

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

誌名	育種学研究 = Breeding research
ISSN	13447629
著者名	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
発行元	日本育種学会
巻/号	13巻3号
掲載ページ	p. 74-79
発行年月	2011年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ノート

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

塔野岡卓司^{1,2)}・吉岡藤治^{1,3)}・青木恵美子¹⁾・小前幸三¹⁾・一ノ瀬靖則¹⁾・金子成延¹⁾・河田尚之^{1,4)}・吉田めぐみ^{1,5)}

¹⁾作物研究所, つくば市, 〒305-8518

²⁾現: 農林水産省農林水産技術会議事務局, 東京都千代田区, 〒100-8950

³⁾現: 近畿中国四国農業研究センター, 善通寺市, 〒765-8508

⁴⁾現: 九州沖縄農業研究センター筑後研究拠点, 筑後市, 〒833-0041

⁵⁾現: 九州沖縄農業研究センター, 合志市, 〒861-0092

Breeding of a new hulless barley cultivar “Beau Fiber” containing high levels of functional polysaccharides

Takuji Tonooka^{1,2)}, Toji Yoshioka^{1,3)}, Emiko Aoki¹⁾, Kozo Komae¹⁾, Yasunori Ichinose¹⁾, Shigenobu Kaneko¹⁾, Naoyuki Kawada^{1,4)} and Megumi Yoshida^{1,5)}

¹⁾National Institute of Crop Science, Tsukuba 305-8518, Japan

²⁾Present address: Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Tokyo 100-8950, Japan

³⁾Present address: National Agricultural Research Center for Western Region, Zentsuji 765-8508, Japan

⁴⁾Present address: Lowland Farming Research Station, National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Chikugo 833-0041, Japan

⁵⁾Present address: National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Koshi 861-1192, Japan

キーワード

オオムギ, 機能性多糖, β -グルカン, アラビノキシラン, 大麦粉

1. 育成の背景

日本における国民一人当たりのオオムギの年間消費量は、1960年には8.1 kgであったが、近年では0.3 kg前後で推移している（農林水産省 2010）。イネやコムギなど他の主要穀物と比較すると主食としての地位は低下したが、オオムギ穀粒には食物繊維が豊富に含まれるという特徴があり（文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会 2010）、とくにヘミセルロースの一種である(1-3, 1-4)- β -D-グルカン（以降、 β -グルカンと表記）とアラビノ-(1,4)- β -D-キシラン（以降、アラビノキシランと表記）が多く含まれる（Henry *et al.* 1987）。 β -グルカンには血糖値の上昇抑制（Liljeberg *et al.* 1996, Yokoyama *et al.* 1997, Bourdon *et al.* 1999, Cavallero *et al.* 2002）、血中コレステロールの低減（Newman *et al.* 1989, McIntosh *et al.* 1991, Bourdon *et al.* 1999, Behall *et al.* 2004a, 2004b, Pins *et al.* 2005）、血圧降下作用（Hallfrisch *et al.* 2003, Behall *et al.* 2006）、免疫機能の活性化（Tada *et al.* 2008）などのヒト

における生理機能性があることが報告されている。また、アラビノキシランについても血糖値の上昇抑制（Lu *et al.* 2000）、糖尿病患者の血糖調節機能の改善（Hanai *et al.* 1997, Lu *et al.* 2004）などの生理機能性が報告されている。近年、オオムギ β -グルカンの健康維持機能性に対して世界的に関心が高まっており（Brennan and Cleary 2005）、米国や欧州連合では、 β -グルカンには冠動脈心疾患の予防効果があるとして、オオムギを含む食品にヘルスクレーム（健康強調表示）が認可されている（U.S. Food and Drug Administration 2006, European Food Safety Authority 2009）。日本では食生活の変化により脂肪分の摂取量が増加したが（国立健康・栄養研究所 2011, 厚生労働省 2011）、生活習慣病の罹患率も増加しており、患者数は糖尿病で237万人、高血圧性疾患で797万人、高脂血症で143万人に達する（厚生労働省大臣官房統計情報部 2008）。生活習慣病の予防と改善において、機能性多糖 β -グルカンとアラビノキシランを多く含むオオムギは見直されるべき食材であり、機能性食材としての新たな用途開発とその需要拡大および付加価値強化によるオオムギ作の収益性向上を図るためには、機能性多糖含量がさらに高い品種を開発することが必要である。

しかし、 β -グルカンの合成遺伝子については、近年そ

編集委員：北野英己

2011年3月31日受領 2011年8月10日受理

Correspondence: tohnooka@affrc.go.jp

の候補遺伝子が報告されているものの (Burton *et al.* 2006, Tonooka *et al.* 2009), β -グルカンおよびアラビノキシランの合成や含量の調節に関わる遺伝子はなお不明である。そのため、これらの多糖の高含量化に関する育種においては、DNA マーカー等を用いた効率的な選抜法がなく、定量による選抜しかない状況となっている。一方、オオムギにおいては、モチ性遺伝子 *wax* (Ono and Suzuki 1967) およびモチ性と高アミロース変異遺伝子 *amol* (Eslick and Ullrich 1977) の二重変異、基質 ADP-グルコースをアミロプラストに取り込むトランスポーターの変異遺伝子 *lys5h* (Patron *et al.* 2004) 等のデンプンに関する変異を有する系統では β -グルカン含量が高いことが報告されている (Ullrich *et al.* 1986, Fastnaught *et al.* 1996, Swanston *et al.* 1996, Munck *et al.* 2004)。著者らは、準同質遺伝子系統を用いてこれらの遺伝子が機能性多糖含量に及ぼす効果を解析し、*lys5h* 遺伝子が機能性多糖含量を最も高め、反復親と比較して β -グルカン含量を2倍以上、アラビノキシラン含量を1.5倍に増加させることを明らかにした (塔野岡 2010)。*lys5h* 遺伝子は6H染色体に座乗し、当初は高リジン遺伝子として報告されたが (Jensen and Doll 1979)、その後、ADP-グルコーストランスポーターの変異であることが明らかにされた (Patron *et al.* 2004)。*lys5h* 遺伝子を持つ系統では、デンプンの合成の場であるアミロプラストに基質 ADP-グルコースを取り込む機能が低下するため、デンプン合成量が減少する (Patron *et al.* 2004)。この *lys5h* 遺伝子を利用して機能性多糖含量の高い裸性二条オオムギ系統を育成し、「ビューファイバー」として品種登録出願を行った。ここでは、「ビューファイバー」の品種特性について報告する。

2. 育成の経過

「ビューファイバー」は、皮性の二条オオムギ品種「Carlsberg II」の突然変異系統で *lys5h* 遺伝子を有する「Risø 86」を1回親、「ナンプウハダカ」×「Mona」の交配組合せから1986年に育成された系統で、オオムギ縞萎縮病とうどんこ病に抵抗性を有する裸性の二条オオムギ系統の「四国裸84号」(四国農業試験場1986)を反復親として、世代促進を加えた戻し交配育種法により育成された (図1)。2000年度(播種年度、以下同様)に「四

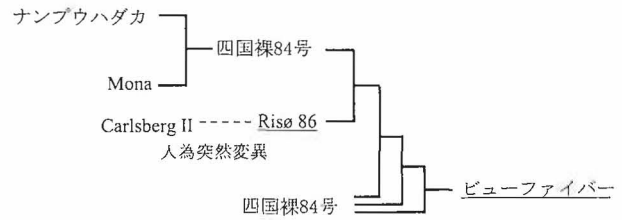


図1. ビューファイバーの育成系譜。下線を付した品種・系統は *lys5h* 遺伝子を持つことを示す。

国裸84号」を母、「Risø 86」を父として交配し、2001年度には F_1 に「四国裸84号」を戻し交配するとともに、温室で14個体の BC_1F_1 を養成し、しわ粒の特性を示す *lys5h* 遺伝子型 BC_1F_2 種子を選抜した。2002年度に80個体の BC_1F_2 を圃場で養成し、植物体の外観が反復親に近似する個体を選抜した。2003年度に温室で BC_1F_3 個体に「四国裸84号」を戻し交配し、 BC_2F_1 にさらに「四国裸84号」を戻し交配するとともに、 BC_3F_1 を養成し、*lys5h* 遺伝子型 BC_3F_2 種子を選抜した。2004年度に120個体の BC_3F_2 を圃場で養成し、6個体を選抜するとともに β -グルカンの定量により高 β -グルカン含量系統であることを確認した。2005年度に BC_3F_3 世代6系統を養成し、1系統を選抜した。2006年度に生産力検定予備試験に供試し、2007年度には「関係 n551」の系統番号で系統適応性検定試験および特性検定試験を実施した。2008～2009年度に「関東裸91号」の系統名にて生産力検定試験および奨励品種決定調査に供試し、2009年度に機能性多糖含量が高いオオムギ新品種「ビューファイバー」として品種登録出願を行った (出願日2010年1月8日、出願番号第24500号)。

3. 「ビューファイバーの特性」

1) 形態的・生態的特性

圃場試験のデータを表1に、株・穂・子実の形態を図2に示す。関東地域における裸性および皮性のそれぞれ主要品種で六条オオムギの「イチバンボン」および「カシマムギ」を比較品種として供試した。「ビューファイバー」の出穂期はこれらの比較品種と同程度の早生であるが、成熟期はやや遅い。稈長はこれらの品種よりもや

表1. 育成地における「ビューファイバー」の生育および収穫物調査成績¹⁾

品種	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	収量 (kg/a)	容積重 (g/l)	千粒重 (g)	整粒歩 合 ²⁾ (%)	原麦デンプン 含量 ³⁾ (%)	原麦外 観品質 ⁴⁾
ビューファイバー	4/12±0.5	5/27±0.5	85±2	8.7±0.8	733±107	46.7±10.9	771±15	34.0±2.0	77.6±13.4	44.8±1.0	7.6±0.6
イチバンボン	4/10±1.2	5/25±0.5	89±1	5.6±0.2	571±125	59.0±6.5	822±9	30.2±0.2	91.1±1.8	62.8±0.3	4.1±0.1
カシマムギ	4/11±1.7	5/24±0.0	90±2	4.7±0.1	577±62	65.6±7.1	707±7	31.0±0.5	95.8±1.7	55.0±0.3	4.5±0.6

¹⁾ 2007～2009年度の平均値±標準偏差。

²⁾ 粒厚2.0mm以上の整粒の割合。

³⁾ Total Starch Assay Kit (Megazyme International, Ireland) により測定。

⁴⁾ 1: 上上～9: 下下の9階級評価。

や短い。「ビューファイバー」は二条オオムギであり、穂数が多く、穂が長い。子実の千粒重は「イチバンボシ」よりも大きい。デンプン含量が「イチバンボシ」比の70%程度であるため充実が劣り、容積重が軽く収量性は劣る。また、整粒歩合が低く、完熟した子実の表面にはしわを生じるため外観品質が劣る。

病害抵抗性および障害耐性を表2に示す。「ビューファイバー」はオオムギ縮萎病ウイルスI・II・III型およびうどんこ病に抵抗性を示す。赤かび病抵抗性に関して、二条性は六条性より強く、閉花受粉性は感染回避の点で開花受粉性よりも有利であるとされている(Yoshida *et al.* 2005)。「ビューファイバー」の赤かび病抵抗性は“やや

強”で、六条性の「イチバンボシ」および「カシマムギ」よりも抵抗性が強い。しかし、「ビューファイバー」は開花受粉性であるため、赤かび病に対する感染抵抗性は劣るものと考えられる。「ビューファイバー」は強稈性であり、耐倒伏性に優れる。「ビューファイバー」は穂発芽しにくい。しかし、「イチバンボシ」よりはやや劣る。

2) 品質特性

「ビューファイバー」の機能性多糖含量のデータを表3に示す。原麦における「ビューファイバー」のβ-グルカン含量は9.6%で、「イチバンボシ」および「カシマムギ」の2倍以上に達する。オオムギ穀粒において、β-グルカ

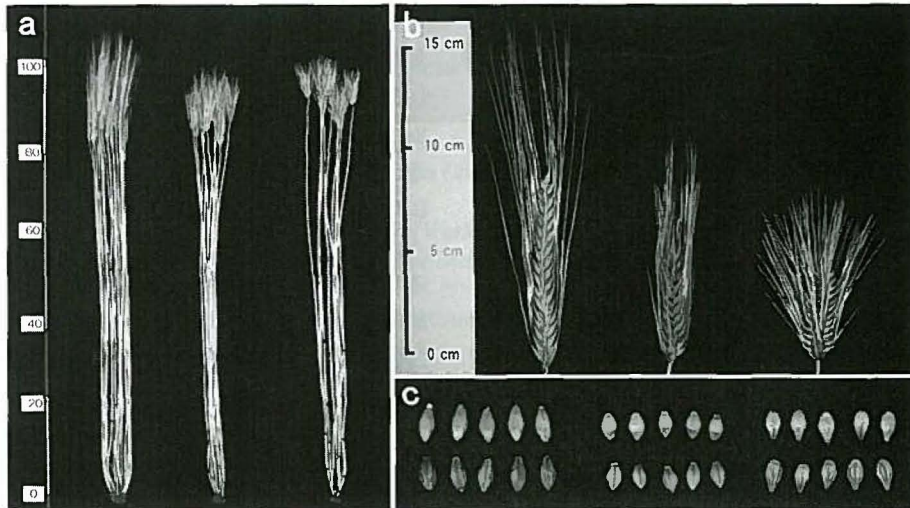


図2. ビューファイバーの穂と粒。(a) 穂。(b) 子実。左よりビューファイバー、イチバンボシ、カシマムギ。

表2. 「ビューファイバー」の病害抵抗性および障害耐性¹⁾

品種	オオムギ縮萎病			うどんこ病	赤かび病	耐倒伏性	穂発芽性
	I型	II型	III型				
ビューファイバー	極強	極強	極強	極強	やや強	極強	難
イチバンボシ	極強	極強	やや強	やや強	やや弱	強	極難
カシマムギ	弱	弱	やや弱	やや強	やや弱	中	極難

¹⁾2007～2009年度の特性検定試験および生産力検定試験における成績により判定。

表3. ビューファイバーの機能性多糖含量¹⁾

品種	原麦		精麦 ²⁾	
	β-グルカン ³⁾ (%)	アラビノキシラン ⁴⁾ (%)	β-グルカン (%)	アラビノキシラン (%)
ビューファイバー	9.6±0.7	7.4±0.2	11.7±0.6	4.9±0.2
イチバンボシ	3.5±0.2	5.8±0.2	3.7±0.2	2.6±0.3
カシマムギ	4.6±0.1	7.7±0.2	5.2±0.1	2.6±0.3

¹⁾2007～2009年度平均値±標準偏差。

²⁾搗精歩留60% (皮麦のカシマムギは55%歩留)。

³⁾Mixed Linkage β-glucan Assay Kit (Megazyme International, Ireland) により測定。

⁴⁾(アラビノース含量+キシロース含量) × 0.88。アラビノースおよびキシロースはそれぞれ Arabinan Assay Procedure, D-xylose Assay Kit (ともに Megazyme International, Ireland) により測定。

ンは胚乳細胞壁構成多糖の75%を占める主要多糖であり (Fincher 1975, 1976, Balance and Manners 1978), 「ビューファイバー」の胚乳は「イチバンボンシ」と比較して多くのβ-グルカン含有している (図3). β-グルカンは糊粉層の細胞壁には少ないため (Bacic and Stone 1981a, 1981b), 搗精すると含量が高くなり, 「ビューファイバー」の精麦では11.7%に達する. 原麦における「ビューファイバー」のアラビノキシラン含量は7.4%で, 「イチバンボンシ」よりも1.5%高く, 「カシマムギ」よりはやや少ない. アラビノキシランは糊粉層に多く含まれるが, 穀皮にも含まれるため (Aspinall and Ross 1963, Bacic and Stone 1981a, 1981b), 裸麦である「ビューファイバー」と「イチバンボンシ」では, 皮麦である「カシマムギ」に比べてアラビノキシランが少ない. 精麦ではいずれの品種とも原麦に比べてアラビノキシラン含量が低下するが, 「ビューファイバー」では4.9%であり, 「イチバンボンシ」「カシマムギ」よりも含量が高い. *lys5h* 遺伝子がβ-グルカンおよびアラビノキシラン含量を高める原因は不明であるが, β-グルカンおよびキシロースはデンプンと同じく (Recondo and Leloir 1961), グルコースを基質として合成される (Bolwell 2000). このため, デンプン合成の基質とならなかった余剰のグルコースの一部が, β-グルカンおよびアラビノキシランの合成経路に転流されて, これらの含量が増加すると考えられる.

食用のオオムギでは, その利用にあたって搗精加工が必要であるため, 精麦品質が重要である. その指標として, 「ビューファイバー」の原麦硬度, 搗精時間, 精麦白度, 砕粒率を表4に示す. 「ビューファイバー」の穀粒は「イチバンボンシ」と比較して硬く, 搗精時間が顕著に長い. 原麦硬度および搗精時間には, 細胞壁多糖であるβ-グル

カンおよびアラビノキシラン含量が関係し (Tohno-oka *et al.* 2004, Gamalath *et al.* 2008), これらの多糖含量は胚乳細胞壁の厚さと関連があると考えられている (塔野岡ら 2010). 「ビューファイバー」においても, β-グルカンおよびアラビノキシランが多いことが穀粒を硬く, かつ搗精時間を長くしていると推察される. 「ビューファイバー」の砕粒率は低いものの硬質で精麦白度が低く, 精麦品質は劣るため, 麦飯等の精麦利用には適していないと判断される.

4. 「ビューファイバー」の用途開発

以上の品質特性を有することから, 「ビューファイバー」の用途としては, 機能性多糖抽出原料や粉食としての利用が想定される. 現在市販されている精製β-グルカンは高価であるが, 「ビューファイバー」を抽出原料用として用いることで製造コストの低減につながると考えられる. 粉体利用にあたり, 皮麦では搗精により穀皮を除去する必要があるが, 「ビューファイバー」は裸麦であるため搗精することなく全粒粉としての利用が可能である. アラビノキシランは糊粉層に多く含まれるため (Bacic and Stone 1981a, 1981b), 「ビューファイバー」を全粒粉に加工することで, β-グルカンだけでなく, アラビノキシラン含量も高い大麦粉を製造することができる. 米国食品医薬品局 (FDA) および欧州食品安全機関 (EFSA) によるオオムギ食品のヘルスクレームでは, 効果があるβ-グルカンの摂取量を1日3g以上と規定している (U.S. Code of Federal Regulations 2006, European Food Safety Authority 2009). これをβ-グルカン含量3~5%の一般的な品種 (加藤ら 1995) を用いて麦飯として摂取すると仮定すると, 精麦混入量20%のものを1日3合程度摂取することになり, 毎日継続するには必ずしも容易な量ではない. 一方, 「ビューファイバー」の大麦粉を用いると, 少量の添加量でも幅広い食品に多くの機能性多糖を付加することが可能となり, β-グルカンの摂取源を広げることができる. 例えば, パンやめん等小麦粉を主原料とする食品に「ビューファイバー」の全粒粉をブレンドして利用すると仮定すると, 添加量15%の場合, 食パン (4枚切り1枚) では約1g, めん (1人前) では約2gのβ-グルカンが摂取できる. 現在, ベーカーリーや菓子および食品製造会社等の協力を得て, ブレンドあるいは単

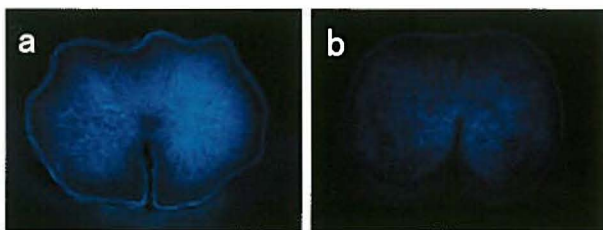


図3. カルコフロールによるβ-グルカンの蛍光染色 (穀粒横断面のUV照射画像). (a) ビューファイバー, (b) イチバンボンシ.

表4. ビューファイバーの精麦品質¹⁾

品種	原麦硬度 ²⁾ (硬度指数)	搗精時間 ³⁾ (秒)	精麦白度 ³⁾ (%)	砕粒率 ³⁾ (%)
ビューファイバー	100.9±2.4	743±44	37.1±1.5	0.5±0.1
イチバンボンシ	71.5±3.1	400±25	44.5±1.7	2.7±0.8
カシマムギ	93.3±4.6	714± 2	43.6±1.6	2.8±0.2

¹⁾2007~2009年度平均値±標準偏差.

²⁾SKCS 硬度計 (Perten Inc., Sweden) により測定.

³⁾搗精歩留60%における測定値 (皮麦のカシマムギは55%歩留).

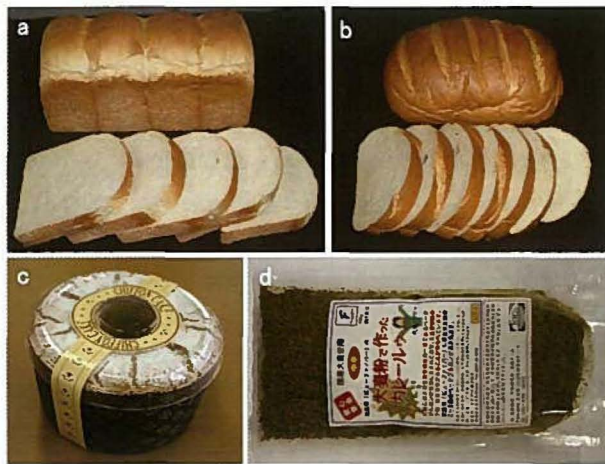


図4. ビューファイバーの全粒粉を用いた食品の試作例。(a, b) パン (15% ブレンド), (c) シフォンケーキ (100% 使用), (d) カレールウ (100% 使用)。

体で利用したパンや菓子類, カレールウなどの試作が進められている (図4)。なお, 「ビューファイバー」は食用オオムギの一般的な用途である精麦用の品種ではないため, 奨励品種としての採用は未定である。一方で, 食品および機能性食材のメーカーから高い関心が多く寄せられており, 付加価値の高い粉食用オオムギとしての需要拡大が期待できるものと考えられる。

謝辞

本品種の育成に当たり, 中央農業総合研究センター業務1, 2, 3科の鈴木宗一, 野口長武, 遠藤治夫, 柳田勉, 山崎公彦, 東誠一, 吉田真樹, 佐藤和彦, 吉岡徹, 入江将樹, 土方猛生, 濱田重彦, 来栖雪生, 小菅昌彦, 雨田一郎, 仁平学, 関義晃 (現: 野菜・茶業研究所) の各氏には栽培管理業務でご尽力いただいた。また, 作物研究所大麦研究関東サブチーム契約職員の相良あつ子, 岡田かほる, 森田美和子, 小畑実香の各氏には品質分析に従事していただいた。本品種の育成に多大な貢献をいただいた各氏に厚く謝意を表す。

本品種の育成は, 農林水産省プロジェクト研究「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発」における成果である。

引用文献

Aspinall, G.O. and K.M. Ross (1963) *J. Chem. Soc.* 1681–1686.
 Bacic, A. and B.A. Stone (1981a) *Aust. J. Plant Physiol.* 8: 453–474.
 Bacic, A. and B.A. Stone (1981b) *Aust. J. Plant Physiol.* 8: 475–495.
 Balance, D.M. and D.J. Manners (1978) *Carbohydr. Res.* 61: 107–118.
 Behall, K.M., D.J. Scholfield and J. Hallfrisch (2004a) *J. Am. Coll. Nutr.* 23: 55–62.
 Behall, K.M., D.J. Scholfield and J. Hallfrisch (2004b) *Am. J. Clin. Nutr.* 80: 1185–1193.

Behall, K.M., D.J. Scholfield and J. Hallfrisch (2006) *J. Am. Diet. Assoc.* 106: 1445–1449.
 Bolwell, G.P. (2000) *Trends Glycosci. Glycotech.* 12: 143–160.
 Bourdon, I., W. Yokoyama, P. Davis, C. Hudson, R. Backus, D. Richter, B. Knuckles and B.O. Schneeman (1999) *Am. J. Clin. Nutr.* 69: 55–63.
 Brennan, C.S. and L.J. Cleary (2005) *J. Cereal Sci.* 42: 1–13.
 Burton, R.A., S.M. Wilson, M. Hrmova, A.J. Harvey, N.J. Shiley, A. Medhurst, B.A. Stone, E.J. Newbigin, A. Bacic and G.B. Fincher (2006) *Science* 311: 1940–1942.
 Cavallero, A., S. Empilli, F. Brighenti and A.M. Stanco (2002) *J. Cereal Sci.* 36: 59–66.
 Eslick, R.F. and S.E. Ullrich (1977) *Barley Genet. Newsl.* 20: 39–45.
 European Food Safety Authority (2009) *EFSA J.* 7: 1254.
 Fastnaught, C.E., P.T. Berglund, E.T. Holm and G.J. Fox (1996) *Crop Sci.* 36: 941–946.
 Fincher, G.B. (1975) *J. Inst. Brew.* 81: 116–122.
 Fincher, G.B. (1976) *J. Inst. Brew.* 82: 347–349.
 Gamlath, J., G.P. Aldred and J.F. Panozzo (2008) *J. Cereal Sci.* 47: 365–371.
 Hallfrisch, J.G., D.J. Scholfield and K.M. Behall (2003) *Nutr. Res.* 23: 1631–1642.
 Hanai, H., M. Ikuma, Y. Sato, T. Iida, Y. Hosoda, I. Matsushita, A. Nogaki, M. Yamada and E. Kaneko (1997) *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 61: 1358–1361.
 Henry, R.J. (1987) *J. Cereal Sci.* 6: 253–258.
 Jensen, J. and H. Doll (1979) *Barley Genet. Newsl.* 9: 33–37.
 加藤常夫・佐々木昭博・武田元吉 (1995) *育雑* 45: 471–477.
 Liljeberg, H.G.M., Y.E. Grandfeldt and I. Bjork (1996) *J. Nutr.* 126: 458–466.
 Lu, Z.X., K.Z. Walker, J.G. Muir, T. Mascara and K. O’Dea (2000) *Am. J. Clin. Nutr.* 71: 1123–1128.
 Lu, Z.X., K.Z. Walker, J.G. Muir and K. O’Dea (2004) *Eur. J. Clin. Nutr.* 58: 621–628.
 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会 (2010) 第2章 日本食品標準成分表 2010. 1 穀類. 日本食品標準成分表 2010. 全国官報販売協同組合, 東京. 34–35.
 McIntosh, G.H., J. Whyte, R. McArthur and P.J. Nestel (1991) *Am. J. Clin. Nutr.* 53: 1205–1209.
 Munck, L., B. Møller, S. Jacobsen and I. Søndergaard (2004) *J. Cereal Sci.* 40: 213–222.
 Newman, R.K., C.W. Newman and H. Graham (1989) *Cereal Foods World* 34: 883–886.
 Ono, T. and H. Suzuki (1967) *Seiken Zihō* 8: 11–19.
 Patron, N.J., B. Greber, B.F. Fahy, D.A. Laurie, M.L. Parker and K. Denyer (2004) *Plant. Phys.* 135: 2088–2097.
 Pins, J., J.M. Keenan, L.L. Curry, M.J. Goulson and L.W. Kolberg (2005) *Prev. Control* 1: 131.
 Recondo, E. and L.F. Leloir (1961) *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 6: 85–88.
 四国農業試験場 (1986) 新系統配付に関する参考成績書 四国裸84号・四国裸85号.
 Swanston, J.S., R.P. Ellis and S.A. Tiller (1996) *Barley Genet. Newsl.* 27: 72–74.
 Tada, R., Y. Adachi, K. Ishibashi, K. Tsubaki and N. Ohno (2008) *J. Agric. Food Chem.* 56: 1442–1450.
 Tohno-oka, T., N. Kawada and T. Yoshioka (2004) *In: Spunar, J. and*

- J. Janikova (eds.) Proc. 9th Int. Barley Genet. Symp., Brno, Czech Republic, pp. 595–600.
- Tonooka, T., E. Aoki, T. Yoshioka and S. Taketa (2009) *Breed. Sci.* 59: 47–54.
- 塔野岡卓司 (2010) オオムギにおける機能性多糖高含有品種育成のための遺伝・育種学的研究. 筑波大学生命環境科学研究科博士学位論文.
- Ullrich, S.E., J.A. Clancy, R.F. Eslick and R.C.M. Lance (1986) *J. Cereal Sci.* 4: 279–285.
- U.S. Food and Drug Administration (2006) Food labeling: health claims; soluble dietary fiber from certain foods and coronary heart disease. Final rule. *Fed. Regist.* 71: 29248–29250.
- U.S. Code of Federal Regulations (2006) 21 CFR 101.81 (4-1-06 Edition) Health claims: soluble fiber from certain foods and risk of coronary heart disease (CHD).
- Yokoyama, W.H., C.A. Hudson, B.E. Knuckles, M.M. Chiu, R.N. Sayre, J.R. Turnlund and B.O. Schneeman (1997) *Cereal Chem.*

74: 239–296.

- Yoshida, M., N. Kawada and T. Tohnooka (2005) *Euphytica* 141: 217–227.

参考統計資料

- 国立健康・栄養研究所 (2011) 「国民栄養の現状」昭和 22 年 (1947) ~平成 14 年 (2002). http://www.nih.go.jp/eiken/chosa/kokumin_eiyoubu/index.html.
- 厚生労働省大臣官房統計情報部 (2008) 平成 20 年患者調査 (傷病分類編). II 結果の概要. 2 傷病別年次推移表. <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/10syoubu/index.html>.
- 厚生労働省 (2011) 国民健康・栄養調査. http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkenkou/kenkou_eiyoubu_chousa.html.
- 農林水産省 (2010) 麦の需給に関する見通し. 東京. 4.