

研究ノート

## 黒千石大豆入りおにぎりの食後血糖上昇抑制効果と官能特性

船津保浩<sup>1\*</sup>, 哥 明葉<sup>1</sup>, 島 里美<sup>1</sup>, 田中 彰<sup>2</sup>, 寺井 格<sup>1</sup>, 眞船直樹<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 酪農学園大学農食環境学群食と健康学類

<sup>2</sup> (地独)北海道立総合研究機構食品加工研究センター

### The Hypoglycemic Effect and Sensory Characteristics of Rice Ball Prepared Using Japanese Soybean, *Kurosengoku*

Yasuhiro Funatsu<sup>1\*</sup>, Akiha Uta<sup>1</sup>, Satomi Shima<sup>1</sup>, Akira Tanaka<sup>2</sup>, Itaru Terai<sup>1</sup> and Naoki Mafune<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Food Science and Human Wellness, College of Agriculture, Food and Environmental Sciences,  
Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501

<sup>2</sup> Food Processing Research Center, Industrial Technology Research Department,  
Hokkaido Research Organization, Ebetsu, Hokkaido 069-0836

The aim of this study was to produce a healthful rice ball showing a reduction in postprandial glycemia, and to investigate its contents of isoflavones and anthocyanins, *in vivo* hypoglycemic effect, inhibition of insulin secretion, and sensory characteristics. *Kurosengoku* soybean from Japan is rich in isoflavones and anthocyanins. Cooked rice was prepared with either broth generated from boiled bean production or water. *Kurosengoku* rice ball (KRB) was prepared by mixing 20% boiled bean with the cooked rice. On the other hand, rice ball wound with dried laver was prepared with pickled ume, sesame and salt, and cooked rice with only water. The rice ball wound with dried laver was used as a control. Results indicated that the glycemic index was lower in KRB than in the control. Blood glucose and immunoreactive insulin levels were also both lower in the former than in the latter after the intake of a substantial amount of lunch. Preference test revealed that the overall acceptability was significantly lower ( $p < 0.01$ ) in KRB than in the control. (Received Nov. 19, 2015; Accepted Jan. 4, 2016)

**Keywords** : *kurosengoku* soybean, rice ball, isoflavone, anthocyanin, postprandial blood glucose level  
キーワード : 黒千石大豆, おにぎり, イソフラボン, アントシアニン, 食後血糖値上昇抑制

アジアは世界的な糖尿病発生地であり、2013年の世界の糖尿病人口3億8200万人のうち、西太平洋と東南アジア地区がそれぞれ36.1%と18.8%で全体の約55%を占めている<sup>1)</sup>。糖尿病患者数で見ると、これらの地域の中で日本は中国、インド、インドネシアに次ぐトップ4カ国に入っている。

2012年国民健康・栄養調査<sup>2)</sup>において、II型糖尿病の可能性を否定できない人は約1100万人と2007年の約1320万人よりも減少したが、II型糖尿病が強く疑われる人は前回調査より60万人多い950万人で過去最多となり、依然としてII型糖尿病患者の数は多い現状である。II型糖尿病とは、インスリンの分泌または感受性の低下が起こり慢性の高血糖を引き起こす病態である。そのためインスリンの分泌あるいは感受性を改善するためには、食事による血糖コントロールが重要となる。日本では古来、主食に使われる食材には米が使用されてきた。しかし、近年、社会環境

の変化に伴い食の欧米化が進み、脂質の多い料理を摂取する機会の増加や運動不足等が生活習慣病の増加の一因<sup>1)</sup>と考えられている。

一方、北海道の原種である黒千石大豆は普通の大豆に比べて粒が小さいという特徴を持ち、栽培が難しいことから一度は栽培が途絶えていた<sup>2)</sup>。近年、黒千石大豆がアントシアニン、イソフラボン等の機能性成分を含み、免疫バランスの調整機能<sup>3)</sup>を有する等の理由から健康食品として注目されている。千葉ら<sup>4)</sup>は北上産の黒千石大豆は有効成分のポリフェノール含有量が高く、動物実験では血清Thio-barbituric acid reactive substances (TBARS) 値の低下傾向と肝臓TBARS値の有意な低下がみられ、生体内抗酸化能を有すると報じた。しかし、北海道産黒千石大豆の成分特性、食品加工時の成分変化、加工した食品の機能および官能特性については十分に調査されていない現状である。

これら一連の背景から本研究ではII型糖尿病予防につな

<sup>1</sup> 〒069-8501 北海道江別市文京台緑町582番地, <sup>2</sup> 〒069-0836 北海道江別市文京台緑町589番地4

\*連絡先 (Corresponding author), funatsu@rakuno.ac.jp

がる食品素材を開発し、その機能および官能特性を調査することを目的とした。すなわち、日本古来の主食である米と黒千石大豆を組み合わせ、おにぎりという日本人に馴染みのある形態に加工し、常食とされる一般的なおにぎりと比較することで、黒千石大豆入りおにぎりが食後の血糖値に及ぼす影響と官能特性について調査した。

## 1. 実験方法

### (1) 黒千石大豆の一般成分と機能性成分分析

#### i) 成分分析用試料の調製

試料には洞爺湖町産黒千石大豆 (*Glycine max cv*) を用いた。ミルサーを用いて粉碎して分析用試料とした。煮豆とおにぎりは、凍結乾燥粉末を調製し分析用試料とした。煮汁はそのまま成分分析に供した。

#### ii) 黒千石大豆入りおにぎりの調製

黒千石大豆入りおにぎりは以下のとおりに調製した。黒千石大豆に大豆重量の4.5倍重量の水を加え、7分間煮熟して煮豆を製造した。ご飯は、お米（あきたこまち、精白米）に煮豆製造時に残った煮汁と水を加えて従来の炊飯時の水量に調整し、市販の炊飯器を用いて炊飯した。おにぎりに含まれる煮豆の重量が20%となるように煮豆をご飯に混ぜ、おにぎりを調製した（以下、黒千石大豆おにぎりと略す）。なお、梅干し（10g/1個）をご飯の中に入れ、胡麻（0.06g）と食塩（0.03g）をふりかけた後、海苔1枚（1g）を巻いたおにぎりを対照とした。

#### iii) アントシアニン類の分析

分析試料1gに0.5%トリフルオロ酢酸-40%メタノールを10mL加え、10分間振とうし、遠心分離（3000rpm, 10分）して上清を得た。この操作を計4回行い、上清を集めて50mLに定容して分析に供した<sup>5)</sup>。アントシアニンの定量はHPLC法で、標準試薬（シアニジン-3-グルコシド：（株）常盤植物化学研究所、千葉）との比較により行った。分析機器と分析条件<sup>6)</sup>をそれぞれ以下に示す。分析機器：SHIMADZU LC-Solution HPLC システム（島津製作所、京都）、検出器：フォトダイオードアレイ（SPD-M20A）、カラム：Inertsil ODS-3 カラム（GLサイエンス、東京、内径4.6mm×長さ250mm、粒子径5 $\mu$ m）、カラム温度35 $^{\circ}$ C、移動相A：4%（W/V）りん酸、B：アセトニトリル、溶出条件：0分（B液10%）-20分（B液25%）-30分（B液25%）でのリニアグラジエント、流量：1.0mL/min、試料量：20 $\mu$ L、測定波長：520nm。

#### iv) イソフラボン類の分析<sup>7)</sup>

分析試料1gに0.1%酢酸-70%エタノールを10mL加え、ポリトロンホモジナイザー（15000rpm, 1分）で磨砕した。25 $^{\circ}$ Cで48時間静置した後、遠心分離（3000rpm, 10分）して、上清を分析に供した。12種類のイソフラボンの定量はHPLC法で、標準試薬（和光純薬工業（株）、東京）との比較により行った。分析機器および分析条件をそれぞれ以下に示す。分析機器：SHIMADZU LC-Solution HPLC

システム（島津製作所、京都）、検出器：紫外-可視光検出器（SPD-20A）、カラム：TSKgel ODS-100V カラム（東ソー、東京、内径4.6mm×長さ150mm、粒子径5 $\mu$ m）、カラム温度：40 $^{\circ}$ C、移動相A：8%（V/V）アセトニトリル（0.1%酢酸含有）、B：38%（V/V）アセトニトリル（0.1%酢酸含有）、溶出条件：0分（B液0%）-50分（B液100%）でのリニアグラジエント、流量：1.0mL/min、試料量：10 $\mu$ L、測定波長：260nm。

#### v) 各種おにぎりの一般成分および食物繊維の分析<sup>8)</sup>

一般成分では、水分は常圧105 $^{\circ}$ C乾燥法、灰分は550 $^{\circ}$ C直接灰化法、脂質は酸分解法、タンパク質はマイクロ改良ケルダール法、食物繊維はプロスキー変法で行い、糖質は炭水化物より食物繊維を差し引いて算出した。また、米飯の窒素-タンパク質換算係数は5.95、黒千石大豆は5.71とし、エネルギー換算係数はAtwaterの係数<sup>9)</sup>を適用した。なお、黒千石大豆（乾）の脂質はクロロホルム・メタノール混液抽出法<sup>10)</sup>によった。

### (2) 血糖値上昇抑制効果

#### i) 対象

本実験の趣旨を説明し、了承を得た本大学の健常な学生ボランティア10名（年齢：20歳、女性10名、BMI：21.2 $\pm$ 3.1）を対象とした。なお、本研究は、酪農学園大学疫学研究倫理審査委員会の承認（13-4）を得て実施された。また、ボランティア10名の平常時の空腹時血糖値は正常域（<100mg/dL）<sup>11)</sup>であった。

#### ii) 実験のデザイン

本研究は同一被験者による「黒千石おにぎり」摂取と「対照おにぎり」摂取におけるクロスオーバー試験を実施し、ウォッシュアウトは1週間とした。

50g糖質相当量摂取による血糖値の測定の場合、被験者には試験前日は普段しないような激しい運動やアルコールの摂取は避け、睡眠も普段通りに取るように促し、前日の21時以降から当日の測定開始まで水以外絶飲食とした。一方、昼食相当量摂取による血糖値およびインスリン値測定の場合、被験者には、実験前日のアルコール、カフェイン、刺激物、薬物、サプリメントの摂取、適度な運動を禁止させ、当日は実験開始4時間前までに朝食を摂らせ、実験開始まで水以外を絶飲食とした。

#### iii) 50g糖質相当量摂取による血糖値の測定

試験当日は早朝空腹時血糖値（0分）を測定後、上記i)-v)の分析で得られた結果から「黒千石大豆おにぎり」50g相当分（湿重量152g）または「対照おにぎり」50g糖質相当分（湿重量143g）と水140gを10分間で摂取させ、食後15、30、45、60、90、120分の血糖値を測定した。なお、血糖値測定は小型血糖測定器グルテストNEOスーパー（三和化学研究所、名古屋）、血糖測定機専用電極グルテストNEOセンサー（三和化学研究所、名古屋）を使用し、採血用穿刺具としてメディセーフファインタッチ（テルモ、東

京)にファインタッチ専用メディセーフ針(テルモ,東京)を装着し自己採血を行った。

#### iv) グリセミックインデックス (GI) の測定

上記のボランティア 10 名に 50 g グルコース溶液 (トレーラン G 液 50 g:株式会社味の素製薬,東京)を用いた経口耐糖能試験 (50 g Oral Glucose Tolerance Test, 以下 50g OGTT と略す)を行った。この試験から得られた摂取前 (0 分), 摂取後 15, 30, 45, 60, 90 および 120 分の 7 点の血糖値を使用し, 血糖曲線下面積 (A) を求めた。同様に糖質 50 g 相当量の各おにぎり摂取後の血糖曲線下面積を (B) とすると, (B) を (A) で除した後, 100 を掛けて GI 値を算出した [GI 値 = (B)/(A) × 100]<sup>12)</sup>。

#### v) 昼食相当量摂取による血糖値とインスリン値の測定

まず昼食におけるおにぎりの標準的な摂取量を試食により事前調査したところ, 100 g, 150 g および 200 g のおにぎりのうち 200 g の試料を選ぶ人が最も多く, 全体の平均摂取量は約 400 g であった。そこで, 昼食に適した量として得られた 200 g 2 個のおにぎりを「対照おにぎり」に使用した。また「黒千石大豆おにぎり」は糖質量を 200 g 2 個のおにぎりに近似させるため, 214 g 2 個を上記のボランティア 10 名に摂取させた。

実験開始時は, 試料摂取前 (0 分) に採血を行い, 「おにぎり」200 g 2 個または「黒千石大豆おにぎり」214 g 2 個を 30 分以内に摂取させた。試料摂取後, 経時的 (30, 60, 90, 120, 240 分) に採血を行った。市中臨床検査施設にて血糖値および Immunoreactive insulin (IRI) 値を測定した。

### (3) 官能評価

#### i) 官能的特質

訓練されたボランティア 5 名 (平均年齢 21.0 歳, 男性 3 名, 女性 2 名) をパネルとした。各種おにぎりの官能的特質の違いを定量的記述分析法<sup>13)</sup>により評価した。すなわち, 外観 (ご飯のつや), 食感 (ご飯の固さ, ご飯の粘り気, 豆の固さ, 豆の粒感, パラパラ感, 噛み応え), 味 (ご飯の甘味, ご飯の塩味, 豆の甘味, 豆の苦味, のりの味, 梅の酸味), 香り (ご飯の香り, 豆の香り, ごまの香り, のりの香り, 梅の香り), 食べやすさの計 19 項目を選定し, 評価には線尺度法<sup>14)</sup>を用いた。各項目が強く感じられれば「非常に強い」の方に, 弱く感じられれば「非常に弱い」の方に評価点をつけ, 得られたデータは 0 から 6 の 7 段階で記録した。

#### ii) 嗜好性試験

酪農学園大学の教職員および学生ボランティア 100 名 (年齢 28.9 歳 ± 13.0 歳, 男性 43 名, 女性 57 名) をパネルとした。各種おにぎりの嗜好性について, 外観, 全体的な匂い, 全体の組み合わせ, 全体的な味, 塩加減, 噛み応え, 飲み込みやすさ, 食生活への利用, 総合的受容性の 9 項目を選定し, 評価には 7 点ヘドニック尺度<sup>15)</sup>を用いた。これは中心点として「好きでも嫌いでもない」を持ち「非常に

**Table 1 Anthocyanin composition in Kurosengoku soybean**

Anthocyanins*	Content (mg/g)**	Composition ratio (%)
Cyanidin-3-glucoside	0.99	93.4
Unknown	0.07	6.6
Total	1.06	100.0

\* dry matter. \*\* Data is expressed as mean ( $n=3$ ).

好ましい」から「非常に好ましくない」にまで及ぶものである。応答は「非常に好ましくない」の 1 から「非常に好ましい」の 7 の数値に変換した。

#### (4) 統計解析

統計解析には, 統計解析ソフト JMP10 (SAS Institute Inc, NC) を使用した。「黒千石大豆おにぎり」と「対照おにぎり」を比較した血糖値, インスリン値, GI 値, 官能的特質および嗜好性試験の比較は Student の  $t$  検定により行った。なお, 上記で得られたデータは平均値 ± 標準偏差で示し, 有意水準は 5% または 1% 未満とした。

## 2. 実験結果と考察

### (1) 黒千石大豆の成分とおにぎり加工時の成分変化

#### i) 黒千石大豆の一般成分と機能性成分の特徴

黒千石大豆 (乾, 全粒粉, 洞爺湖産) の一般成分を調査した。100 g 当たり水分, タンパク質, 脂質, 炭水化物, 灰分および食物繊維 (総量) はそれぞれ 6.8, 34.2, 11.7, 41.8, 5.5, および 3.9 であった。これらの値は国産大豆 (全粒粉, 乾) と比較すると水分, 脂質, 食物繊維が少なく, タンパク質と灰分がほぼ同じで, 炭水化物が多かった<sup>16)</sup>。

黒千石大豆のアントシアニン (AC) の含量と組成比を Table 1 に示す。総 AC 量は, 1.06 mg/g (DW, 乾燥重量) で, シアニジン-3-グルコシド (C3G) の組成比は 93.4% であった。沖ら<sup>17)</sup> は, 黒大豆の総 AC 量は 0.25~1.40 mg/g (DW) と報じており, 黒千石大豆は大豆類の中で, AC 量が高かった。また, 澤井ら<sup>5)</sup> は, 黒大豆には AC としてデルフィニジン-3-グルコシドを 10~30% 含む大豆があると報じているが, 黒千石大豆には検出されず, 大部分が C3G で構成されていた。

黒千石大豆のイソフラボン (IF) の含量と組成比を Table 2 に示す。分析の結果, 11 種類の IF 類が検出された。標準試薬との比較から含有量を計算した結果, 総 IF は 2.23 mg/g (DW) であった。最も組成比が高かったのはマロニルゲニステンで 50.2% であった。IF は大豆全般に含まれており, 扇谷ら<sup>18)</sup> は道産大豆の IF 含量は, 2.0~5.4 mg/g (DW) のレベルで, 黒大豆は 2.0~3.7 mg/g (DW) であった。黒千石大豆もこの範囲内であった。また, 黒千石大豆の IF の化学形態はマロニル化配糖体の割合が 70.8%, アグリコンの型ではゲニステイン型の割合が 65.8% と最も高かった。さらに扇谷ら<sup>18)</sup> は, マロニル化配糖体の重量割合が 70~90%, ゲニステインとその配糖体の割合が

52~71% であると報じている。黒千石大豆のそれはこれらの範囲に入るものの、マロニル化配糖体の割合 (70.8%) が低く、ゲニステインとその配糖体の割合 (67.9%) が高い特徴が見られた。

#### (2) 黒千石大豆おにぎり加工時の成分変化

煮豆、煮汁、豆入りおにぎりの水分量などから、AC と IF の物質収支を計算すると、加工前的大豆中の含有量を 100% とした場合、AC は、煮豆加工により約 11.0% が煮豆中に残存し、48.7% が煮汁へ溶出していた (Table 3)。また、豆入りおにぎりの収支は 34.9% となり、煮汁を炊飯に利用しない場合 (煮豆のみ、11.0%) よりも 3 倍高い収支となった。また、煮豆と煮汁の収支を加えても約 60% であり、煮豆加工および炊飯での加熱による AC の分解の可能性が示唆された。一方、IF は煮汁への溶出は少なく、炊

飯での加熱による分解もほとんど見られなかった。しかし、加工前的大豆と比べて、化学形態に違いが見られ、マロニル化配糖体の割合が 70.8% から 65.6% と減少し、非アシル化配糖体が 23.5% から 29.5% に増加し、アセチル化配糖体も 2.0% から 3.1% に僅かに増加した (結果は図示せず)。春日ら<sup>19)</sup> は、大豆イソフラボン組成は水煮加熱 (30 分と 60 分) によりマロニル化配糖体が減少し非アシル化配糖体が増加し、加熱時間が長くなるほどこの現象は顕著で、僅かにアセチル化配糖体の生成が見られると報じている。Toda ら<sup>20)</sup> も加熱後のマロニル化配糖体と非アシル化配糖体の量比はやや異なるものの上記と類似した現象を確認している。本研究でも、7 分間の短時間の水煮加熱であるが、マロニル化配糖体から非アシル化配糖体への変化が起きていると推察された。なお、アグリコン型 (ダイゼインとゲニステイン) の割合は加熱前後の大豆ではそれぞれ 3.8% と 1.8% と低かった。

#### (3) 血糖値上昇抑制効果

##### i) 各種摂取おにぎりの成分特性の比較

対照おにぎり、黒千石大豆おにぎりの栄養成分組成を Table 4 に示す。糖質量を 50 g または 140 g に揃えた場合の対照おにぎりとおにぎりの栄養成分量を比較したところ、前者に比べて後者はタンパク質が約 2.4 倍、脂質が約 24 倍、食物繊維が約 5 倍多かった。AC と IF は黒千石大豆おにぎりにのみ含まれており、AC 総量の 93.7% は C3G であった。また、IF 総量のうち、2.2% がアグリコン型 (ダイゼイン: 0.8%, ゲニステイン: 1.4%), 30.8% が非アシル化配糖体 (ダイジン: 8.7%, ゲニステイン: 20.0%, グリシチン: 2.1%), 63.5% がマロニル化配糖体 (マロニルダイジン: 14.1%, マロニルゲニステイン: 46.1%, マロニルグリシチン: 3.2%) および 3.5% がアセチル化配糖体 (アセチルダイジン: 1.5%, アセチルゲニステイン: 0.9%, ア

Table 2 Isoflavone composition in *Kurosengoku* soybean

Isoflavones*	Content(mg/g)	Composition ratio(%)
Daidzein	0.03	1.3
Genistein	0.06	2.5
Glycitein	ND	NC
Daidzin	0.14	6.5
Genistin	0.33	14.9
Glycitin	0.05	2.1
Malonyldaidzin	0.36	16.3
Malonylgenistin	1.12	50.2
Malonylglycitin	0.09	4.2
Acetyldaidzin	0.01	0.4
Acetylgenistin	0.01	0.3
Acetylglycitin	0.03	1.3
Total	2.23	100.0

\* dry matter. \*\* Data is expressed as mean ( $n=3$ ).

ND : not detected. NC : not calculated.

Table 3 Material balance of functional ingredients in variety of processed goods obtained from 100 g of soy materials

Items	Moisture(%)	Yield	Anthocyanin(mg)	Isoflavone(mg)
Dry beans	6.8	100 g	98.8 (100.0%)	207.8 (100.0%)
Boiled beans	39.4	154 g	10.8 (11.0%)	209.2 (100.7%)
Broth	99.5	396 mL	48.1 (48.7%)	7.5 (3.6%)
<i>Krosengoku</i> rice ball	61.4	769 g	34.5 (34.9%)	225.1 (108.3%)

Table 4 Nutrient and polyphenol compositions in various rice balls

Items	Amounts	Piece	Energy(Kcal)	Protein(g)	Lipid(g)	TDF(g)	Sugar(g)	TAC(mg)	TIF(mg)
Control	143 g/piece	1	219	4.3	0.1	0.3	50.0	ND	ND
	200 g/piece	2	614	12.0	0.3	0.8	140.0	ND	ND
<i>Kurosengoku</i> rice ball	152 g/piece	1	268	10.3	2.4	1.4	50.0	6.8	44.1
	214 g/piece	2	754	28.8	6.7	3.9	140.8	19.2	124.1

TDF, Total dietary fiber ; TAC, Total anthocyanins ; TIF, Total isoflavones. ND, not detected.

Energy was calculated using Atwater coefficient<sup>9)</sup>.

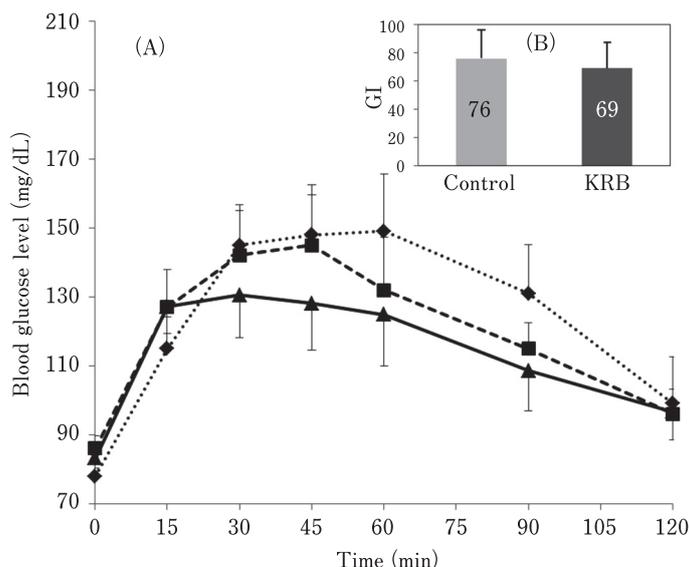


Fig. 1 Effect of two rice balls on blood glucose level after loading of 50 g of sugars in healthy subjects

Results are expressed as mean  $\pm$  SD ( $n=10$ ). Age of subjects : 20 ; Ratio of subjects : female, 10 ; BMI of subjects :  $21.2 \pm 3.1$ . A : Blood glucose response curve of two rice balls, B : GI of two rice balls. Control :  $- \blacksquare -$ , Kurosengoku rice ball :  $- \blacktriangle -$ , 50 g OGTT,  $\cdots \blacklozenge \cdots$ . KRB : Kurosengoku rice ball.

セチルグリシチン:1.1%)であった。IFの組成では非アシル化配糖体とマロニル化配糖体の割合が高い特徴が見られた。

ii) 糖質 50 g 相当量の各種おにぎり摂取時の血糖値の変化と GI 値の比較

各種おにぎりの糖質 50 g 相当量摂取後の 2 時間の平均血糖値の経時変化を Fig. 1 (A) に示す。対照おにぎりでは食後 45 分まで増加し、その後 120 分後まで低下したのに対し、黒千石大豆おにぎりでは食後 15 分まで増加し、その後 120 分まで緩やかな低下がみられた。両者の平均血糖値 (mg/dL) を食後 30 分と 45 分で比較したところ、それぞれ 142 と 131、145 と 128 で前者に比べて後者が低値を示したが、有意差は見られなかった。また対照おにぎりとは黒千石大豆おにぎりの平均 GI もそれぞれ 76 と 69 で、後者が前者よりもやや低値であった [Fig. 1 (B)]。しかし、両者に有意差は認められなかった。

上記 2-(1) の成分特性では、黒千石大豆おにぎりは、対照おにぎりに比べ、タンパク質、脂質および食物繊維量が多い。そのため黒千石大豆おにぎりが食後の血糖値の上昇を抑制した理由は、食物繊維が糖の吸収速度を緩やかにし<sup>21)22)</sup>、タンパク質、脂質がインスリン分泌を促進する<sup>23)24)</sup>ことが一因と考えられた。また本研究の結果は白米ベースの食事に脂質やタンパク質および野菜が単独または複合して添加された場合、白米の血糖反応が低減する事実<sup>25)</sup>、言い換えると、コメに適量の脂質やタンパク質および野菜が添加されると GI が低下する事実を示唆している。

iii) 昼食相当量の各種おにぎり摂取時の血糖値とインスリン値の変化の比較

対照おにぎりの血糖値は食後 30 分でピーク (139 mg/dL) を示した後に下降し、食後 240 分で 89 mg/dL と空腹時それとほぼ同値を示した [Fig. 2 (A)]。一方、黒千石大豆おにぎりでは食後 30 分のピークが 114 mg/dL と対照に比べ低値であり、食後 120 分で 94 mg/dL と空腹時血糖値に復した。また、食後 120 分の値は対照おにぎりでは 109 mg/dL、黒千石大豆おにぎりでは 96 mg/dL であり、有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。

対照おにぎりのインスリン値は食後 30 分にピーク (127.5  $\mu$ U/mL) を示し、60 分 (107.7  $\mu$ U/mL)、120 分 (117.2  $\mu$ U/mL) と停滞したのち 240 分で 45.0  $\mu$ U/mL まで下降した [Fig. 2 (B)]。一方、黒千石大豆おにぎりでは食後 30 分にピーク (105.2  $\mu$ U/mL) を示し、その後 240 分まで緩やかに下降した。

各種おにぎりの昼食相当量摂取時の血糖値とインスリン値の比較では、黒千石大豆おにぎりが対照おにぎりに比べてタンパク質や脂質の量が多いにも関わらずインスリンの分泌が抑制される傾向にあった。これはタンパク質と脂質の影響よりも、食物繊維の影響や黒千石大豆に含まれる AC (C3G) による血糖値上昇抑制に関与する AMP-activated protein kinase (AMPK) 活性化<sup>26)</sup>の影響が強く、このことにより血糖値上昇が抑制され、インスリンを過剰に分泌する必要がなくなった可能性が考えられる。

Nanri ら<sup>27)</sup> は長期に渡る白米摂取と II 型糖尿病との関係から日本人女性は白米摂取による II 型糖尿病のリスクが増

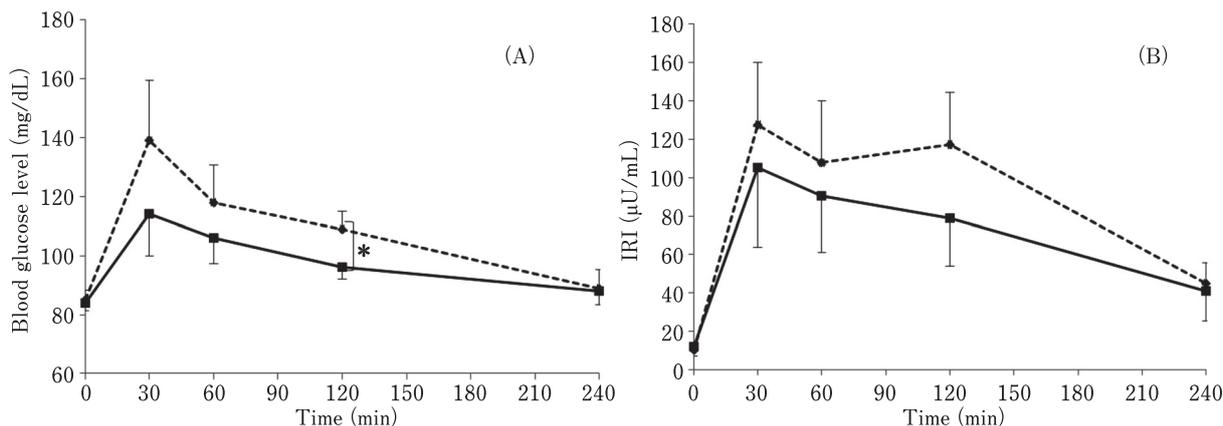


Fig. 2 Effect of control (dotted line) and *Kurosengoku* rice ball (solid line) on blood glucose (A) and IRI (B) levels after intake of substantial amount of lunch in healthy subjects

Results are expressed as mean±SD (n=10). \* : p<0.05 vs. control.

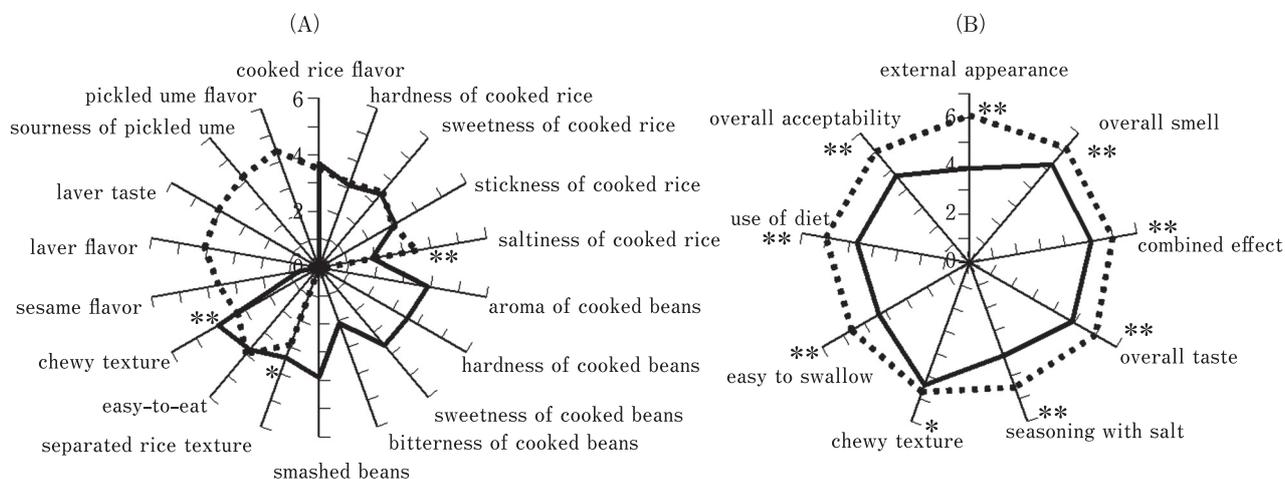


Fig. 3 Sensory attributes (A) and preference test (B) of control (dotted line) and *Kurosengoku* rice ball (solid line)

Results are expressed at mean (A : n=5, B : n=100). \* : p<0.05 and \*\* : p<0.01 vs. control.

加すること、その予防のためには心血管疾患リスクを増加させることのない食事設計戦略が必要であると報じている。今後は白米摂取時により効果的に食後血糖上昇を抑制する食品素材を活用した日本型基本食の研究が必要と思われる。

(4) 官能特性  
i) 官能的特質

各種おにぎりの官能的特質の調査結果を Fig. 3 (A) に示す。パネルが選定した単独の特徴を示す用語を比較すると、対照おにぎりはごまの香り、のりの香り、のりの味、梅干しの酸味および梅干しの香りであった。一方、黒千石大豆おにぎりは豆の香り、豆の固さ、豆の苦味および豆の粒感であった。共通項目では対照おにぎりとは黒千石大豆おにぎりを比較したところ、前者より後者が噛み応えとパラパラ感で有意に高値 (p<0.01) を示し、ご飯の塩味と食べやすさで有意に低値 (それぞれ p<0.01 と p<0.05) を示し

た。

千葉ら<sup>4)</sup>は評点法を用いた官能評価で、黒千石大豆は食べた時に硬く割れにくい甘味のある豆であり、これは加熱時の重量変化等から種皮が硬く壊れにくいため甘味を保持していることが一因と報じている。本研究では他の豆と比較していないため甘味については調査していないが、豆の固さや噛み応えに特徴が認められるのは黒千石大豆の種皮の特性と考えられる。

ii) 嗜好性試験

各種おにぎりの嗜好性試験の結果を Fig. 3 (B) に示す。対照おにぎりとは黒千石大豆おにぎりを比較したところ、外観、全体的な匂い、食材の組み合わせ、全体的な味、塩加減、飲み込みやすさ、食生活への利用、総合的受容性および噛み応えにおいて有意に低値 (前八者 : p<0.01, 後一者 : p<0.05) となった。これらの原因は黒千石大豆の AC の影響で米飯が濃い紫色を呈し、黒色の豆が混ざっているとい

う外観が見慣れないこと、食欲を増進する色調ではなかったこと、黒千石大豆の固さが食べるには固すぎたこと等が原因と考えられる。今後は、水への浸漬や煮沸時間の延長による黒千石大豆の軟化や、新たな加工形態の考案による嗜好性の向上が必要である。

### 3. 要約

本研究では、II型糖尿病予防効果のある食品開発を目指し、道産黒千石大豆の機能性成分に着目し、ACとIFの含有量や化学組成を調査し、機能性を十分に活用したおにぎりの加工方法を検討した。その結果、黒千石大豆は他の黒大豆と同様にACやIFを豊富に含有していた。煮豆加工時にACが煮汁へ溶出したが、炊飯時に煮汁を利用することで、ACを有効活用することができ、黒千石大豆の機能性を活かしたおにぎりの加工方法が開発できた。

糖質50g相当量のおにぎり摂取試験での血糖値とGI、昼食相当量のおにぎり摂取後の血糖値とインスリン値は、いずれも対照おにぎりと比較して黒千石大豆おにぎりで低値を示し、特に昼食相当量摂取試験では食後120分において有意に低値であった。したがって黒千石大豆おにぎりはタンパク質、脂質、食物繊維、ACおよびIFなどの単一、あるいは複合的作用により食後の血糖値の上昇を抑制し、その結果インスリンの過剰な分泌が不要となり食後のインスリン値の上昇が抑制されたと考えられた。嗜好性試験では、対照おにぎりと比較して黒千石大豆おにぎりで調査した全ての項目で優れない結果となったが、今後、黒千石大豆の軟化や調理形態の工夫により嗜好性を高めることが考えられ、II型糖尿病予防食としての有用性が期待された。

本研究は2014年度酪農学園大学共同研究費によって実施されたものである。ここに深く謝意を表します。また、本研究の遂行にあたりおにぎりの調製にご助言をいただいた柳瀬晴香氏、官能評価にご協力いただいた酪農学園大学教職員並びに学生諸氏に厚く感謝します。

### 文 献

- International diabetes federation, IDF DIABETS ATLAS (six edition), p. 13 (2013).
- 厚生労働省, 平成24年国民健康・栄養調査結果の概要, 第1章糖尿病に関する状況, p. 8 (2014).
- Tanaka, S., Koizumi, S., Makiuchi, N., Aoyagi, Y., Quivy, E., Mitamura, R., Kano, T., Wakita, D., Chano, K., Kitamura, H. and Nishimura, T., The extract of Japanese soybean, Kurosengoku activates the production of IL-12 and IFN- $\gamma$  by DC or NK1.1<sup>+</sup> cells in a TLR4- and TLR2-dependent manner. *Cell. Immunol.*, **226**, 135-142 (2011).
- 千葉啓子, 北上産黒大豆「黒千石」の栄養機能性と加工食品への応用に関する研究, 岩手県立大学地域政策研究センター「地域協働研究 研究成果報告集1」, pp. 18-20 (2014).
- 澤井祐典, 菅原晃美, 沖 智之, 西場洋一, 氏原邦博, 須田郁夫, 紫黒米・黒大豆のアントシアニン分析における高速液体クロマトグラフィーとpH differential法の比較, 日本食品科学工学会誌, **59**, 104-108 (2012).
- 室井てる予, HPLCによるアントシアニン色素の分析について, *FOODS & FOOD INGREDIENTS JOURNAL of JAPAN*, **155**, 52-63 (1993).
- 高田吉文, 菊池彰夫, 大豆のイソフラボン, 食品中の健康機能性成分の分析法マニュアル, 四国地域イノベーション創出協議会地域食品・健康分科会 (2010).
- 科学技術庁資源調査会食品成分部会, 五訂日本食品標準成分表分析マニュアル, 社団法人資源協会 (1997).
- Atwater, W.O., Principle of nutrition and nutritive value of foods, United States Department of Agriculture, Farmers' Bul., No. 142 (second rev.), p. 48 (1910).
- 日本薬学会, クロロホルム・メタノール混液抽出法による定量, 衛生試験法・註解 2010, (金原出版, 東京), pp. 216 (2010).
- 門脇 孝, 羽田勝計, 富永真琴, 山田信博, 岩本安彦, 田嶋尚子, 野田光彦, 清野 裕, 柏木厚典, 葛谷英嗣, 伊藤千賀子, 名和田新, 山内敏正, 糖尿病・糖代謝異常に関する診断基準検討委員会報告—空腹時血糖値の正常域に関する新区分—, *糖尿病*, **51**, 281-283 (2008).
- Jenkins, D.J., Wolever, T.M., Taylor, R.H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J., Bowling, A.C., Newman, H.C., Jenkins, A.L. and Goff, D.V., Glycemic index of foods, A physiological basis for carbohydrate exchange. *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 362-366 (1981).
- 相島鐵郎, 食品ラボにおける官能評価 (5), 日本食品科学工学会誌, **48**, 637-642 (2001).
- 相島鐵郎, 食品ラボにおける官能評価 (3), 日本食品科学工学会誌, **48**, 453-466 (2001).
- 相島鐵郎, 食品ラボにおける官能評価 (6), 日本食品科学工学会誌, **48**, 697-703 (2001).
- 香川芳子, 食品成分表 2013, (女子栄養大学出版社, 東京), (2013).
- 沖 智之, 古川麻紀, 山下南穂, 白土英樹, 後藤一寿, 奥野成倫, 須田郁夫, 国産黒大豆中のアントシアニンと総プロアントシアニジンの定量, 日本食品科学工学会誌, **60**, 595-600 (2013).
- 扇谷陽子, 相澤 博, 大谷倫子, 藤田晃三, 大豆のイソフラボン量について: 産地による比較, 札幌市衛生研究所年報, **29**, 83-89 (2002).
- 春日敦子, 荻原英子, 青柳康夫, 木村廣子, 大豆イソフラボン組成の加熱加工による変化, 日本食品科学工学会誌, **53**, 365-372 (2006).
- Toda, T., Sakamoto, A., Takayanagi, T. and Yokotsuka, K., Changes in isoflavone compositions of soybean foods during cooking process. *Food Sci. Technol. Res.*, **6**, 314-319 (2000).
- Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Leeds, A.R., Gassull, M.A., Haisman, P., Dilawari, J., Goff, D.V., Metz, G.L. and Alberti, K. G. M. M., Dietary fibres, fibre analogues, and glucose tolerance: importance of viscosity. *Br. Med. J.*, **1**, 1392-1394 (1978).
- Blackburn, N. A., Redfern, J. S., Jarjis, H., Holgate, A. M., Hanning, I., Scarpello, J.H.B., Johnson, I.T. and Read, N.W., The mechanism of action of guar gum in improving glucose tolerance in man. *Clin. Sci.*, **66**, 329-336 (1984).
- Manders, R.J., Koopman, R., Sluijsmans, W.E., van den Berg, R., Verbeek, K., Saris, W.H., Wagenmakers, A.J. and van Loon, L.J., *J. Nutr.*, **136**, 1294-1299 (2006).
- 李 相翔, 長嶋理晴, 平野 勉, 渡部琢也, 糖尿病治療を変える新たな糖尿病薬インクレチン, 昭和医学会雑誌, **70**, 34-44 (2010).
- 合田吉宏, アジアの糖尿病とグリセミック指数の低減, 食品と容器, **56**, 316-317 (2015).
- 津田孝範, エネルギー代謝の鍵分子制御に関与する雑豆成

分の検討と豆料理を想定した成分の併用効果, 平成 23 年度豆類振興事業調査研究 (雑豆需要促進研究) 成果概要, pp. 1-2 (2011).

- 27) Nanri, A., Mizoue, T., Noda, M., Takahashi, Y., Kato, M., Inoue, M. and Tsugane, S. for the Japan Public Health Center-based Prospective Study Group, Rice intake and type 2 diabets in Japanese men and women: the Japan Public Health Center-based Prospective Study. *Am, J. Clin.*

*Nutr.*, **92**, 1468-1477 (2010).

#### 引用 URL

- i1) [http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w\\_maff/h18\\_h/.../t1\\_1\\_3\\_01.html](http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h18_h/.../t1_1_3_01.html) (2007. 1. 25).  
i2) <http://portal.hokuryu.info/kurosengokubean> (2015. 3. 23).  
(平成 27 年 11 月 19 日受付, 平成 28 年 1 月 4 日受理)