糖質米「あゆのひかり」のヒト食後血糖値および インスリン分泌に及ぼす影響

新井陽一^{*1}, 白幡登¹, 深澤純一², 土田真由子³
中島義信³, 中浦嘉子⁴, 堀端哲也⁴, 井ノ内直良⁴

(2010年12月14日受付; 2011年4月8日受理)

要旨: 糖質米のあゆのひかりは、難消化性構造を持ち、他の品種米よりも消化され難い。本研究では、あゆのひかりのヒトにおける食後血糖値およびインスリン分泌に及ぼす影響について検討することを目的として、普及米であるコシヒカリと比較した。健康成人男性8名(平均年齢: 39.0 ± 1.7 歳, body mass index (BMI): $23.3 \pm 0.6 \text{ kg/m}^2$, 空腹時血糖値: $96.4 \pm 2.1 \text{ mg/dL}$)を対象に、無作為化単盲検交叉比較試験を実施した。糖質として55gを含むあゆのひかりまたはコシヒカリの炊飯米を摂取し、240分までの血糖値とインスリン濃度を観察した。あゆのひかり摂取時の240分までの血糖IAUC (incremental area under the curve of blood glucose concentration) は、コシヒカリ摂取時に対し17.5%低い傾向を示した ($p=0.07$)。また240分までのインスリンIAUCでは、コシヒカリ摂取時に対し41.3%低い値を示した ($p<0.01$)。以上の結果より、あゆのひかりは、糖尿病の一次予防として有用な米品種であることが示唆された。

キーワード: 糖質米, あゆのひかり, 難消化性構造, 血糖, インスリン

糖尿病はインスリンの絶対的、もしくは相対的不足が生じることで、慢性の高血糖状態となり様々な病態を引き起こす疾患である。平成18年の国民健康・栄養調査¹⁾によると、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1,870万人と報告され近年増加している。また、世界的に見ても糖尿病は約2億5千万人と推定されている。一方、平成18年における国民1日当りのエネルギー摂取量は1,891 kcalであり、食品別エネルギーの割合によると米からのエネルギー摂取が約30%を占め、主要なエネルギー源である¹⁾。これらの社会的状況を踏まえ、健康機能を備えた米は生活習慣病の一次予防の点において有用と思われる。

国内で普及しているうるち米の米胚乳澱粉は、約20%のアミロースと約80%のアミロペクチンから構成されている。近年、新たな米の用途開拓を目的に、米胚乳澱粉の構成比や分子構造が変化した変異体として、アミロースを欠くもち米 (*waxy*)、低アミロース米 (*dull*)、高アミロース米 (*ae*) および水溶性多糖を生合成する糖質米 (*sugary*) 等が育成され、これらの胚乳澱粉の構造特性が報告されている²⁾。これらの米のうちアミロース

含量の違いと食後血糖代謝への影響³⁾に関する報告はあるが、糖質米に関しては不明である。

糖質米の一種である、あゆのひかりは、北陸農業試験場(現(独)農業・食品産業技術総合研究機構北陸研究センター)において、1989年に新しい機能を有する糖質米品種の育成を目的として、EM5⁴⁾(金南風の糖質突然変異系統)を母とし、早生の日本型多収系統のふくひびきを父とする人工交配を行って育成された品種であり、以下の特徴が報告されている。1) 玄米の粒厚が薄く皺が多い。2) 胚乳澱粉は約20%のアミロースを含んでおり、グルコース重合度6~12の非常に短い側鎖を多く含むアミロペクチンによって構成されている。3) 水溶性多糖(フィトグリコーゲン)が多く存在し、その平均鎖長はアミロペクチンより短い。4) 可溶性低分子糖を多く含む。5) 発芽時のGABA (γ -アミノ酪酸)の含有量はコシヒカリの約3倍。6) コシヒカリに比べて、糊化温度および糊化熱量が低く老化しにくい。

著者らは、国内で栽培された14品種の精白米の炊飯米を対象に *in vitro* 消化性試験を行った結果、あゆのひかりは最も消化率が低く、その要因としては難消化性構造

* 連絡者・別刷請求先 (E-mail: arai.youichi@kao.co.jp)

¹ 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 (131-8501 東京都墨田区文花2-1-3)

² 花王株式会社生活者コミュニケーションセンター (131-8501 東京都墨田区文花2-1-3)

³ 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 (103-8210 東京都中央区日本橋茅場町1-14-10)

⁴ 福山大学生命工学部生命栄養科学科 (729-0292 広島県福山市学園町1番地三蔵)

を持つことを報告した⁵⁾。本研究では、あゆのひかりのヒトにおける食後血糖値およびインスリン分泌に及ぼす影響について検討することを目的として、普及米であるコシヒカリと比較検討した。

実験方法

1. 被験者

本試験は、ヘルシンキ宣言⁶⁾および臨床研究に関する倫理指針⁷⁾を遵守して、花王(株)ヒト試験倫理委員会の審査・承認を得て、医師の監督下、十分な配慮のもとで2004年7月に実施した。試験参加希望者に試験内容の説明を行い、インフォームド・コンセントが文書で得られた者のうち、血糖値に影響を及ぼす薬剤や食品を摂取している者、糖代謝に影響する可能性のある疾患患者、食物アレルギーのある者を除外した健康な成人男性8名を対象に実施した。

2. 試験食品

あゆのひかり ((独)農業・食品産業技術総合研究機構北陸研究センター) とコシヒカリ (新潟産) の各玄米を搗精して、あゆのひかりは歩留まり82%、コシヒカリは歩留まり91%の精白米とした。あゆのひかりの穀粒は、粒厚が薄く皺が多く、歩留まり90%程度の通常の搗精では糠の除去が不十分なため、糠がほぼ除去される歩留まり82%まで搗精した。(財)日本食品分析センターにて各精白米試料に含まれる栄養成分を分析した。試験食の糖質摂取量は55gで試験した。コシヒカリ試験食の栄養成分は、糖質55g、脂質0.9g、タンパク質3.8g、エネルギー245kcalであった。あゆのひかり試験食の栄養成分は、糖質55g、脂質2.6g、タンパク質5.3g、エネルギー251kcalであった。試験食の炊飯は、糖質量が220gとなる精白米を計量し、水道水にて6回洗米した後に、精白米風乾重量に対して1.33倍になるように水を加え、1時間浸漬後に炊飯器(RC-5X, (株)東芝)にて炊飯した。炊飯米を重量で4等分して、糖質55gを含む炊飯米を1人分とした。

3. 試験方法

被験者8名に対し、無作為にあゆのひかり炊飯米またはコシヒカリ炊飯米を割り付けた。1週間の休止期間を挟んで試験米を交叉した。試験は単盲検法で行った。被験者には試験期間中の暴飲・暴食を避け、規則正しい生活を心がけるように指導した。また試験2日前より禁酒とし、試験前日の21時以降は水以外の飲食を禁じた。被験者には各試験前3日間の食事内容を所定の食事日誌に記入するように指導し、五訂食品成分表⁸⁾を参考に栄養士が食事解析を行った。

試験当日は、空腹時に身長測定後、体脂肪計BF-410((株)タニタ)にて体重を測定しBMIを計算した。試験食摂取は、糖質として55gの炊飯米を、市販ふりかけ「ゆかり」(三島食品(株))1gおよびミネラルウォーター「天然水・南アルプス」(サントリーフーズ(株))200mL

とともに6分間かけて摂取した。摂取時間は、あらかじめ被験者が糖質として55gのコシヒカリ炊飯米を自由摂取した時の平均摂取時間5分5秒よりやや長めの6分に設定した。

採血は試験食摂取前(空腹時)、摂取後15、30、60、120、240分に行った。血液検査項目は、血糖値(mg/dL)、血清インスリン濃度(μ IU/mL)を測定した。分析は(株)エスアールエルにて分析した。IAUC(incremental area under the curve)は、空腹時の値を基準に摂取後240分までの血中濃度から台形法により算出した。試験中は座位にて安静にし、水以外の飲食を禁止した。各試験終了後、体調に関するアンケートを行った。

4. 統計的検定法

統計解析はウィルコクソン符号付き順位和検定で解析した。両側検定で危険率5%以下のとき有意差があるとした。統計解析にはSAS release 8.2(SAS institute Inc, Cary, NC, USA)を使用した。各測定項目解析結果は平均値 $\pm$ 標準誤差で示した。

実験結果

被験者の平均年齢は、 39.0 ± 1.7 歳、空腹時血糖値は 96.4 ± 2.1 mg/dL、BMIは 23.3 ± 0.6 kg/m²であった(表1)。試験前3日間の食事日誌の解析では、1日当りのエネルギー、タンパク質、脂質、糖質、食物繊維の摂取量は、2種の米飯摂取時の間で有意差は認められなかった(表2)。

コシヒカリ摂取時およびあゆのひかり摂取時の240分までの血糖値経時変化と血糖IAUCの結果を図1および図2に示した。コシヒカリ摂取時およびあゆのひかり摂取時の血糖値経時変化においては、両米飯ともに摂取後

表1 被験者背景

年齢(歳)	39.0 ± 1.7
身長(cm)	170.3 ± 2.4
体重(kg)	67.7 ± 2.5
BMI(kg/m ²)	23.3 ± 0.6
空腹時血糖値(mg/dL)	96.4 ± 2.1
身体データは空腹時に測定した。値は平均値 $\pm$ 標準誤差で示した($n=8$)。	

表2 試験前3日間の食事解析

	コシヒカリ摂取時	あゆのひかり摂取時
エネルギー(kcal)	$2,154 \pm 143$	$2,218 \pm 208$
タンパク質(g)	80.9 ± 7.4	78.6 ± 10.0
脂質(g)	71.4 ± 6.9	77.4 ± 11.8
糖質(g)	270.0 ± 15.9	271.5 ± 21.8
食物繊維		
水溶性(g)	2.7 ± 0.2	2.4 ± 0.3
不溶性(g)	8.2 ± 0.4	8.2 ± 0.7
総量(g)	12.1 ± 0.6	11.6 ± 1.1

各試験前3日間の食事内容について、五訂食品成分表を参考に栄養士が食事解析を行った。値は1日当りの各栄養素別の平均値 $\pm$ 標準誤差で示した。

図1 コシヒカリ摂取時およびあゆのひかり摂取時の血糖値経時変化

被験者8名を対象に糖質として55gの炊飯米を摂取した後、240分までの血糖値を示した(□: コシヒカリ摂取時, ■: あゆのひかり摂取時)。値は平均値±標準誤差で示した。

図2 コシヒカリ摂取時およびあゆのひかり摂取時の240分までの血糖IAUC

被験者8名を対象に糖質として55gの炊飯米を摂取した後、240分までの血糖IAUCを算出した(□: コシヒカリ摂取時, ■: あゆのひかり摂取時)。値は平均値±標準誤差で示した。

に血糖値が上昇し、30分でピークを示し、その後低くなり、120分においてほぼ空腹時の値に近づき240分まで維持した。コシヒカリ摂取時およびあゆのひかり摂取時の120分における血糖値は、それぞれ 99.3 ± 2.4 および 92.4 ± 3.4 mg/dLとなり、あゆのひかり摂取時は低い値を示す傾向がみられた($p=0.07$)。血糖IAUCは、コシヒカリ摂取時およびあゆのひかり摂取時で、それぞれ $2,073.3 \pm 258.4$ および $1,710.5 \pm 284.9$ min·mg/dLとなり、あゆのひかり摂取時は17.5%低い値を示す傾向がみられた($p=0.07$)。

コシヒカリ摂取時およびあゆのひかり摂取時の240分までのインスリン濃度の経時変化とインスリンIAUCの結果を図3および図4に示した。インスリン濃度の経時変化においては、両米飯ともに摂取後にインスリン濃度が増加し、30分でピークを示しその後低下した。コシヒカリ摂取時およびあゆのひかり摂取時の120分におけるインスリン濃度は、それぞれ 25.1 ± 4.7 および 10.4 ± 1.8 μ IU/mLとなり、あゆのひかり摂取時は有意に低い値を示した($p<0.01$)。コシヒカリ摂取時およびあゆのひかり

図3 コシヒカリ摂取時およびあゆのひかり摂取時のインスリン濃度経時変化

被験者8名を対象に糖質として55gの炊飯米を摂取した後、240分までのインスリン濃度を示した(□: コシヒカリ摂取時, ■: あゆのひかり摂取時)。値は平均値±標準誤差で示した(* $p<0.05$, ** $p<0.01$)。

図4 コシヒカリ摂取時およびあゆのひかり摂取時の240分までのインスリンIAUC

被験者8名を対象に糖質として55gの炊飯米を摂取した後、240分までのインスリンIAUCを算出した(□: コシヒカリ摂取時, ■: あゆのひかり摂取時)。値は平均値±標準誤差で示した(** $p<0.01$)。

り摂取時の240分までのインスリンIAUCは、それぞれ $4,487.1 \pm 602.5$ および $2,634.5 \pm 603.6$ min· μ IU/mLとなり、あゆのひかり摂取時はコシヒカリ摂取時に対し41.3%低い値を示した($p<0.01$)。

試験中、あゆのひかり摂取時およびコシヒカリ摂取時ともに、腹部膨満感、下痢等の消化器系への安全性上問題となる所見は認められなかった。

考 察

食事から摂取する糖質による血糖上昇は、単に食品に含まれる糖質の量だけではなく糖質の質によっても異なる。食品に含まれる糖質の質の面からの評価としては、グリセミックインデックス(GI)⁹⁾¹⁰⁾が知られている。GIは、一定量の糖質を含む食品を摂取した後、一定時間の血糖IAUCを算出して食品の違いによる食後の血糖応答への影響を評価する方法である。この方法は、糖尿病やその合併症の予防や改善効果に対して議論¹¹⁻¹³⁾されてき

たが、近年有用性に関する数多くの研究¹⁴⁻²¹⁾が報告され、各国の糖尿病関連の公的機関より低GI食を推奨する動きがみられる²²⁾²³⁾。本研究では、糖質として55gを含むコシヒカリまたはあゆのひかりの精白米の炊飯米を単回摂取した後、240分までの血糖IAUCを算出することにより食後の血糖上昇への影響を比較検討した。その結果あゆのひかり摂取時は、コシヒカリ摂取時に対し17.5%低い値を示す傾向がみられた(図2)。

著者ら⁵⁾は、健康機能を有する米品種の探索を目的に、アミロース含量が異なる精白米の炊飯米を対象とした*in vitro*消化性試験を行い、コシヒカリの消化率76.6%に対し、あゆのひかりは31.3%となり、あゆのひかりは圧倒的に低い消化率を示すことを報告した。さらにあゆのひかりの精白米の炊飯米の消化率が低い要因を検討したところ、あゆのひかりの炊飯粒は難消化性構造をもち、この構造には強固な胚乳細胞壁が関与していることを報告した。よって、あゆのひかり摂取時の食後の血糖上昇が抑制される傾向を示した要因は、あゆのひかりの難消化性構造によるものと考えられた。

世界的に糖尿病患者の増加が指摘されている中で、日本人の2型糖尿病の発症には、インスリン分泌障害が大きな要因として考えられている。欧米人はインスリン分泌能力が高く、2型糖尿病患者には、多くの場合インスリン抵抗性がみられるのに対して、日本人の場合にはインスリン抵抗性がそれほど強くなくても、糖尿病が発症する人が多い。すなわちインスリン分泌能力が低い日本人にとって、近年の食生活の欧米化・過食化への変化は、糖尿病を発症しやすい状況にある。よってインスリン分泌が節約できる食生活への改善は、糖尿病の一次予防において重要である。今回得られた結果では、あゆのひかり摂取時は、コシヒカリ摂取時に対し、インスリンIAUCは41.3%低い値を示し、インスリン分泌抑制効果を示した。インスリンの分泌は、血糖値以外にも、血中のアミノ酸、糖質、遊離脂肪酸の種類により影響を受ける。あゆのひかりは、コシヒカリと比較してタンパク質、ショ糖、食物繊維および脂質を多く含有することが報告⁵⁾されている。これらの成分の詳細については、現在のところ不明ではあるが、あゆのひかりの食後のインスリン分泌抑制効果に関与した可能性が考えられた。

以上より、あゆのひかりはコシヒカリに比べ食後の血糖が低い傾向を示し、インスリンの分泌も抑制するので、日本人の主食である米において、糖尿病の一次予防として有用な米品種であ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いたします。

文 献

- 1) 厚生労働省健康局総務課生活習慣病対策室 (2008) 平成18年国民健康・栄養調査結果の概要.
- 2) Inouchi N (2010) Study on structures and physical properties of endosperm starches of rice and other cereals. *J Appl Glycosci* **57**: 13-23.
- 3) Goddard MS, Young G, Marcus R (1984) The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. *Am J Clin Nutr* **39**: 388-92.
- 4) 佐藤 光 (1994) イネ胚乳澱粉変異体の作製とその解析. 日本農芸化学会誌 **68**, 1577-80.
- 5) 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 (2010) 糖質米「あゆのひかり」の消化性と構造特性. 日本食品科学工学会誌 **57**, 401-7.
- 6) 日本医師会 (2002) ヘルシンキ宣言 人間を対象とする医学研究の倫理的原則. 2002年10月第53回世界医師会ワシントン総会.
- 7) 厚生労働省 (2003) 臨床研究に関する倫理指針. 平成15年厚生労働省告示第255号 (平成15年7月30日施行).
- 8) 香川芳子監修 (2002) 五訂食品成分表, 女子栄養大学出版部, 東京.
- 9) Jenkins DJA, Wolever TMS, Taylor RH, Barker H, Fielden H, Baldwin JM, Bowling AC, Newman HC, Jenkins AL, Goff DV (1981) Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr* **34**: 362-6.
- 10) Salmerón J, Ascherio A, Rimm EB, Colditz GA, Spiegelman D, Jenkins DJ, Stampfer MJ, Wing AL, Willett WC (1997) Dietary fiber, glycemic load, and risk of NIDDM in men. *Diabetes Care* **20**: 545-50.
- 11) Franz MJ, Bantle JP, Beebe CA, Brunzell JD, Chiasson J-L, Garg A, Holzmeister LA, Hoogwerf B, Mayer-Davis E, Mooradian AD, Purnell JQ, Wheeler M (2002) Evidence-based nutrition principles and recommendations for the treatment and prevention of diabetes and related complications. *Diabetes Care* **25**: 148-98.
- 12) Sheard NF, Clark NG, Brand-Miller JC, Franz MJ, Pi-Sunyer FX, Mayer-Davis E, Kulkarni K, Geil P (2004) Dietary carbohydrate (amount and type) in the prevention and management of diabetes: A statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care* **27**: 2266-71.
- 13) Ludwig DS, Eckel RH (2002) The glycemic index at 20 y. *Am J Clin Nutr* **76**: 264S-5S.
- 14) Giacco R, Parillo M, Rivellese AA, Lasorella G, Giacco A, D'Episcopo L, Riccardi G (2000) Long-term dietary treatment with increased amounts of fiber-rich low-glycemic index natural foods improves blood glucose control and reduces the number of hypoglycemic events in type 1 diabetic patients. *Diabetes Care* **23**: 1461-6.
- 15) Schulze MB, Liu S, Rimm EB, Manson JE, Willett WC, Hu FB (2004) Glycemic index, glycemic load, and dietary fiber intake and incidence of type 2 diabetes in younger and middle-aged women. *Am J Clin Nutr* **80**: 348-56.
- 16) Gilbertson HR, Brand-Miller JC, Thorburn AW, Evans S, Chondros P, Werther GA (2001) The effect of flex-

- ible low glycemic index dietary advice versus measured carbohydrate exchange diets on glycemic control in children with type 1 diabetes. *Diabetes Care* **24**: 1137–43.
- 17) Wolever TMS, Yang M, Zeng XY, Atkinson F, Brand-Miller JC (2006) Food glycemic index, as given in Glycemic Index tables, is a significant determinant of glycemic responses elicited by composite breakfast meals. *Am J Clin Nutr* **83**: 1306–12.
- 18) McMillan-Price J, Petocz P, Atkinson F, O'Neill K, Samman S, Steinbeck K, Caterson I, Brand-Miller J (2006) Comparison of 4 diets of varying glycemic load on weight loss and cardiovascular risk reduction in overweight and obese young adults. *Arch Intern Med* **166**: 1466–75.
- 19) Livesey G, Taylor R, Hulshof T, Howlett J (2008) Glycemic response and health—a systematic review and meta-analysis: relations between dietary glycemic properties and health outcomes. *Am J Clin Nutr* **87**: 258S–68S.
- 20) Barclay AW, Petocz P, McMillan-Price J, Flood VM, Prvan T, Mitchell P, Brand-Miller JC (2008) Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk—a meta-analysis of observational studies. *Am J Clin Nutr* **87**: 627–37.
- 21) Murakami K, Sasaki S, Takahashi Y, Okubo H, Hosoi Y, Horiguchi H, Oguma E, Kayama F (2006) Dietary glycemic index and load in relation to metabolic risk factors in Japanese female farmers with traditional dietary habits. *Am J Clin Nutr* **83**: 1161–9.
- 22) American Diabetes Association (2008) Nutrition recommendations and interventions for diabetes: A position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care* **31**: S61–78.
- 23) International Diabetes Federation (2007) 食後血糖値の管理に関するガイドライン.

J Jpn Soc Nutr Food Sci **64**: 239–243 (2011)

Research Note

Effect of *Ayunohikari*, a Sugary Rice, on Postprandial Blood Glucose Concentration and Insulin Response in Humans

Youichi Arai,^{*1} Noboru Shirahata,¹ Junichi Fukasawa,² Mayuko Tsuchida,³ Yoshinobu Nakajima,³ Yoshiko Nakaura,⁴ Tetsuya Horibata,⁴ and Naoyoshi Inouchi⁴

(Received December 14, 2010; Accepted April 8, 2011)

Summary: *Ayunohikari*, a type of sugary rice, has an inhibitory effect on digestion compared with other rice cultivars due to its resistant structure. The present study investigated the effects of *Ayunohikari* on postprandial blood glucose concentration and insulin response in comparison with a standard rice, *Koshihikari*. A randomized single-blind crossover-designed study was conducted using eight healthy male subjects (age 39.0 ± 1.7 y, body mass index 23.3 ± 0.6 kg/m², fasting blood glucose concentration 96.4 ± 2.1 mg/dL). Postprandial blood glucose and serum insulin concentrations were observed at ~240 min after ingestion of *Ayunohikari* or *Koshihikari* cooked rice containing 55 g of carbohydrate. The incremental area under the curve of the blood glucose concentration for 240 min after ingestion of *Ayunohikari* was 17.5% (non-significantly) lower than that after ingestion of *Koshihikari* ($p = 0.07$). The incremental area under the curve of the serum insulin concentration for 240 min after ingestion of *Ayunohikari* was 41.3% (significantly) lower than that after ingestion of *Koshihikari* ($p < 0.01$). Our finding suggest that *Ayunohikari* is a useful rice strain for primary prevention of diabetes.

Key words: sugary rice, *Ayunohikari*, resistant structure, blood glucose, insulin

* Corresponding author (E-mail: arai.youichi@kao.co.jp)

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

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

³ Food and Beverage Business Group, Human Health Care, Kao Corporation, 14–10, Nihonbashi Kayabacho 1-chome, Chuo-ku, Tokyo 103–8210, Japan

⁴ Department of Nutrition and Life Science, Faculty of Life Science and Biotechnology, Fukuyama University, 1, Sanzo, Gakuen-cho, Fukuyama, Hiroshima 729–0292, Japan