

報 文

ドーナツとケーキへの小麦またはライ麦全粒粉の配合による 血糖値上昇抑制効果と嗜好性への影響

船津保浩^{1*}, 永田亜希恵², 田中 彰³, 西尾由紀夫⁴, 中川義久⁵,
岩崎智仁¹, 金田 勇¹, 眞船直樹¹

¹ 酪農学園大学農食環境学群食と健康学類

² 酪農学園大学酪農学部食品科学科

³ (地独)北海道立総合研究機構食品加工研究センター

⁴ (有)豊フーズ

⁵ 富山県農林水産総合研究センター食品研究所

The Hypoglycemic Effect and Palatability of Doughnuts and Pound Cakes Prepared
Using Combinations of Japanese Whole Rye, Whole-Wheat and Wheat Flours

Yasuhiro Funatsu^{1*}, Akie Nagata², Akira Tanaka³, Yukio Nishio⁴, Yoshihisa Nakagawa⁵,
Tomohito Iwasaki¹, Isamu Kaneda¹ and Naoki Mafune¹

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

² Department of Food Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501

³ Food Processing Research Center, Industrial Technology Research Department,
Hokkaido Research Organization, Ebetsu, Hokkaido 069-0836

⁴ Yutaka Foods Inc., Yamamuro, Toyama 930-8006

⁵ Toyama Food Research Institute, Toyama Prefectural Agricultural, Forestry & Fisheries
Research Center, Yoshioka, Toyama 939-8153

The aim of this study was to produce doughnuts and pound cakes capable of reducing postprandial glycemia. Proximate composition, *in vivo* hypoglycemic effect, and palatability of the products were investigated. In doughnuts, mixing ratios of Japanese whole rye, whole wheat, and hard flours were 0 : 0 : 50 (D0), 0 : 40 : 10 (D1), and 40 : 0 : 10 (D2). Total dietary fiber (TDF) level was higher in D1 and D2 than in D0. Blood glucose level was significantly ($p < 0.05$) lower in D1 at 15 min and in D2 at 15 and 30 min than in D0 after 50 g sugar loading in healthy subjects. Acceptability of D1 was higher and that of D2 was lower compared to D0. In pound cakes, mixing ratios of Japanese whole rye, whole wheat, and soft flours were 0 : 0 : 25 (C0), 0 : 20 : 5 (C1), and 20 : 0 : 5 (C2). TDF level was higher in C1 and C2 than in C0. Blood glucose level was significantly ($p < 0.05$) lower in C1 than in C0 at 90 min after 50 g sugar loading in healthy subjects. Samples did not significantly differ in palatability. The results suggest that the selection of main raw materials and the processed food form are important factors in producing bakery products with hypoglycemic effects and high palatability. (Received Apr. 15, 2015; Accepted Jun. 1, 2015)

Keywords : doughnut, cake, dietary fiber, moderating postprandial blood glucose level, palatability
キーワード : ドーナツ, ケーキ, 食物繊維, 食後血糖値上昇抑制, 嗜好性

近年、消費者の健康志向から食物繊維やミネラルを含む素材を混合したドーナツやケーキ等の製品が製造されている。これまでに我々は食物繊維を多く含む「大豆おから」を混合したドーナツやケーキの血糖値上昇と嗜好性に関する調査を行ってきた。その結果、いずれの製品でも小麦粉を用いて製造したそれぞれの対照に比べてグライセミッ

ク・インデックス (GI) がそれぞれ約 26% および約 39% 低いことを明らかにした^{1,2)}。また上馬場ら³⁾は、深層水入りおからパンを製造し、その機能性を精白食パンのそれと比較したところ、前者は後者に比べ、食後の血糖値の上昇が遅く GI も精白パンより約 10% 低いことを明らかにした。一般に小麦 (強力粉, 薄力粉) に比べ小麦 (全粒粉) や

¹ 〒069-8501 北海道江別市文京台緑町 582 番地, ² 〒069-8501 北海道江別市文京台緑町 582 番地

³ 〒069-0836 北海道江別市文京台緑町 589 番地 4, ⁴ 〒930-8006 富山県富山市山室 130-10, ⁵ 〒939-8153 富山県富山市吉岡 360

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

ライ麦（全粒粉）は食物繊維量やミネラルに違いがみられる⁴⁾ことから、それらを原料として製造されたパン類やベーカリー製品はおからを利用したそれらのように加工形態の相違により血糖値上昇抑制効果にも違いがみられると推測される。これまでに著者ら⁵⁾は混合パン（全粒粉40%とライ麦40%混合パン）とライ麦80%含有パンは対照パン（精白パン）に比べてともに食後の血糖値を上昇させにくい食品であると報じた。嗜好性を調査したところ前者の方が後者より好まれることが分かった。しかし、その他のベーカリー製品に関しては十分調査されていない現状である。

本研究では国内産ライ麦全粒粉と小麦全粒粉とを配合したドーナツとケーキを製造し、血糖値上昇抑制効果と嗜好性を調査することを目的とした。

実験方法

1. 実験試料の調製

ライ麦・小麦配合ベーカリー製品の製造は（有）豊フーズで行った。すなわちドーナツの製造はミキサーボール中に小麦粉（強力粉）、小麦粉（全粒粉）、ライ麦（全粒粉）をTable 1に示すように配合し、それに砂糖12%、食塩0.6%、脱脂粉乳1.3%、イースト菌3%、水23%、全卵6%およびマーガリン5%を加えて約20分間混合してドウ（生地）を調製した。約25分のベンチタイム後、生地を50gの大きさに分割した。さらに約15分のベンチタイム後、分割したドウをリング状に成型し、38℃で約40分間発酵を行った。発酵後のドウを180℃で15分間油調し、「プレーンドーナツ」(D0)、「全粒粉配合ドーナツ」(D1)および「ライ麦配合ドーナツ」(D2)とした。

一方、ケーキの製造は、下記のとおりである。まず、砂糖6%、グラニュー糖7%、バター25%および食塩0.2%を入れて良く混合し、卵黄19%と卵白14%を少しずつ加えて十分混合した。これらの混合物にTable 1に示した小麦粉（強力粉）、小麦粉（全粒粉）、ライ麦（全粒粉）およびベーキングパウダー0.4%を加えて混合して生地を調製した。この生地をケーキの型に入れ190℃で約30分焼成し、「プレーンケーキ」(C0)、「全粒粉配合ケーキ」(C1)および「ライ麦配合ケーキ」(C2)とした。なお、本研究では小麦粉（強力粉、薄力粉、全粒粉）およびライ麦（全粒粉）は全て国内産を使用した。また、本研究では上記のD0とC0をそれぞれドーナツとケーキの対照とした。

2. 一般成分分析

各ドーナツとケーキの水分、灰分、脂質、タンパク質および食物繊維について成分分析を以下のとおり実施した。水分：常圧105℃乾燥法⁶⁾、灰分：550℃直接灰化法⁷⁾、脂質：酸分解法⁸⁾、タンパク質：改良ケルダール法⁹⁾、食物繊維（総量）：プロスキー変法¹⁰⁾で行い、炭水化物は差し引き法で算出した。また、窒素-タンパク質換算係数を6.25とし、エ

Table 1 Ingredient composition for three doughnuts and pound cake products (% w/w)

	D0	D1	D2	C0	C1	C2
Wheat flour	50	10	10	25	5	5
Whole wheat flour	0	40	0	0	20	0
Whole grain rye	0	0	40	0	0	20

D0: Wheat flour doughnuts, D1: Whole wheat flour doughnuts, D2: Whole grain rye doughnuts, C0: Wheat flour cake, C1: Whole wheat flour cake, C2: Whole grain rye cake.

ネルギー換算係数はタンパク質：4kcal/g、脂質：9kcal/gおよび炭水化物：4kcal/gとした。

3. 血糖値上昇抑制効果

(1) 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：20.3±1.6歳、性別人数：男性3名・女性7名、BMI：男性19.9±1.5・女性21.3±1.8）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(09-3)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85.5±7.8mg/dlで、正常域(<100mg/dl)¹¹⁾であった。

(2) 実験のデザイン

本研究は同一被験者による各ドーナツ摂取と各ケーキ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3日間以上とした。また、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。

(3) 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(3)-2より得られた結果から各ドーナツおよびケーキの50g糖質相当量と水200g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。また各ドーナツおよびケーキについては市販製品の調査から1度飲み込むまでの咀嚼回数と咀嚼時間をそれぞれ24回(17秒)と21回(15秒)を目安とした。測定中、ボランティアには座位を主とし、安静にするように説明した。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、穿刺具としてメディセーフファイントッチ(テルモ、東京)にファイントッチ専用メディセーフ針(テルモ、東京)を装着し穿刺を行った。

(4) GIの測定

上記と同じボランティアに、50g経口耐糖能試験(Oral Glucose Tolerance Test, 以下OGTTと略す)を行い、2時間の平均血糖曲線を面積で表し、上記3-(3)の実験により算出された50g糖質相当分の各パンの平均血糖曲線(A)、

Table 2 Proximate compositions of three doughnuts and pound cake products

		D0	D1	D2	C0	C1	C2
Energy	(kcal/100 g)	345	348	380	398	409	415
Moisture	(g/100 g)	25.9	26.2	17.6	26.4	26.3	25.0
Ash	(g/100 g)	0.9	1.1	1.6	0.9	1.1	1.3
Protein	(g/100 g)	8.5	8.5	6.2	6.3	8.2	6.6
Lipid	(g/100 g)	10.4	11.5	11.3	21.5	23.8	24.1
Sugars	(g/100 g)	52.6	49.8	57.4	43.7	38.6	39.5
Dietary fiber	(g/100 g)	1.7	2.9	5.9	1.2	2.0	3.5

Energy conversion coefficient: Protein: 4 kcal/g, Lipid: 9 kcal/g, Carbohydrate: 4 kcal/g.

Nitrogen-protein conversion coefficient: 6.25.

See Table 1 for D0, D1, D2, C0, C1 and C2.

50gOGTT 2時間の血糖曲線 (B) をそれぞれ面積で表したものを除し, 比率を算出した [GI=(A) の面積/(B) の面積)×100]. この数値は対照とした食品が血糖値を上げやすい食品か否かを検討するための目安となる値である. すなわち, GI が低値であるほど血糖値を上げにくい食品に分類されることになり, Jenkins ら¹²⁾ によって提唱された. なお, 50gOGTT に用いた 50 g グルコース溶液はトレーラン G 液 50 g (味の素製薬株式会社, 東京) を使用した.

4. 走査型電子顕微鏡による微細構造の観察

各ドーナツおよびケーキをデシケータに入れて3日間乾燥させた. 乾燥後, 試料を5mm×5mm×2mmに整形し, カーボンペーストを用いてアルミステージに接着させた. 次にイオンスパターにてPt-Pb蒸着処理を行い, 走査型電子顕微鏡S-2460 (日立製作所, 東京) により加速電圧10 kVで観察した.

5. 密度の測定

各ドーナツを直径1.2cm×高さ1.0cm (体積: 1.130 cm³) のステンレス製円筒型リングでくり抜き, 6検体の重量 (g) を測定し, その平均値を体積で除して密度 (ρ , g/cm³) を算出した. 各ケーキではリングの高さが1.5cmである点を除いてはドーナツと同様に測定した.

6. 官能評価

酪農学園大学の小麦アレルギーでない健常なボランティア43名 (年齢: 19.4±0.9歳, 性別・人数: 男性7名・女性36名) をパネルとし, プレーンドーナツおよびプレーンケーキを対照とした場合, 小麦・ライ麦配合ドーナツおよびケーキの嗜好性の違いについて, 外観, 匂い, 味, 食感および総合評価 (受容性) の計5項目の評価を実施した. 官能評価点は, 7段階表記とし, 対照を(0)とし, 好ましければプラス, 好ましくなければマイナスの方に各配合ドーナツおよびケーキの評点をつけた.

7. 統計解析

統計解析には, 統計解析ソフト JMP8.0.2 (SAS Institute Inc., USA) を使用した. 小麦全粒粉, ライ麦全粒粉を配合した各ドーナツとケーキの同一時間における対照と比較した血糖値, GI, 密度および官能特性の比較は, Dunnett's

testより, 多重比較検定を行った. なお, 全てのデータは平均値±標準偏差で示し, 有意水準は5%未満とした.

実験結果と考察

1. 小麦・ライ麦配合ドーナツおよびケーキの一般成分

(1) 小麦・ライ麦配合ドーナツの一般成分

全粒粉配合ドーナツ (D1) はプレーンドーナツ (D0) に比べて脂質や食物繊維 (総量) がやや多い傾向であった (Table 2). また, ライ麦配合ドーナツ (D2) はD0に比べて水分やタンパク質が少なく, 糖質および食物繊維 (総量) が多い傾向がみられた.

(2) 小麦・ライ麦配合ケーキの一般成分

全粒粉配合ケーキ (C1) はプレーンケーキ (C0) に比べて一般成分ではタンパク質がやや多く, 糖質が少ない傾向であった (Table 2). また, ライ麦配合ケーキ (C2) はC0に比べて脂質や食物繊維 (総量) がやや多く, 糖質がやや少ない傾向がみられた.

2. 小麦・ライ麦配合ドーナツとケーキの血糖上昇抑制効果

小麦・ライ麦配合ドーナツとケーキの50g糖質相当分量摂取後, 2時間の平均血糖曲線の変化を調査した. その結果を Fig. 1 (A) と (B) にそれぞれ示す.

(1) 小麦・ライ麦配合ドーナツの血糖上昇抑制効果

ドーナツの場合 (A), D0は摂取後15分後に急激に血糖値が上昇し, 45分後まで減少後, 120分後まではほぼ一定の値で推移した. 一方, D1およびD2は摂取15分後の血糖値 (115±16 mg/dl, 109±7 mg/dl) がD0のそれ (130±15 mg/dl) に比べ有意 ($p<0.05$) に低値であった. また, D2は摂取30分後でも血糖値はD0のそれよりも有意 ($p<0.05$) に低値であることが示された. さらに, D0のGI (62±51.2) に比べてD1とD2のそれはそれぞれ16.1%および17.7%低値 (52±30.3, 51±32.5) を示した [Fig. 1 (C)].

(2) 小麦・ライ麦配合ケーキの血糖上昇抑制効果

ケーキの場合 (B) はいずれの試料も摂取後15分後に急激に血糖値が上昇し, 45分後まで減少後, 120分後まではほぼ一定の値で推移し, 試料間の大きな違いが見られないの

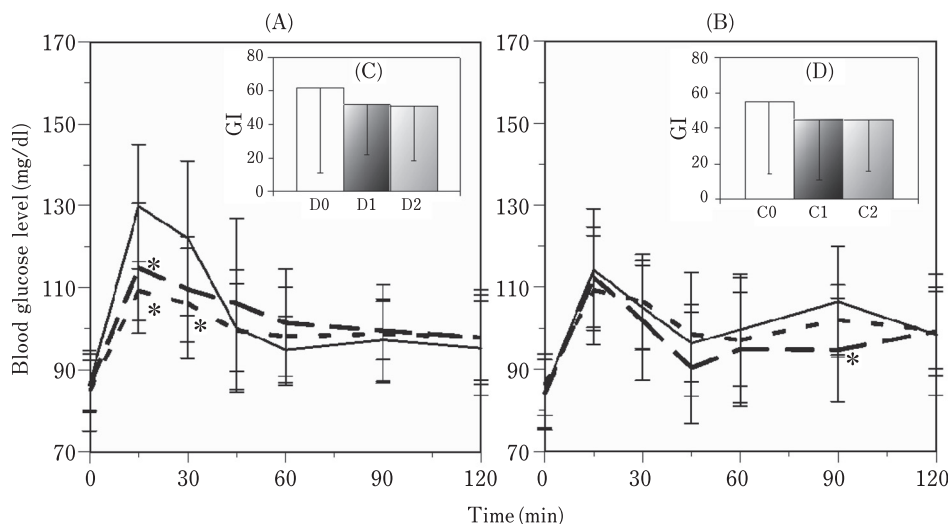


Fig. 1 Effect of three doughnuts (A) and pound cake (B) products on blood glucose level after loading of 50 g of sugars in healthy subjects

Results are expressed as mean \pm SD ($n=10$). * : $p < 0.05$ vs. control groups (D0 and C0). Age of subjects : 20.3 ± 1.6 ; Ratio of subjects : male, 3; female, 7; BMI of subjects : male, 19.9 ± 1.5 ; female, 21.3 ± 1.8 . (C) : GI of three doughnuts products, (D) : GI of three pound cake products. See Table 1 for D0, D1, D2, C0, C1 and C2. D0, C0 : —, D1, C1 : - - -, D2, C2 : - - -.

Table 3 Macronutrient composition of three doughnuts and pound cake products

		D0	D1	D2	C0	C1	C2
Energy	(kcal)	328	349	330	456	530	526
Serving size	(g)	94.9	100.4	87.1	114.4	129.5	126.6
Total CHO	(g)	51.6	52.9	55.1	51.4	52.6	54.4
Available CHO	(g)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Protein	(g)	8.1	8.5	5.4	7.2	10.6	8.4
Lipid	(g)	9.9	11.5	9.8	24.6	30.8	30.5
Dietary fiber	(g)	1.6	2.9	5.1	1.4	2.6	4.4

50 g available carbohydrate was provided in six trials ; $n=10$. CHO : carbohydrate.

Available CHO = total CHO - total dietary fiber.

See Table 1 for D0, D1, D2, C0, C1 and C2.

が特徴であった。また C1 は摂取 90 分後の血糖値 (95 ± 13 mg/dl) が C0 のそれ (106 ± 14 mg/dl) に比べ有意 ($p < 0.05$) に低い傾向が示された。また、C0 の GI (55 ± 40.9) に比べて C1 と C2 のそれは共に 18.2% 低値 (45 ± 33.9 , 45 ± 29.5) を示した [Fig. 1 (C)]。しかし、本研究で得られたドーナツ (D1 と D2) とケーキ (C1 と C2) の GI の対照 (D0 と C0) に対する低下度合いはおからドーナツやおからケーキのそれら¹²⁾ (26.3% , 39.1%) よりも低かった。これは主原料や配合の違いが一因と考えられる。

炭水化物にタンパク質が添加された食品を摂取した場合、炭水化物単独の食品を摂取した場合よりも食後の血糖上昇が弱められ、そのことがインスリン分泌と関連していると報じられている¹³⁾¹⁴⁾。また Schenk ら¹⁵⁾ は朝食シリアルであるブラン・シリアルとコーンフレークを用いて GI を測定したところ、前者の GI が後者のそれに比べて有意に低く、その原因は食後初期の急速なインスリン分泌による

と報じている。またこのインスリン分泌はブラン・シリアルに含まれるタンパク質と炭水化物の相互作用が原因と推察している。本研究で実施した小麦・ライ配合ドーナツとケーキの多量養素組成を Table 3 に示す。Schenk ら報じたメカニズムと比較すると、ドーナツの場合、D1 と D2 のタンパク質と炭水化物の量を D0 のそれらと比較すると、D1 のタンパク質量 (8.5 g) は D0 それ (8.1 g) と類似した値であるが、D2 のそれ (5.4 g) は明らかに低い。そのためタンパク質と炭水化物の相互作用によってインスリンの分泌が刺激され、食後の血糖上昇が緩やかになるという Schenk らの結果¹⁵⁾ やおからケーキやドーナツでの結果¹²⁾ とは作用が異なると考えられた。

一般にドーナツとケーキでは使用している小麦粉の種類や小麦粉とライ麦粉の配合量、油調および焼成など調理方法の違いで加工形態が異なる。Katri ら¹⁶⁾ はライ麦と小麦配合パンの構造的な違いが食後のインスリン分泌が低い原

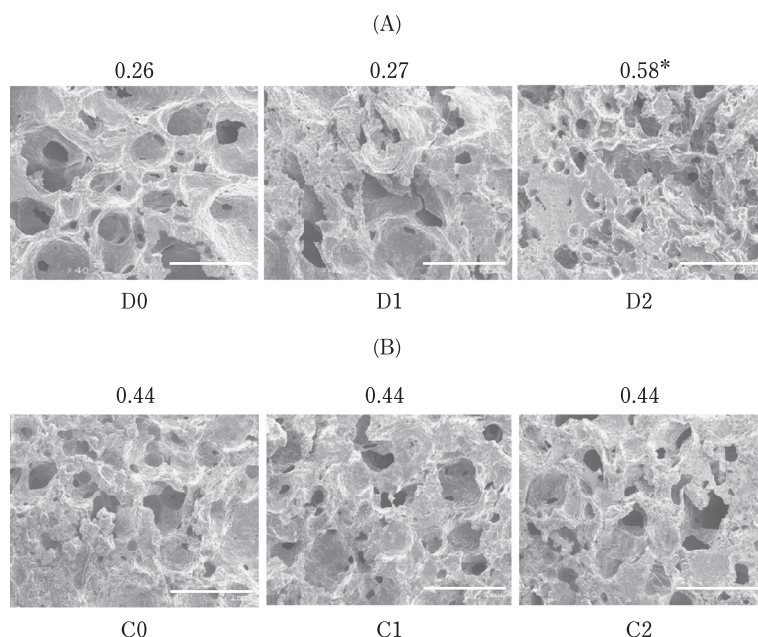


Fig. 2 Scanning electron microscopic observation of doughnuts (A) and pound cake (B) products
Scale bar : 1 mm. Upper figure indicates density (ρ , g/cm³), which is expressed as mean. See Table 1 for D0, D1, D2, C0, C1 and C2). * : $p < 0.05$ vs. control groups (D0 and C0).

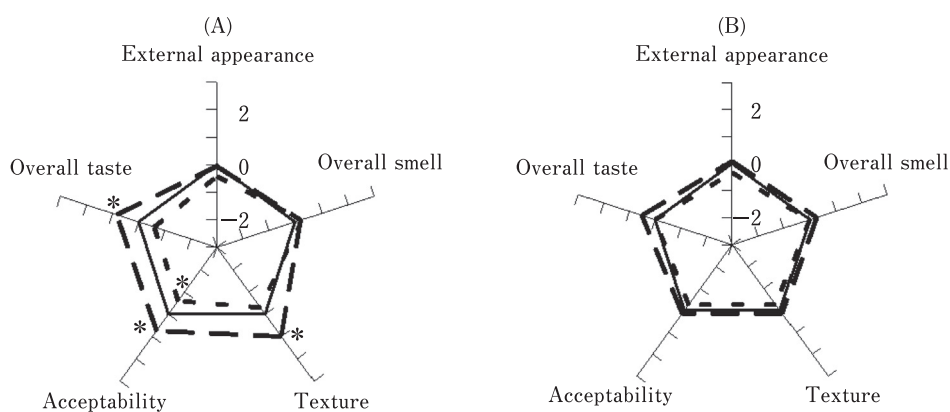


Fig. 3 Sensory palatability of three doughnuts (A) and pound cake (B) products

Results are expressed as mean ($n=43$). * : $p < 0.05$ vs. control groups (DO and CO). Age of panels : 19.4 ± 0.9 ; Ratio of panels : male, 7; female, 37.

See Table 1 for DO, D1, D2, CO, C1 and C2. DO, CO : —, D1, C1 : - -, D2, C2 : - · - ·.

因の一つであると報じている。すなわち、焼成後のライ麦と精白パンで連続的な基質（マトリックス）とデンプン粒の構造が異なっており、飲み込む前の粒子サイズが精白パンよりライ麦パンで大きいため加水分解の速度が遅い¹⁷⁾。また精白パンではデンプンは果粒の内側に残存しておりゼラチン化するためアミラーゼによって容易に加水分解される。一方、ライ麦パンの場合、アミロースが浸出していて、デンプン粒を覆っている。このことはデンプンがアミラーゼによる加水分解に抵抗性がある理由である¹⁸⁾。本研究の結果と関連づけると、ドーナツではライ麦全粒粉配合すると、デンプンが消化酵素の作用を受けにくい構造のままで

あるが、ケーキはライ麦全粒粉を含んでいてもデンプンは消化酵素の作用を受けやすい構造に変化した可能性が考えられる。詳細は目下検討中である。また、久野ら¹⁹⁾は組み合わせる食品による違いも示唆していることから、本研究でのドーナツ製造時の小麦粉やライ麦粉の含有量、加工形態および他の食材との組み合わせにより血糖値に違いが生じた可能性もある。著者らは密度 (ρ , g/cm³) を測定したところ、ドーナツではD0 (0.26) と比較してD1 (0.27) は類似していたが、D2 (0.58) は有意に ($p < 0.05$) 高かった。次に微細構造をSEMで観察したところ、D0とD1では気泡が大きくかつ多く全体が膨らんでいる様子が観察された

が、D2は気泡が少なく、組織が密集した様子が観察された。すなわちD2はD0とD1に比べて押しつぶされた硬い構造になっていることが確認された (Fig. 2)。このような押しつぶされた構造も食後の血糖上昇抑制に影響していると考えられる。また押しつぶされた構造に特徴のあるライ麦パンのGIは41~62と低い²⁰⁾。一方、ケーキでは密度も微細構造にも試料間に著しい違いは認められなかった (Fig. 2)。さらに、朝食シリアル中の不溶性食物繊維は食欲を減少させ、食後75分後の血糖上昇を抑制すると報じられている²¹⁾。ライ麦全粒粉は不溶性食物繊維を多く含む²²⁾ (10.1g/100g) ことからドーナツやケーキに配合した場合、食後の血糖上昇の抑制に影響している可能性も考えられる。本研究では食後90分後に小麦全粒粉配合ケーキで対照ケーキに比べて血糖上昇抑制効果がみられた [Fig. 1 (B)] ことから、小麦全粒粉に含まれる不溶性食物繊維の食欲を減少させる効果も考えられるが、詳細は不明である。今後は糖尿病予防にいかせる小麦・ライ麦配合ベーカリー製品の加工形態について不溶性食物繊維などの成分調査、走査型電子顕微鏡による微細構造観察²³⁾ および光学顕微鏡による組織切片観察¹⁶⁾ を追跡していく必要があると思われる。

3. 小麦・ライ麦配合ドーナツおよびケーキの嗜好性

(1) 小麦・ライ麦配合ドーナツの嗜好性

ドーナツの場合 (A)、D0に比べてD1は外観、匂いは同じであったが、味、食感および受容性が有意に ($p < 0.05$) 高いことが分かった (Fig. 3)。しかし、D2はD0に比べて外観、匂い、味および食感は同じであったが、受容性が有意に ($p < 0.05$) 低かった。官能的特質を調査したところ、D2はD0に比べてざらつき感が強く、ふわふわ感が低く、かつぼろぼろした食感であった²⁴⁾。このことがD2の受容性が低い一因と考えられる (結果は図示せず)。

(2) 小麦・ライ麦配合ケーキの嗜好性

ケーキの場合 (B)、C1およびC2のいずれも外観、匂い、味、食感および受容性においてもC0に比べて有意な違いはみられなかった (Fig. 3)。ドーナツの受容性をみると、小麦全粒粉配合ドーナツが高く、ライ麦配合ドーナツが低い傾向にあり、おから含有ドーナツでは前者の結果と類似していた²⁾。したがって、嗜好性には主原料や加工形態の違いが影響すると考えられた。

要 約

本研究では、食物繊維を多く含むライ麦を使用し、加工形態をドーナツやケーキとして、食後血糖値の上昇抑制効果および嗜好性について検討した。結果を下記に示す。

1. 小麦全粒粉、ライ麦全粒粉を配合した各ドーナツ、ケーキの50g糖質相当量摂取前後から得られた血糖値においてドーナツの小麦全粒粉ドーナツ (D1)、ライ麦全粒粉ドーナツ (D2) ではプレーンドーナツ (D0) よ

りも有意に低値であった。

2. ケーキではプレーンケーキ (C0) に対し、小麦全粒粉ケーキ (C1) が有意に低値であった。
3. 密度はドーナツではD0に比べD2有意に高く、気泡が少なく、押しつぶされた構造であった。ケーキでは密度には違いが認められなかった。
4. 嗜好性を調査したところ、ドーナツはD1の方がD2よりも好まれたのに対し、ケーキでは試料間に違いがみられなかった。

以上の結果から、小麦全粒粉やライ麦全粒粉を配合したドーナツおよびケーキに含まれる食物繊維量¹⁸⁾ や加工形態の違い¹⁶⁾ によって食後血糖値の上昇抑制効果や嗜好性が異なるため、糖尿病予防食として利用するためには主原料に合った加工形態の選択が重要と考えられる。

本研究は財団法人エリザベス・アーノルド富士財団平成21年度研究助成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国内産小麦粉およびライ麦の選択にご助言いただいた江別製粉(株)新田敏晃氏に深謝します。

文 献

- 1) 船津保浩, 西村由紀子, 石下真人, 上馬場和夫, 西尾由紀夫, 寺島晃也, 眞船直樹, 日本食品科学工学会誌, **51**, 367-372 (2008).
- 2) 船津保浩, 西村由紀子, 白砂いづみ, 西尾由紀夫, 上馬場和夫, 石下真人, 眞船直樹, *New Food Industry*, **55**, 55-62 (2009).
- 3) 上馬場和夫, 許 鳳浩, 小川弘子, 仲井培雄, 西尾由紀夫, おからを使った特製パンの機能性に関するランダム化比較試験, *東方医学*, **22**, 1-9 (2006).
- 4) 「五訂増補版食品標準成分表」, (社)全国調理師養成施設協会編, 大日本印刷, pp.36-45 (2006).
- 5) 船津保浩, 眞船直樹, 金田 勇, 西尾由紀夫, 国産ライ麦と小麦とを複合したパンの嗜好性と血糖上昇抑制効果に関する研究, 「平成20年度報告書」, 財団法人エリザベス・アーノルド富士財団, pp.26-43 (2009).
- 6) 「五訂日本食品標準成分表分析マニュアルの解説」, 社団法人資源協会編, p.1 (1997).
- 7) 「五訂日本食品標準成分表分析マニュアルの解説」, 社団法人資源協会編, p.42 (1997).
- 8) 「五訂日本食品標準成分表分析マニュアルの解説」, 社団法人資源協会編, p.18 (1997).
- 9) 「五訂日本食品標準成分表分析マニュアルの解説」, 社団法人資源協会編, p.13 (1997).
- 10) 「五訂日本食品標準成分表分析マニュアルの解説」, 社団法人資源協会編, pp.31-34 (1997).
- 11) 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).
- 12) 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).
- 13) van Loon, L.J.C., Saris, W.H.M., Verhagen, H. and Wagenmaker, A.J.M., Plasma insulin responses after ingestion of different amino acid or protein mixtures with carbohydrate. *Am. J. Clin. Nutr.*, **72**, 96-105 (2000).
- 14) Spiller, G. A., Jensen, C. D., Pattison, T. S., Chuncck, C. S., Whittam, J.H. and Scala, J., Effect of protein dose on serum glucose plus various proteins in type II diabetic subjects. *Am. J. Clin. Nutr.*, **46**, 474-480 (1987).
- 15) Schenk, S., Davidson, C.J., Zderic, T.W., Byerley, L.O. and Coyle E.F. Different glycemic indexes of breakfast cereals are not due to glucose entry into blood but to glucose removal by tissue. *Am. J. Clin. Nutr.*, **78**, 742-748 (2003).
- 16) Katri, S.J., David, E.L., Karin, A., Leo, K.N., Jens, J.H., Kari, E. S., Kirsi, H. L., Kaisa, S. P. and Hannu, M. M., Structural differences between rye and wheat breads but not total fiber content may explain the lower postprandial insulin response to rye bread. *Am. J. Clin. Nutr.*, **78**, 957-964 (2003).
- 17) Brand, J.C., Foster, K.A.F., Crossman, S. and Truswell, A.S., The glycemic and insulin indices of realistic meals and rye breads tested in healthy subjects. *Diab. Nutr. Metab.*, **3**, 137-142 (1990).
- 18) Liljeberg, H. and Bjorck, I., Bioavailability of starch in bread products. Postprandial glucose and insulin responses in healthy subjects and in vitro resistant starch content. *Eur. J. Clin. Nutr.*, **48**, 151-163 (1990).
- 19) 久野(永田)一恵, 原口美和, 食品の組み合わせが健常な大学生の食後血糖値に及ぼす影響, 栄養学雑誌, **55**, 27-28 (1997).
- 20) Foster-Powell, K., Holt, S.H. and Brand-Miller, J.C., International table of glycemic index and glycemic load values : 2002. *Am. J. Clin. Nutr.*, **76**, 5-56 (2002).
- 21) Samra, R.A. and Anderson, G.H., Insoluble cereal fiber reduces appetite and short-term food intake and glycemic response to food consumed 75 min later by healthy men. *Am. J. Clin. Nutr.*, **86**, 972-979 (2007).
- 22) 香川芳子監修, 「食品成分表 2013」, 第1版 (女子栄養大学出版部, 東京), pp.6-20 (2013).
- 23) 永井鞆江, 今村ひとえ, 走査型電子顕微鏡観察によるファイバーブレッドの組織構造について, 家政学雑誌, **32**, 639-644 (1981).
- 24) 船津保浩, 眞船直樹, 西尾由紀夫, 加工形態の異なる国内産ライ麦・小麦配合したパン類の嗜好性と血糖上昇抑制効果, 「平成21年度報告書」, 財団法人エリザベス・アーノルド富士財団, pp.26-39 (2010).
- (平成27年4月15日受付, 平成27年6月1日受理)