

## 研究ノート

粒度の異なる高 $\beta$ -グルカン大麦含有パンの摂取が食後血糖値に及ぼす影響

金本郁男<sup>1\*</sup>, 小山智美<sup>1</sup>, 村田 勇<sup>1</sup>, 井上 裕<sup>1</sup>, 神山紀子<sup>2</sup>,  
一ノ瀬靖則<sup>2</sup>, 小前幸三<sup>2</sup>, 柳沢貴司<sup>2</sup>, 青江誠一郎<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 城西大学薬学部医薬品安全性学研究室

<sup>2</sup> 国立研究開発法人農研機構次世代作物開発研究センター

<sup>3</sup> 大妻女子大学家政学部食物学科

Effect of Ingestion of High  $\beta$ -glucan Barley Breads with Different Particle Size on Postprandial Blood Glucose Levels

Ikuko KANAMOTO<sup>1\*</sup>, Satomi KOYAMA<sup>1</sup>, Isamu MURATA<sup>1</sup>, Yutaka INOUE<sup>1</sup>, Noriko KOHYAMA<sup>2</sup>,  
Yasunori ICHINOSE<sup>2</sup>, Kozo KOMAE<sup>2</sup>, Takashi YANAGISAWA<sup>2</sup>, Seiichiro AOE<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Drug Safety Management, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Josai University

<sup>2</sup> Institute of Crop Science, NARO

<sup>3</sup> Department of Food Science, Faculty of Home Economics, Otsuma Women's University

The purpose of this study was to examine the effect of the ingestion of barley breads baked using high  $\beta$ -glucan barley flour of different particle sizes on the postprandial glucose response. The results were collected using a randomized crossover study involving 13 healthy adults with normal fasting blood glucose levels. Each subject sampled three breads containing the same amount (50 g) of carbohydrates. The breads used were a wheat bread and two kinds of barley bread that were prepared with Beau Fiber, a  $\beta$ -glucan-rich barley flour, using large and small particle size samples (LBF and SBF), respectively. Blood glucose levels were measured before the meal and at 15, 30, 45, 60, 90, and 120 min after starting the meal. The same test was conducted twice beforehand, but with the subjects drinking 50 g of glucose in water instead of eating bread. Both the barley breads yielded lower glycemic index values and maximum blood glucose concentrations than the wheat bread. The glycemic index values of the barley breads made from LBF and SBF were  $75.9 \pm 7.0$  and  $68.2 \pm 5.7$  (mean  $\pm$  standard error), respectively. The incremental area under the curve (IAUC) for SBF was significantly lower than that observed for the glucose solution, whereas no significant variation was observed for LBF. The tests confirmed that, compared to wheat bread, breads containing 30% high  $\beta$ -glucan barley flour yield lower postprandial blood glucose levels, and the reduction in the IAUC may be more prominent in SBF bread than in LBF bread.

**Key Words :** High  $\beta$ -glucan barley, Particle size, Blood glucose, Glycemic index

グライセミック指数 (glycemic index ; GI) とは、ある食品を糖質 50 g 相当量摂取した時の血糖値の上昇度合いを基準食と比較して間接的に表現する数値である。GI 値が低い食品の摂取は、高い食品の摂取に比べて肥満、インスリン抵抗性、2 型糖尿病のリスク低減に有効とされている<sup>1,3)</sup>。前向きコホート研究によれば、高 GI パンを低 GI パんに置き換えると、2 型糖尿病のリスクが低減する可能性があることを示した<sup>4)</sup>。低 GI 食の摂取は、体重増加の抑制<sup>5)</sup>、膵臓 $\beta$ 細胞の機能低下ならびにインスリン抵抗性を改善するためと説明されている<sup>1,3)</sup>。

血糖応答に及ぼす食品の効果を検証した研究の中で、主食であり主要な炭水化物源である穀物を扱った研究が多い。穀物の摂取が GI 値に及ぼす因子として、穀物中の粒子サイズ、食物繊維の質と量、粘度、アミロースとアミロペクチン量が影響することが報告されている<sup>5)</sup>。粒子サイズと GI 値の関係について調べた研究によれば、小麦粉の場合、粒子サイズが大きい食品の方が小さい食品に比べて GI 値が低くなり、全粒小麦粉の場合は最も GI 値が低かったと報告されている<sup>6)</sup>。全粒オート麦を用いて血糖応答を調べた研究においても、粒子サイズを小さくすると、血糖

\* Corresponding author  
〒350-0295 埼玉県坂戸市けやき台 1-1 (1-1 Keyakidai, Sakado-shi, Saitama 350-0295, Japan)  
E-mail kanamoto@josai.ac.jp

応答が上昇すると報告されている<sup>7)</sup>。

大麦は主食である穀物の中でも非常に多くの食物繊維、特に水溶性食物繊維である $\beta$ -グルカンを含んでいる。大麦 $\beta$ -グルカンは、米国やEUなどで血中コレステロール濃度の正常化と心臓病のリスクを低減する健康強調表示が許可されており、1日3 g以上の摂取が推奨されている<sup>8,9)</sup>。日本でも、健康食品の普及啓発活動を行う公益財団法人日本健康・栄養食品協会が「コレステロールの正常化」、「食後血糖値の上昇抑制」、「満腹感の維持作用」において $\beta$ -グルカンは有効であるとしており、生活習慣病を予防・改善する役割を持つ栄養素として評価されている<sup>10)</sup>。大麦は、一般的には麦ご飯として粒の形態で $\alpha$ 化して食される場合が多く、大麦粉として利用される食品はまだ日本では少なく、大麦粉を配合したパンのGI値に関する報告も少ない。

そこで本研究では、 $\beta$ -グルカンが豊富な大麦粉を配合したパンについて Glycemic Index (GI) を測定するとともに、大麦粉の粒度を変えることによって食後血糖値がどのように変化するかを検討した。

## 実験方法

### 1. 対象

健康な成人13名（男性6名（年齢:  $23.5 \pm 1.8$  歳, 身長:  $175.5 \pm 4.6$  cm, 体重:  $71.3 \pm 6.3$  kg, BMI:  $23.2 \pm 2.4$  kg/m<sup>2</sup>, 空腹時血糖:  $88.0 \pm 3.6$  mg/dL) および、女性7名（年齢:  $23.1 \pm 0.9$  歳, 身長:  $158.1 \pm 4.3$  cm, 体重:  $49.6 \pm 2.9$  kg, BMI:  $19.8 \pm 0.9$  kg/m<sup>2</sup>, 空腹時血糖:  $82.7 \pm 5.4$  mg/dL)）を被験者として試験を行った。

### 2. 試験食

①ブドウ糖（ブドウ糖「ヨシダ」、吉田製菓株式会社）50 g を水で溶解し全量 200 mL としたブドウ糖液（GS）、②小麦粉食パン（WF）、③従来の大麦品種（3-4%）の2倍以上の $\beta$ -グルカンを含有（約10%）する高 $\beta$ -グルカン品種であるビューファイバー（BF）<sup>11)</sup>を高粒度（平均粒子径 79.6  $\mu$ m/レーザー回折式粒子径分布測定装置 HELOS にて測定）に調製した大麦粉（LBF）を30%配合した食パン（LBF30%）、④BFを低粒度（平均粒子径 28.2  $\mu$ m）に調製した大麦粉（SBF）を30%配合した食パン（SBF30%）、以上の4種類を試験食とし、②～④は水200 mLと同時に摂取した。試験に用いたBF大麦粉（H25年愛知県産BFの60%搗精麦を製粉）は、豊橋糧食工業株式会社より購入し、小麦粉（グルテン含量の違いによる製パン適性を考慮してゆめちから100を大麦パンに使用、ゆめちからブレンドを小麦パンに使用）は江別製粉株式会社（江別市、北海道）より購入した。BF大麦粉は、豊橋糧食工業（豊橋市、

愛知県）にて冷却性能の異なる2台の気流式粉碎機で処理し、LBFとSBFとした。大麦粉の粒度分布をFig. 1に示す。LBF30%、SBF30%ともに10%のグルテンを添加し、食パンの製造をピーターパン並木店（茨城県つくば市）に委託した。各食パンの配合をTable 1に、各試験食の熱量および栄養成分をTable 2に示した。水分は常圧加熱乾燥法、タンパク質はケルダール法（タンパク質換算係数5.83）、脂質は酸分解法、灰分は直接灰化法、総食物繊維は酵素-重量法にてそれぞれ分析した。各食パンの $\beta$ -グルカン量はWFで0.36 g, LBF30%で2.25 g, SBF30%で2.11 gであった。 $\beta$ -グルカンの定量に際しては、同一条件で食パンを凍結乾燥及び粉碎し、試料の調製を行った。試料は、Mixed-linkage beta-Glucan assay kit（Megazyme 社製）を用いて定量した。なお、 $\beta$ -グルカンの定量値に関する許容レベルの変動は無いが、水溶性食物繊維の定量値が $\pm 20\%$ の許容レベルの変動であるため、LBF30%およびSBF30%の $\beta$ -グルカン量も誤差範囲内で同一であると判定した。

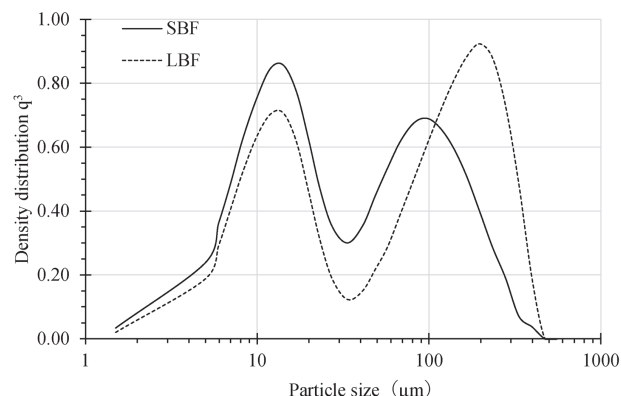


Figure 1 Particle distribution of large and small particle sized barley flour.

Table 1 Test bread composition

|                                     | (%) |        |        |
|-------------------------------------|-----|--------|--------|
|                                     | WF  | LBF30% | SBF30% |
| Barley flour (High $\beta$ -glucan) |     | 30     | 30     |
| Wheat flour                         | 100 | 60     | 60     |
| Gluten                              |     | 10     | 10     |
| Sugar                               | 5   | 5      | 5      |
| Raw yeast                           | 2   | 2.5    | 2.5    |
| Shortening                          | 2.5 | 2.5    | 2.5    |
| Lard                                | 2.5 | 2.5    | 2.5    |
| Milk powder                         |     | 2      | 2      |
| Salt                                | 2   | 2      | 2      |
| Water                               | 70  | 78     | 78     |

Ingredients are expressed in baker's percentage.

WF: Bread made from wheat flour

LBF30%: Bread made from 30% of barley flour with large particle size and 60% of wheat flour

SBF30%: Bread made from 30% of barley flour with small particle size and 60% of wheat flour

**Table 2** Amounts and nutrient components of the test foods

|                   | GS    | WF    | LBF30% | SBF30% |
|-------------------|-------|-------|--------|--------|
| Energy (kcal)     | 200.0 | 283.0 | 330.0  | 326.0  |
| Weight (g)        | 271.5 | 107.0 | 133.0  | 134.0  |
| Net CHO (g)       | 50.0  | 50.2  | 48.1   | 47.5   |
| Fat (g)           | 0.0   | 4.4   | 6.3    | 6.0    |
| Protein (g)       | 0.0   | 9.4   | 17.2   | 17.2   |
| Dietary fiber (g) | 0.0   | 2.1   | 6.4    | 6.6    |

GS:Glucose solution

WF:Bread made from wheat flour

LBF30%:Bread made from large particle size Beau Fiber<sup>11)</sup> 30%SBF30%:Bread made from small particle size Beau Fiber<sup>11)</sup> 30%

### 3. 試験スケジュール

試験はランダム化クロスオーバー法に従って行った。被験者には試験前日 21 時から試験当日の朝まで水分以外の食物摂取を禁じ、通常の活動以外の運動も制限した。月経期間中は試験を行わなかった。試験食は 15 分以内に完食するように指示し、試験食摂取後は、試験終了まで食物摂取を禁じて静かに過ごすよう指導した。試験食の摂取スケジュールを Fig. 2 に示した。

GS、または各種パンと水 200 mL の摂取を開始する直前の血糖値を空腹時血糖値 (0 分値) とし、試験食摂取後 15, 30, 45, 60, 90, 120 分の合計 7 回、指先を穿刺し、血糖値を酵素法 (グルテスト Neo アルファ、三和化学株式会社) で測定した。1 回の穿刺で血糖測定を 2 回行い、2 つの測定値の差が 10 mg/dL 以上ある場合は 3 回目も測定した。本測定器は、ISO 15197 の規格を満たし、十分な基本性能を有している<sup>12)</sup>。

### 4. 統計解析

試験食摂取後の経時的な血糖値から 0 分値を差し引いた値をそれぞれの時間における  $\Delta$  血糖値とした。試験食摂取開始後 120 分までの血糖値推移の最高値を  $\Delta C_{\max}$ 、 $\Delta C_{\max}$

到達時間を  $T_{\max}$  とし、血糖上昇曲線下面積 (Incremental area under the curve : IAUC) は、台形公式により算出し、血糖値の動態学的パラメーターとした。GI 値は、各種パン摂取時の IAUC を GS 摂取時の IAUC で除し、100 を掛けた値を用いた。GS を摂取した場合と各種パンを摂取した場合の各々における食後血糖値の時間的推移と動態学的パラメーターの差について、Tukey-Kramer の多重比較検定を行い、両側検定で危険率 5% 未満を有意な差があるとした。

### 5. 倫理的配慮

被験者には研究目的、研究内容、倫理的配慮について書面を渡して説明し、インフォームドコンセントを得たのち、試験を実施した。本研究の実施に先立ち、城西大学生命科学研究倫理審査委員会の承認を得た。(承認番号：城西大学生命科学研究倫理審査委員会 H26-23)

### 実験結果

試験食摂取後の  $\Delta$  血糖値の推移を Fig. 3 に示す。食後 15 分、30 分値において、LBF30%、SBF30% とともに GS に比較して有意に低値を示した。45 分値では、SBF30% のみ GS に比較して有意に低値を示した。さらに、食後 30 分値において WF に比較して SBF30% のみ  $\Delta$  血糖値が有意に低値を示した。

血糖値の動態学的パラメーターを Table 3 に示す。SBF30% は、LBF30% とともに、GS に比較して  $\Delta C_{\max}$ 、GI、50 g に換算した GI (normalized GI) 値いずれも有意に低値を示した。LBF30% および SBF30% の GI 値はそれぞれ  $75.9 \pm 7.0$ ,  $68.2 \pm 5.7$  であり、試験食の糖質量を 50 g に換算した GI (normalized GI) 値は、それぞれ  $78.9 \pm 7.3$ ,  $71.8 \pm 6.0$  となり、両群間に有意差は検出されなかったが、一貫して LBF30% > SBF30% となった。さらに、IAUC は、SBF30% のみ GS に比較して有意差が認められた。

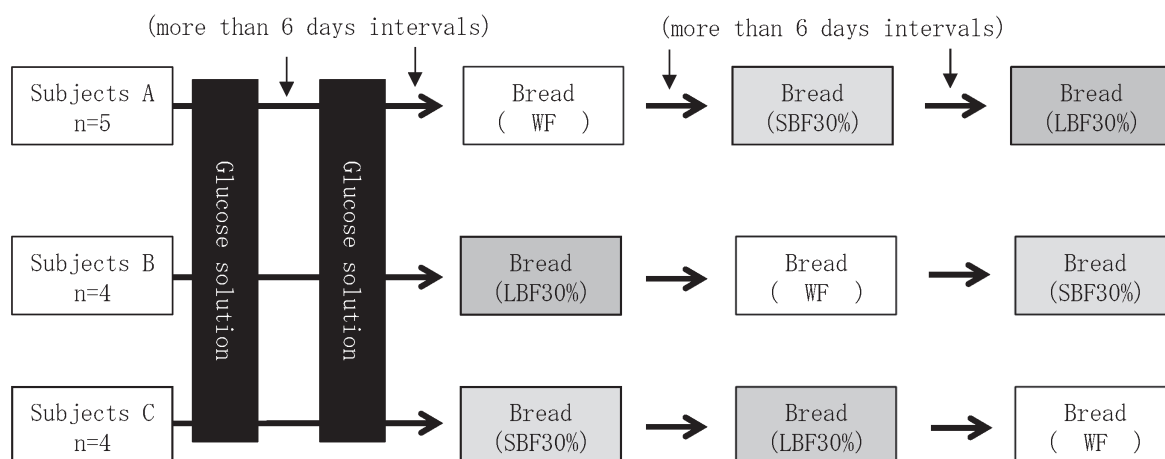
**Figure 2** Schedule of bread intake for randomized crossover design.

Table 3 Kinetic parameters of blood glucose

|        | $\Delta C_{\max}(\text{mg/dL})$ | $T_{\max}(\text{min})$ | IAUC( $\text{mg} \cdot \text{min/dL}$ ) | GI                           | normalized GI (CHO 50 g)     |
|--------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| GS     | 68.3 $\pm$ 5.6 <sup>a</sup>     | 39.2 $\pm$ 2.6         | 4426 $\pm$ 397 <sup>a</sup>             | 100.0 <sup>a</sup>           | 100.0 <sup>a</sup>           |
| WF     | 57.3 $\pm$ 4.4 <sup>ab</sup>    | 39.5 $\pm$ 3.7         | 3279 $\pm$ 336 <sup>ab</sup>            | 80.8 $\pm$ 6.5 <sup>ab</sup> | 80.5 $\pm$ 6.5 <sup>ab</sup> |
| LBF30% | 46.9 $\pm$ 3.1 <sup>b</sup>     | 48.5 $\pm$ 4.5         | 3239 $\pm$ 326 <sup>ab</sup>            | 75.9 $\pm$ 7.0 <sup>b</sup>  | 78.9 $\pm$ 7.3 <sup>b</sup>  |
| SBF30% | 41.9 $\pm$ 3.2 <sup>b</sup>     | 49.1 $\pm$ 5.4         | 2818 $\pm$ 220 <sup>b</sup>             | 68.2 $\pm$ 5.7 <sup>b</sup>  | 71.8 $\pm$ 6.0 <sup>b</sup>  |

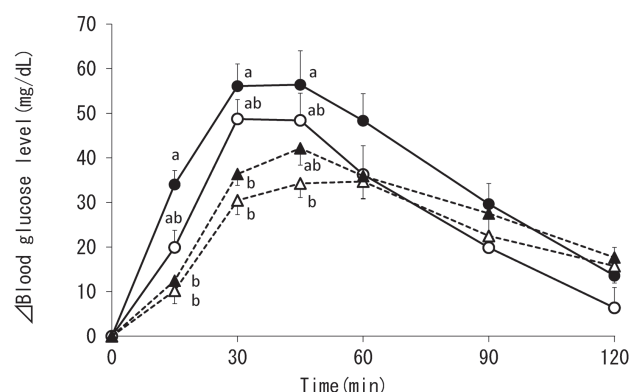
Mean  $\pm$  SE (n=13)Means with different superscript letters are significantly different ( $p < 0.05$ , Tukey-Kramer test).

Figure 3 Incremental blood glucose responses in 13 healthy subjects.

Values are mean  $\pm$  SE (n=13).

●: GS, ○: WF, ▲: LBF30%, △: SBF30%

Means with different superscript letters are significantly different ( $p < 0.05$ , Tukey-Kramer test).

## 考 察

$\beta$ -グルカンが豊富な大麦粉を配合したパンについて Glycemic Index (GI) を測定するとともに、大麦粉の粒度を変えることによって食後血糖値がどのように変化するかを検討した。その結果、いずれの粒度においても大麦粉を配合したパンにおいてグルコース溶液を摂取した場合に比べて、血糖上昇が抑えられ、通常的小麦パンに比べて GI 値が低くなることが示された。本効果は、大麦中の  $\beta$ -グルカンの作用によるものと考えられる。大麦に含まれる  $\beta$ -グルカンの血糖値の上昇抑制効果に関する作用機序として、 $\beta$ -グルカンは体内へ摂取された後に消化管内で強い粘性を持ち、それが糖の拡散を阻害、あるいはアミラーゼとの混合を物理的に阻害することで小腸における体内への消化吸収を遅延させるとされている<sup>13,14)</sup>。体内への糖の吸収および拡散速度が低下するため、血糖値の上昇速度が低下し、曲線下面積が低下したと考えられる。

一方、BF は低粒度に調製することにより IAUC の低下がより顕著になることが示唆された。一般的に、食品中の粒子径が小さい場合、血糖値が上昇する傾向を示す<sup>15)</sup>。しかし本試験においては、LBF よりも SBF の方が GI 値、IAUC などが一貫して低値を示した。その主な要因として、粒子径の違いによる粘性の差異が生じた可能性が考えられ

る。パン特有のもちもち感を出すため、LBF30%、SBF30% とともに添加したグルテンは同量であり、グルテン含量の差異はない。大麦で検討した研究報告はないが、小麦全粒粉を配合したパンにおける検討では、粗い粒子径の外皮粉砕物が混捏により形成されたグルテン膜を脆くすることが報告されており<sup>16)</sup>、これと同様に LBF の大きさと形が影響して、結合したグルテンを破壊した可能性が考えられる。また、SBF においては  $\beta$ -グルカンの抽出量が増大すること<sup>17)</sup>、および粒子径が小さくなることによって水との混合物の粘度が上昇することが報告されており<sup>18)</sup>、 $\beta$ -グルカンの粘度と血糖上昇抑制効果とは有意な相関性があることが示されている<sup>10)</sup>。よって、本研究の SBF においては、安定したグルテン形成がなされ、上部消化管においてゲル化することによって、排泄速度を遅延<sup>19)</sup>させるとともに、粘度が上昇して消化酵素の作用を受け難くなることによって消化吸収がより緩やかになったと推察される。しかしながら、LBF30% と SBF30% との間に群間差が検出されなかったことから、さらに例数を増やして試験する必要がある。今後は小麦グルテンを添加しないパンにおいて、高  $\beta$ -グルカン大麦粉の配合比率や粒子径の違いによる食後血糖値に及ぼす影響を明らかにしていきたい。

## 要 約

$\beta$ -グルカンが豊富な大麦粉を配合したパンについて Glycemic Index (GI) を測定するとともに、大麦粉の粒度を変えることによって食後血糖値がどのように変化するかを検討した。その結果、いずれの粒度においても大麦粉を配合したパンにおいてグルコース溶液を摂取した場合に比べて、血糖値上昇が抑えられ、通常的小麦パンに比べて GI 値が低くなることが示された。さらに、BF は低粒度に調製することにより IAUC の低下がより顕著になることが示唆された。

## 謝 辞

本研究に参加いただきました被験者の方々に深謝いたします。

本研究は、農研機構「機能性を持つ農林水産物・食品開発プロジェクト」により実施した。

## 利益相反

申告すべきものはない。

## 引用文献

- 1) Ludwig DS (2002) The glycemic index: physiological mechanisms relating to obesity, diabetes, and cardiovascular disease. *JAMA* 287:2414-2423.
- 2) Salmeron 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* 20:545-550.
- 3) Willett W, Manson J, Liu S (2002) Glycemic index, glycemic load, and risk of type 2 diabetes. *Am J Clin Nutr* 76:274S-280S.
- 4) Hodge AM, English DR, O'Dea K, Giles GG (2004) Glycemic index and dietary fiber and the risk of type 2 diabetes. *Diabetes Care* 27:2701-2706.
- 5) Hallfrisch J, Facn, Behall KM (2000) Mechanisms of the effects of grains on insulin and glucose responses. *J Am Coll Nutr* 19:320S-325S.
- 6) Holt SH, Miller JB (1994) Particle size, satiety and the glycaemic response. *Eur J Clin Nutr* 48:496-502.
- 7) Susan MT, YiFang C (2015) Systematic review of the effect of processing of whole-grain oat cereals on glycaemic response. *Br J Nutr* 114:1256-1262.
- 8) Food and Drug Administration (2005) Health claims; Soluble fiber from certain foods and risk of coronary heart disease. *Federal Register* 70:76150-76162.
- 9) European Food Safety Agency (2011) Scientific opinion on the substantiation of a health claim related to barley beta-glucans and lowering of blood cholesterol and reduced risk of (coronary) heart disease pursuant to Article 14 of Regulation. *EFSA Journal* 9: 2470.
- 10) 平成 24 年度「食品の機能性評価事業」結果報告,公益財団法人 日本健康・栄養食品協会, <http://www.jhnfa.org/topic146-1.pdf> (2016 年 11 月 1 日)
- 11) 塔野岡卓司, 吉岡藤治, 青木恵美子, 小前幸三, 一ノ瀬靖則, 金子成延, 河田尚之, 吉田めぐみ (2011) 機能性多糖を多く含有する裸性オオムギ新品種「ビューファイバー」の育成. *育種学研究* 13(3):74-79.
- 12) 宇佐美 勝, 立石晃子, 山内真理, 川口 桂, 中野靖子, 日野文子, 池田弘毅, 池田正毅 (2013) カラー液晶を有する新しい血糖自己測定器の性能と操作性の評価-ISO 15197 に準じた検討- *医療と検査機器・試薬* 36 :207-216.
- 13) Thondre, PS, Clegg, ME, Shafat, A (2013) Molecular weight of barley  $\beta$ -glucan influences energy expenditure, gastric emptying and glycaemic response in human subjects, *Br J Nutr* 110:2173-2179.
- 14) 中村カホル, 池上幸江, 滝田聖親, 印南 敏 (1996) 大麦の食後血糖上昇抑制機序に関する研究. *東邦医学会雑誌* 43:157-166.
- 15) O'Dea K (1991) Glucose and Insulin Responses to Carbohydrate Ingestion: Acute and Long-term Consequence. *Obesity: Dietary factors and control* (Romsos DR, Himms Hagen J, Suzuki M, eds) , p.147-157 Japan Scientific Societies Press, Tokyo
- 16) 川原修司 (2013) 表面研削による北海道産麺用小麦の高品質全粒粉を活用したパン製造技術. *日本食品科学工学会誌* 60:266-269.
- 17) 小前幸三, 一ノ瀬靖則, 金子成延, 塔野岡卓司, 青木恵美子, 吉岡藤治 (2010) 高  $\beta$ -グルカン大麦系統「関東裸 91 号」の水溶性  $\beta$ -グルカンの特性解析. *日本作物学会紀事* 79:368-369.
- 18) Izydorczyk MS, Chornick TL, Paulley FG, Edwards NM, Dexter JE (2008) Physicochemical properties of hull-less barley fibre-rich fractions varying in particle size and their potential as functional ingredients in two-layer flat bread. *Food Chemistry* 108:561-570.
- 19) Jenkins DJ, Wolever TM, Leeds AR, Gassull MA, Haisman P, Dilawari J, Goff DV, Metz GL, Alberti KG (1978) Dietary fibres, fibre analogues and glucose tolerance: importance of viscosity. *Br Med J* 27:1392-1394.

(平成 29 年 5 月 11 日 受理)