. Digestibility of sugary rice, Ayunohikari, was the lowest of 11 rice cultivars including low-, medium-, high-amylose cultivars. The contents of apparent amylose and the Fr.A(DP6-12) of Ayunohikari endosperm starch were 21.8% and 34.6%, respectively. The factor of the inhibitive effect of digestion of cooked rice of Ayunohikari could not be well explained by the structural properties of the endosperm starch. Additionally, we found that the shape of cooked rice of Ayunohikari was maintained after digestion test. It was suggested that Ayunohikari had the resistant structure, because the inhibitive effect of digestion disappeared by crushing the rice grains. We also speculated that the resistant structure was related to the endosperm cell wall.

(Received Feb. 12, 2010 ; Accepted Jun. 15, 2010)

Keywords : sugary rice, Ayunohikari, digestibility, resistant structure

キーワード : 糖質米, あゆのひかり, 消化性, 難消化性構造

平成 18 年の国民健康・栄養調査¹⁾によると, (1)糖尿病が強く疑われる人と糖尿病の可能性が否定できない人は合わせて約 1870 万人, (2)高血圧症有病者と正常高値血圧者は合わせて約 5490 万人, (3)脂質異常症が疑われる人は約 1410 万人, (4)メタボリックシンドローム (内臓脂肪症候群) の状況は, 40~74 歳でみると強く疑われる者の比率は男性 24.4%, 女性 12.1%, 予備群と考えられる者の比率は

男性 27.1%, 女性 8.2% と報告されている. これらは年々増加傾向にあり, 国民医療費の増加と共に大きな社会問題となっている.

生活習慣病予防には食生活の改善が基本であることは言うまでもなく, 日本人の主食であり, 主要な炭水化物摂取源である米に着目し, 健康機能を探索することは重要と考える.

近年全国各地の研究機関において, 米胚乳澱粉のアミロースとアミロペクチンの構成比や分子構造を変化させる変異体として, 低アミロース米 (*dull*)²⁾, 高アミロース米³⁾, アミロースエクステンダー (*ae*)⁴⁾, 糖質米 (*sugary*)⁴⁾

〒131-8501 東京都墨田区文花 2-1-3

* 〒131-8501 東京都墨田区文花 2-1-3

** 〒103-8210 東京都中央区日本橋茅場町 1-14-10

*** 〒729-0292 広島県福山市学園町 1 番地三蔵

[§] 連絡先 (Corresponding author), arai.youichi@kao.co.jp

などが育成され、これらの胚乳澱粉の構造特性が報告されている⁵⁾⁶⁾。このうち低アミロース米 (*dull*)、高アミロース米を含む様々なアミロース含量の米を対象に、消化性や血糖値への影響を調べたところ、高アミロース米は有効であるとの報告⁷⁾はあるが、糖質米の消化性や血糖値への影響については不明である。糖質米は、枝切り酵素であるイソアミラーゼが欠損していることにより、アミロペクチン合成時にアミロペクチンのクラスター形成が妨げられ、結果として分岐がランダムなフィトグリコーゲンを蓄積する⁸⁾。この糖質米には、原品種の金南風に突然変異誘発剤処理によって作成された EM5, EM41, EM273, EM75⁴⁾ や EM5 に酒造用掛米用品種であるふくひびき⁹⁾ を交配して育成されたあゆのひかり¹⁰⁾ が報告されている。著者らは、(独)農業・食品産業技術総合研究機構の北陸研究センターにおいて育成されたあゆのひかりを用いて、炊飯米の消化性試験を中心に健康機能の可能性についていくつかの側面から検討した。

実 験 方 法

1. 試 料

(独)農業・食品産業技術総合研究機構の北陸研究センターで栽培されたあゆのひかりとアミロース含量が異なる市販流通米 10 品種の合計 11 品種の玄米を用いた。

2. 米胚乳澱粉の見かけのアミロース含量およびアミロペクチン側鎖長分布の測定

試料は、歩留まり約 90% に搗精した精白米を用い、冷アルカリ浸漬法¹¹⁾ により米胚乳澱粉を調製した。イソアミラーゼで枝切りした米胚乳澱粉の中圧ゲルろ過クロマトグラフィー (GPC) により得られた溶出曲線より胚乳澱粉のアミロース含量を測定した¹²⁾¹³⁾。アミロペクチン側鎖長分布は、イソアミラーゼで枝切りした胚乳澱粉を試料とし、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 法) により測定した¹⁴⁾¹⁵⁾。アミロペクチン側鎖中の短鎖率 (Fr. A 含量) は、グルコース重合度 (DP) 6 から DP50 までの側鎖ピーク面積における DP6 から DP12 までの側鎖ピーク面積の割合として測定した。

3. 炊飯米の消化性試験

消化性試験は難消化性澱粉定量法¹⁶⁾ を改変した以下の方法で遊離グルコース量を試験した。

歩留まり約 90% の精白米試料 1 g を遠沈管 (50 mL) に秤量し、イオン交換水 1.5 mL を加えた。オートクレーブ (SS-245, (株)トミー精工) により 120°C で 10 分間加圧加熱した後、室温にて 1 時間放冷した。37°C に加温した 1.8 mg/mL の α -アミラーゼ溶液 (*Bacillus subtilis*, 20 units/mg 以上, カタログ No : 015-03731, 和光純薬工業(株)) 5 mL を添加した後に 30 秒間攪拌した。37°C に加温した 5 mg/mL のペプシン (porcine gastric mucosa, 2500-3500 units/

mg protein, P-7012, Sigma) を 1 mL 添加後、2 M 塩酸を加えて pH 1.5 に調整し、恒温振とう機 (TRS-20, (株)井内盛栄堂) を用いて 37°C, 60 rpm の振とう速度で 30 分間振とうした。その後 0.5 M 酢酸緩衝液 (pH5.0) を 10 mL, 1 M 水酸化ナトリウムを 1 mL, 0.06 M 塩化マンガン を 125 μ L, 0.3 M 塩化カルシウムを 125 μ L, 4 mg/mL パンクレアチン溶液 (porcine pancreas, P-1750, Sigma) を 125 μ L, 1.5 mg/mL アミログルコシターゼ溶液 (*Aspergillus niger*, 30-60 units/mg protein, A-7420, Sigma) を 1 mL, イソプロパノールを 100 μ L, 37°C に加温した蒸留水 5 mL を加え、攪拌後恒温振とう機を用いて 40°C, 60 rpm の振とう速度で 16 時間振とうした。反応液に 60°C に加温した 95% エタノール溶液 200 mL を添加した後に室温にて 1 時間放冷した。ガラスろ過器 (2G2, 東京硝子器械(株)) にて濾過した後に、ろ過液 5 mL を試験管にとり、4°C, 3000 rpm の条件で 10 分間遠心分離した。上清に含まれるグルコース量を GOD 法¹⁷⁾ を用いて定量した (グルコース II テストワコー, 和光純薬工業(株))。

炊飯米の消化性は以下の計算式により算出した。

$$\text{炊飯米の消化率(\%)} = (\text{遊離グルコース量g}) \times 100 / (\text{炊飯前の精白米の風乾重量g})$$

消化性試験の結果は 3 点の平均値 $\pm$ 標準偏差で示した。

4. 搗精割合 (歩留) の異なるあゆのひかりの炊飯米の消化性試験

歩留まり 92% のコシヒカリの精白米と、あゆのひかりについては、玄米と歩留まり 93%, 90%, 82%, 65% および 40% の精白米を用いた。その後、前述の炊飯米の消化性試験を行った。

5. 搗精割合 (歩留) の異なるあゆのひかりの表層糠の除去程度の判定

あゆのひかりの搗精割合の異なる精白米の表層糠の除去の程度は、ニュー MG 染色法¹⁸⁾ により、穀粒全体が淡紅色に染色されたとき表層糠が除去されたと判定した。

6. 搗精割合 (歩留) の異なるあゆのひかりの成分分析

歩留まり 92% のコシヒカリと歩留まりがいずれも 91% の夢十色, ミルキークイーンの精白米, およびあゆのひかりについては「4. 搗精割合 (歩留) の異なるあゆのひかりの炊飯米の消化性試験」で用いた各種歩留まりの米試料を用い、(財)日本食品分析センターにて米試料に含まれる澱粉とフィトグリコーゲンを中心とする α -グルカン (以下 α -グルカンと表記), タンパク質, 脂質, ショ糖, 水分, 食物繊維および灰分のそれぞれの含有率 (重量%) を分析した。

7. あゆのひかりの米断面のヨウ素染色¹⁹⁾

玄米コシヒカリと玄米あゆのひかりの断面切片を作成した。各断面切片を 0.2% ヨウ素-2% ヨウ化カリウム溶液に浸漬した後に水洗し、マイクロスコープ (VH-5000,

(株)キーエンス)にて澱粉の所在を検討した。

8. あゆのひかりの炊飯粒の粉碎後の消化性試験

遠沈管 (50 mL) に歩留まり 82% のあゆのひかりの精白米 1 g と、加水量は後の粉碎操作を考慮して試料の 15 倍のイオン交換水 15 mL を加え、オートクレーブにて 120℃ で 10 分間加圧加熱処理した後、室温にて 1 時間放冷し、デジタルホモジナイザー (HOM, アズワン(株)) にて炊飯粒を粉碎した。その後、前述の炊飯米の消化性試験を行った。対照として未粉碎の炊飯粒を評価した。

9. あゆのひかりの精白米粉砕物の炊飯後の粒度別消化性試験

歩留まり 81% のあゆのひかりの精白米を粉碎機 (ST-1, 大阪ケミカル(株)) を用いて粉碎した。目開き 1.400 mm, 0.850 mm, 0.600 mm および 0.355 mm のステンレス製網ふるい (TESTING SIEVE 試験用ふるい, 東京スクリーン(株)) を用いて、粉碎物を 1.400 mm の目開きのふるいに残る (以下 on と表記), 0.850 mm on~1.400 mm の目開きのふるいを通す (以下 pass と表記), 0.600 mm on~0.850 mm pass, 0.355 mm on~0.600 mm pass および 0.355 mm pass の 5 段階に分級した。遠沈管 (50 mL) に各分級サンプル 1 g と分級サンプルを十分糊化させるためにイオン交換水 15 mL を加え、オートクレーブにて 120℃ で 10 分間加圧加熱処理を行い、室温にて 1 時間放冷した後、前述と同様の消化性試験を行った。

10. あゆのひかりの炊飯粒の細胞壁分解酵素処理後の消化性試験

歩留まり 90% のコシヒカリと歩留まり 83% のあゆのひかりの精白米を試料に用いた。遠沈管 (50 mL) に試験米 1 g およびセルラーゼ処理で酵素を十分に米粒内に浸透するためイオン交換水 15 mL を加え、オートクレーブにて 120℃ で 10 分間加圧加熱処理した後、室温にて炊飯粒を 1 時間放冷し、セルラーゼ (*Trichoderma reesei*, 1640 units/g, セルクラスト 1.5LFG, Novozymes) 100 mg を 0.5M 酢酸緩衝液 (pH4.8) にて 10 mL に溶解した細胞壁分解酵素溶液 1 mL (セルラーゼ活性 16.4units/mL) を添加した。恒温槽にて 40℃, 60 rpm の振とう速度で 24 時間振とう攪拌後、前述の消化性試験を行った。

実験結果および考察

1. 炊飯米の消化性と米の胚乳澱粉特性との関係

炊飯米の消化性と米の胚乳澱粉特性との関係については、これまでいくつか報告されている。柳原ら⁷⁾は、北海道産米の機能性についての検討の中で、米のアミロース含量と難消化性澱粉含量との間には密接な関係が認められ、高アミロース米は特異的に多くの難消化性澱粉を含むことを報告している。また酒造好適米の検討で、アミロース含量が高い米や、アミロペクチンの短鎖/長鎖比の低い米は消化性が低くなることが報告されている^{20)~24)}。すなわちア

図 1 胚乳澱粉の見かけのアミロース含量と炊飯米の消化率の関係

回帰直線はあゆのひかりのデータを除いて作成した。

図 2 胚乳澱粉の Fr. A 含量と炊飯米の消化率の関係

回帰直線はあゆのひかりのデータを除いて作成した。

ミロース含量が高い米やアミロペクチンの短鎖/長鎖比の低い米は老化しやすく、消化性が低いことが報告されている。

著者らの結果においても、高アミロース米 (胚乳澱粉の見かけのアミロース含量が 25.0% 以上) や Fr. A 含量が 25% 程度のアミロペクチンの短鎖/長鎖比の低い米は、良食味米の代表であるコシヒカリ (胚乳澱粉の見かけのアミロース含量: 19.1%, Fr. A 含量: 29.2%, 炊飯米の消化率: $76.6 \pm 1.9\%$) に対して炊飯米の消化率が低い値を示し、おおむね既報の結果と同様の傾向を示した (図 1, 図 2)。しかしあゆのひかりの胚乳澱粉は、見かけのアミロース含量が 21.8%, Fr. A 含量は 34.6% となり、中アミロース米でかつ Fr. A 含量がコシヒカリより高いにも関わらず、炊飯米の消化率が $31.3 \pm 3.5\%$ となり、11 品種の中で最も低い値を示した。すなわちあゆのひかりは見かけのアミロース含量やアミロペクチン側鎖長分布等の胚乳澱粉の構造特性から炊飯米の低い消化率を説明することは難しかったことから、他の要因で炊飯米の消化率が低下していると考えられた。そこであゆのひかりの炊飯米の消化率が低くなる要

因について検討した。

2. 表層糠と α -グルカン含量の影響

あゆのひかりの穀粒 (図 3) は、粒厚が薄く皺が多い特徴¹⁰⁾をもつので、通常の歩留まり 90% の搗精では糠が完全に除去できず消化率低下の原因となる可能性も考えられた。そこでニュー MG 染色法により表層の糠が無くなるまで搗精した精白米試料を用いて、炊飯米の消化性試験を行った。また基本成分 (α -グルカン、タンパク質、脂質、ショ糖、水分、食物繊維および灰分) を分析した。図 4 に示すようにあゆのひかりの玄米試料を用いた炊飯米の消化率は $10.1 \pm 0.6\%$ となり、試料米を搗精するに従い消化率がやや上昇したが、表層糠がほぼ無くなる歩留まり 65% では消化率 $38.9 \pm 1.8\%$ 、表層糠が無くなる歩留まり 40% においても消化率 $56.4 \pm 1.1\%$ となり、歩留まり 92% コシ

ヒカリの消化率 $76.6 \pm 1.9\%$ より低い値であった。成分分析結果 (図 5) において、コシヒカリ、夢十色、ミルキークイーン等の一般米の α -グルカン含量が、約 76% 程度であるのに対し、あゆのひかりの玄米、歩留まり 93%、82% の精白米試料ではそれぞれ 61.4%、64.5%、69.1% であった。このようにあゆのひかりの α -グルカン含量が少ないことがこれらの消化率低下の一要因であると考えられた。しかし表層糠がほぼ無くなる歩留まり 65% や表層糠が無くなる歩留まり 40% では、 α -グルカン含量がそれぞれ 74.8%、78.7% となり、コシヒカリ等の一般米とほぼ同等であるにもかかわらず消化率が低かった。すなわちあゆのひかりの炊飯米の消化率低下には、あゆのひかりの表層糠や α -グ

図 3 あゆのひかり玄米の外観

図 4 玄米および搗精割合 (歩留) の異なるあゆのひかりの試料米および 92% 歩留のコシヒカリを試験米に用いた炊飯米の消化率

図 5 玄米および搗精割合 (歩留) の異なるあゆのひかりの試料米および約 90% 歩留の他品種精白米の成分割合

ルカン含量以外の要因が存在することが示唆された。

3. フィトグリコーゲンの影響

あゆのひかりの炊飯米の消化率が低い二つ目の要因として考えたのがあゆのひかりの精白米に含まれているフィトグリコーゲンである。あゆのひかりの精白米粉末固形分に含まれるフィトグリコーゲン含量は9.8%であり²⁵⁾、コシヒカリに比べて、フィトグリコーゲン含量が高い(表1)。あゆのひかりの米粒内におけるフィトグリコーゲンの所在を検討するために、玄米断面切片のヨウ素染色を行い、マイクロ스코プによる観察を行った(図6)。Kuboら²⁶⁾によると、あゆのひかりの親であるEM5(糖質米)をヨウ素染色した結果、澱粉は米粒表面側に、フィトグリコーゲンは米粒の中心に存在することを報告している。著者らの検討においてもあゆのひかりの米粒中心は染色されず、フィトグリコーゲンは米粒の中心部に多く存在することを確認した。すなわちあゆのひかりの搗精割合を高めると、米粒表層に多く存在する澱粉が除去されて、フィトグリコーゲン含量が高まることが予想された。しかし前述の搗精割合別の消化率では、搗精割合が高まるとともに消化率は上昇した(図4)。これらの結果から、フィトグリコーゲンはあゆのひかりの消化抑制効果の要因としての可能性は低いと考えられた。また、フィトグリコーゲンの炊飯米食味への影響を検討する目的で、澱粉とフィトグリコーゲン以外の成分含量が類似している歩留まり90%コシヒカリと歩留まり40%あゆのひかりの炊飯米について「粘り」の食味官能評価を行った結果、あゆのひかりでは「粘り」が弱かった。この結果より、フィトグリコーゲンは、炊飯米物性の「粘り」を弱くする性質を示すことが考えられた。

表 1 あゆのひかりとコシヒカリの精白米粉末固形物中の成分割合²⁵⁾

	澱粉	水溶性多糖	可溶性低分子糖
コシヒカリ	92.6%	0.5%	0.6%
あゆのひかり	73.1%	9.8%	8.0%

4. 難消化性構造の可能性

試料に用いた11品種の炊飯米の消化性試験後の残渣形状を観察した。あゆのひかり以外の米試料は、図7に示すコシヒカリのように筋状もしくは繊維状となり米粒の原形を保持していないのに対し、あゆのひかりは搗精割合の違いにかかわらず消化残渣がほぼ消化性試験前の米粒の原形を保持していた。著者らはこの現象に着目し、難消化性構造の可能性について検討した。すなわち歩留まり82%のあゆのひかりの炊飯米をホモジナイザーで粉碎した後に消化性試験を行った。未粉碎では消化率が $38.0 \pm 1.3\%$ であったのに対し、粉碎した試料の消化率は $69.6 \pm 3.3\%$ まで上昇した(図8)。この結果から、あゆのひかりの炊飯米には難消化性構造が存在していると考えられた。

一般に米の胚乳部の断面を観察すると、約 $40 \times 50 \sim 80 \times 105 \mu\text{m}^2$ の大きさの胚乳細胞が重なっており、この細胞の中に澱粉粒や顆粒状タンパク質が充満している²⁷⁾。また胚乳細胞壁はセルロースマイクロフィブリルとその間を埋めるマトリックス成分からなっていることが知られている²⁸⁾。吉沢ら²⁹⁾は酒造用原料米の消化性に関する研究において、蒸米のアミラーゼ消化性の品種間差が、米粒の胚乳細胞が砕かれている100メッシュ篩を通過するまで粉碎すると無

図 6 ヨウ素染色した米粒断面

図 7 92%歩留コシヒカリおよび搗精割合(歩留)の異なるあゆのひかり精白米とこれらを試料米に用いた炊飯米の消化試験後の米粒形状

図 8 82% 歩留あゆのひかりの精白米を試料に用いた炊飯米の米粒（未粉碎）とその粉碎米粒の消化率

図 9 81% 歩留あゆのひかりの精白米の米粒および粒度の異なる粉碎米粒を試料に用いた炊飯米の消化率

くなることから、米粒の消化性には胚乳細胞が大きく関与していると報告している。さらに彼らは胚乳細胞壁に一部損傷を与えて酵素を通過し易くすると米粒の消化性が上昇することが推定できると考察している。著者らも同様に胚乳細胞壁による難消化作用の可能性を検討する目的で、歩留まり 81% のあゆのひかりの精白米を粉碎し、粒度別の消化性試験を行った。米粒での消化率が $31.0 \pm 1.2\%$ に対し、粒度が細くなるに従い消化率が上昇し、粒度 0.600 mm on ~ 0.850 mm pass, 0.355 mm on ~ 0.600 mm pass, 0.355 mm pass では、消化率がそれぞれ $62.6 \pm 1.0\%$, $64.2 \pm 4.2\%$, $68.0 \pm 2.0\%$ となり、0.850 mm 以下の粒度では消化率がほぼ一定であった（図 9）。すなわち胚乳細胞壁に損傷を与えると消化抑制効果が見られなくなった。

また三上ら³⁰⁾³¹⁾は蒸米の溶解・糖化に関する研究において、胚乳細胞壁はアミラーゼ系酵素の作用を受けにくい形態で存在しており、セルロース、ヘミセルロース、ペクチン分解酵素等の細胞壁分解酵素を用いて蒸米の胚乳細胞壁を分解すると、蒸米溶解が促進されることが期待できることを報告している。著者らは歩留まり 90% のコシヒカリと歩留まり 83% のあゆのひかりの炊飯粒をセルラーゼ

図 10 90% 歩留コシヒカリおよび 83% 歩留あゆのひかりの精白米の試料を用いた炊飯米に対し、セルラーゼ処理を施した場合と未処理の場合の消化率

処理した後に消化性試験を行った。セルラーゼ処理により、コシヒカリでは、 $75.5 \pm 1.8\%$ から $81.5 \pm 0.01\%$ と若干の消化率上昇に留まったのに対し、あゆのひかりでは、 $41.0 \pm 1.1\%$ から $71.4 \pm 0.6\%$ と大きく消化率が上昇した（図 10）。またセルラーゼ処理したあゆのひかりの消化後の残渣形状は、筋状となり米粒の崩壊を確認した。また、図 5 に示した成分結果より、コシヒカリ等一般の米の不溶性食物繊維含量は 0.5~0.9% であるのに対し、あゆのひかりの歩留まり 65%, 40% においては、それぞれ 2.3%, 1.5% 含有する結果を得ており、量的な面においても胚乳細胞壁含量が多いことが示唆された。以上の結果よりあゆのひかりは、難消化性構造を有し、その構造は胚乳細胞壁が強固であることが示唆された。これらのことから、あゆのひかりの炊飯米が高い消化抑制効果を示すと考えられた。

要 約

国内で栽培された 11 品種の精白米を対象に、*in vitro* の炊飯米消化性試験および胚乳澱粉の構造特性試験を行った。*in vitro* 消化性試験は、炊飯米を消化酵素で処理した後に遊離するグルコース量を分析することで試験した。胚乳澱粉の構造特性は、見かけのアミロース含量と Fr. A 含量（DP6-12）の試験により評価した。糖質米であるあゆのひかりは、低・中・高アミロース種を含む 11 品種の試験米の中で最も消化率が低かった。あゆのひかりの胚乳澱粉の見かけのアミロース含量および Fr. A 含量（DP6-12）は、それぞれ 21.8%, 34.6% であった。あゆのひかりの炊飯米の消化抑制効果の要因を胚乳澱粉の構造特性から説明することは難しかった。さらにあゆのひかりの特徴としては、炊飯米での消化性試験後にも米粒の原形を保持することを見出した。この消化抑制効果は粉碎した試料を用いる

と無くなることから、あゆのひかりは難消化性構造を持つと考えられた。また、この難消化性構造には胚乳細胞壁が関与していることが示唆された。

最後に貴重な試料をいただいた、(独)農業・食品産業技術総合研究機構北陸研究センター三浦清之先生に深く感謝致します。

文 献

- 1) 厚生労働省, 平成 18 年国民健康・栄養調査結果の概要, 2008 年 4 月 30 日.
- 2) 伊勢一男, 赤間芳洋, 堀末 登, 中根 晃, 横尾政雄, 安東郁男, 羽田丈夫, 須藤 充, 沼口賢治, 根本 博, 古館 宏, 井辺時雄, 低アミロース良食味水稻品種「ミルクキーン」の育成, 作物研究所研究報告, **2**, 39-61 (2001).
- 3) 上原泰樹, 小林 陽, 古賀義昭, 内山田博士, 清水博之, 太田久稔, 福井清美, 大槻 寛, 三浦清之, 堀内久満, 奥野員敏, 藤田米一, 石坂昇助, 中川原捷洋, 山田利昭, 水稻新品種「夢十色」の育成, 北陸農業試験場報告, **39**, 23-47 (1997).
- 4) 佐藤 光, イネ胚乳澱粉変異体の作製とその解析, 農化, **68**, 1577-1580 (1994).
- 5) Inouchi, N., Study on structures and physical properties of endosperm starches of rice and other cereals. *J. Appl. Glycosci.*, **57**, 13-23 (2010).
- 6) Horibata, T., Nakamoto, M., Fuwa, H. and Inouchi, N., Structural and physicochemical characteristics of endosperm starches of rice cultivars recently bred in Japan. *J. Appl. Glycosci.*, **51**, 303-313 (2004).
- 7) 柳原哲司, 中森朋子, 加藤 淳, 難消化性成分からみた北海道米の機能性解析, 平成 14 年度 新しい研究成果—北海道地域一, 148-151 (2004).
- 8) James, M.G., Robertson, D.S. and Myers, A.M., Characterization of the maize gene *sugary1*, a determinant of starch composition in kernels. *Plant Cell*, **7**, 417-429 (1995).
- 9) 東 正昭, 斉藤 滋, 池田良一, 春原嘉弘, 松本定夫, 井上正勝, 小山田善三, 山口誠之, 小綿寿志, 横尾政雄, 超多収水稻品種「ふくひびき」の育成, 東北農業試験場研究報告, **88**, 15-38 (1994).
- 10) 三浦清之, 上原泰樹, 小林 陽, 太田久稔, 清水博之, 笹原英樹, 福井清美, 小牧有三, 後藤明俊, 重宗明子, 大槻 寛, 水稻新品種「あゆのひかり」の育成, 中央農業総合研究センター研究報告, **9**, 1-16 (2007).
- 11) 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, **20**, 99-104 (1973).
- 12) Ikawa, Y., Glover, D.V., Sugimoto, Y. and Fuwa, H., Some structural characteristics of starches of maize having a specific genetic background. *Starch/Stärke*, **33**, 9-13 (1981).
- 13) Takami, K., Nakaura, Y., Horibata, T., Koriyama, T. and Inouchi, N., Relationship between physical properties of cooked rice and properties of endosperm starches of new types of rice grains. *J. Appl. Glycosci.*, **51**, 355-362 (2004).
- 14) Koizumi, K., Fukuda, M. and Hizukuri, S., Estimation of the distributions of chain length of amylopectins by high-performance liquid chromatography with pulsed amperometric detection. *J. Chromatogr.*, **585**, 233-238 (1991).
- 15) Inouchi, N., Nishi, K., Tanaka, S., Asai, M., Kawase, Y., Hata, Y., Konishi, Y., Yue, S. and Fuwa, H., Characterization of amaranth and quinoa starches. *J. Appl. Glycosci.*, **46**, 233-240 (1999).
- 16) Åkerberg, A.K.E., Liljeberg, H.G.M., Granfeldt, Y.E., Drews, A.W. and Björck, I.M.E., An in vitro method, based on chewing, to predict resistant starch content in foods allows parallel determination of potentially available starch and dietary fiber. *J. Nutr.*, **128**, 651-660 (1998).
- 17) Miwa, I., Okuda, J., Maeda, K. and Okuda, G., Mutarotase effect on colorimetric determination of blood glucose with β -D-glucose oxidase. *Clin. Chim. Acta.*, **37**, 538-540 (1972).
- 18) 大坪研一, 米の美味しさに関する諸特性の測定法, 「美味しい米 第2巻 米の美味しさの科学」, (社団法人農林水産技術情報協会, 東京), pp. 92-93 (平成8年).
- 19) 佐々木堯, 植物試料中の澱粉の定性および定量, 「澱粉・関連糖質実験法」, 初版 ((株)学会出版センター, 東京), pp. 1-8 (1986).
- 20) 荒巻 功, 吉井美華, 岩瀬新吾, 江辺正英, 菅野喜浩, 菊永雪絵, 奥田将生, 小関卓也, 橋爪克己, 酒造原料米のアミロペクチン側鎖構造と酒造適性, 醸協, **99**, 457-466 (2004).
- 21) 小関卓也, 奥田将生, 米原由希, 八田一隆, 岩田 博, 荒巻功, 橋爪克己, イネ登熟期の高温が酒造適性に及ぼす影響, 醸協, **99**, 591-596 (2004).
- 22) 米原由希, 小関卓也, 奥田将生, 荒巻 功, 橋爪克己, イネ登熟期の低温が酒造適性に及ぼす影響, 醸協, **100**, 650-657 (2005).
- 23) Okuda, M., Aramaki, I., Koseki, T., Inouchi, N. and Hashizume, K., Structural and retrogradation properties of rice endosperm starch affect enzyme digestibility of steamed milled-rice grains used in sake production. *Cereal Chem.*, **83**, 143-151 (2006).
- 24) Okuda, M., Aramaki, I., Koseki, T., Satoh, H. and Hashizume, K., Structural characteristics, properties, and in vitro digestibility of rice. *Cereal Chem.*, **82**, 361-368 (2005).
- 25) 井ノ内直良, 糖質米の胚乳澱粉と水溶性多糖に関する研究, 飯島記念食品科学振興財団年報, **2000**, 116-121 (2002).
- 26) Kubo, A., Fujita, N., Harada, K., Matsuda, T., Satoh, H. and Nakamura, Y., The starch-debranching enzymes isoamylase and pullulanase are both involved in amylopectin biosynthesis in rice endosperm. *Plant Physiol.*, **121**, 399-409 (1999).
- 27) 竹生新治郎, 米の食味, 「米の科学」, 初版 ((株)朝倉書店, 東京), pp. 117-125 (1995).
- 28) 渋谷直人, 米の細胞壁の化学構造と品質, 日食工誌, **37**, 740-748 (1990).
- 29) 吉沢 淑, 百瀬洋夫, 石川雄章, 米粒の構造と消化に関する研究 (第8報) 米粒及び米粉の消化性, 醸協, **74**, 190-193 (1979).
- 30) 三上重明, 清酒醸造における細胞壁分解酵素の機能, 醸協, **102**, 46-47 (2007).
- 31) 山根雄一, 福田 央, 三上重明, 木崎康造, 若林三郎, 黄麹菌 *Aspergillus oryzae* が生産するセルラーゼの性質とその清酒もろみ醸造への効果, 醸協, **99**, 84-92 (2004).

(平成 22 年 2 月 12 日受付, 平成 22 年 6 月 15 日受理)