ノ ー ト

高機能性オオムギ品種育成のための β -グルカン高含有育種素材の選定と特性評価

塔野岡卓司^{1,2)}・河田尚之^{1,3)}・荒木 均^{1,4)}

¹⁾九州沖縄農業研究センター筑後・久留米研究拠点, 筑後市, 〒833-0041

²⁾現: 農業・食品産業技術総合研究機構本部, つくば市, 〒305-8517

³⁾現: 京都学園大学バイオ環境学部, 亀岡市, 〒621-8555

⁴⁾現: 筑後市, 〒833-0005

Screening and evaluation of genetic resources containing high level of β -glucan for breeding of barley cultivars for functional foods

Takuji Tonooka^{1,2)}, Naoyuki Kawada^{1,3)} and Hitoshi Araki^{1,4)}

¹⁾ Chikugo Research Station, NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, Chikugo 833-0041, Japan

²⁾ Present address: Headquarters of NARO, Tsukuba 305-8517, Japan

³⁾ Present address: Faculty of Bioenvironmental Science, Kyoto Gakuen University, Kameoka 621-8555, Japan

⁴⁾ Present address: Chikugo 833-0005, Japan

キーワード

Hordeum vulgare, オオムギ, 機能性多糖, β -グルカン, 加工適性, 育種素材

緒 言

オオムギはその穀粒中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)を多く含む穀物である(Henry 1987). オオムギの 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(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調整機能が報告されており, アメリカ合衆国や欧州連合では, オオムギを含む食品に対して, 冠動脈心疾患の予防効果がある旨のヘルスクレーム(健康強調表示)を許可している(U.S. Food and Drug Administration 2006, European Food Safety Authority 2009). 日本でも, 2015 年度から始まった機能性表示食品制度において, 糖質吸収抑制, コレステロール値改善, 腸内環境改善の機能性を謳ったオオムギ食品の申請が相次ぎ, 2018 年 3 月現在で 11 製品が受理されている(消費者庁機能性表示食品制度届出データベース). また, 近

年では, 内蔵脂肪の低減(Aoe *et al.* 2017), 便通の改善(Taniguchi *et al.* 2017), 満腹感の持続(Aoe *et al.* 2014), セカンドミール効果(福原ら 2013)について, 日本人におけるエビデンスが得られている. 日本では, 糖尿病, 高血圧性疾患, 高脂血症の患者数がそれぞれ 316 万人, 1,010 万人, 206 万人に達するなど(厚生労働省大臣官房統計情報部 2015), 生活習慣病罹患率が増加しており, オオムギは生活習慣病の予防と改善に有用な食材であると考えられる. オオムギの付加価値を高め, 新たな用途開発と需要拡大による大麦作の収益性向上を図るためには, β -グルカン含量をさらに高めた品種の開発が重要である.

オオムギにおける β -グルカン合成の鍵遺伝子はセルロース合成酵素様遺伝子の一つ *HvCslF6* であることが解明されたが(Tonooka *et al.* 2009, Taketa *et al.* 2012), β -グルカン合成に関わる遺伝子の全容や合成量調節に関わる遺伝子はなお不明であるため, 筆者らは, デンプンの合成基質 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) が β -グルカン含量を大幅に高めることを利用し(塔野岡 2010), 一般的な品種の 2 倍以上の β -グルカンを含む先行品種「ビューファイバー」を育成した(塔野岡ら 2011).

しかし, 「ビューファイバー」ではデンプン合成が抑制されることにより穀粒の充実が劣り収量性が低いほか, 穀粒が硬く精白後の色相も劣るなど精麦加工適性が低い欠点があるため(塔野岡ら 2011), 用途が主に粉体利用

編集委員: 辻本 壽

2018 年 6 月 27 日受領 2018 年 9 月 3 日受理

2018 年 10 月 16 日 J-STAGE 早期公開

Correspondence: tohnooka@affrc.go.jp

に制限されるなど汎用性を欠き、限定的な普及・利用に留まっている。また、オオムギの加工販売に携わる実需者は、麦飯等の従来用途から大麦粉やシリアル食品などの新規用途まで利用可能な高β-グルカン品種を要望しているため、穀粒の充実不良などの加工適性に影響するような不良形質がなく、一般的な精麦用品種と同等以上の収量性を持ち、麦飯だけでなく大麦粉やシリアル食品まで利用可能な汎用性のある高β-グルカン品種を育成する必要がある。しかし、β-グルカン含量が高いとされるオオムギ遺伝資源については、国内外で報告や保存があるが、高β-グルカン品種に関する統一された含量基準はなく、また、それらを同一条件で同時に栽培して比較した報告は見当たらない。そこで、高β-グルカン含量とされる品種・系統について、栽培性、β-グルカン含量、加工適性に関わる品質について特性評価を行い、高β-グルカン品種育成のための有望な育種素材を明らかにした。

材料および方法

1. 供試品種・系統

β-グルカン高含有育種素材の選定に当たり、2012年度（播種年度、以降同様）に予備選抜を、2013年度に特性評価を行った。供試品種・系統一覧を表1に示す。アメリカ合衆国農務省農業調査局（Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture）の国立植物遺伝資源システム（National Plant Germplasm System）にて保存されているオオムギ遺伝資源のうち、高β-グルカン含量との特性表記がある「Azhul」、「Jao」、「Jau」、「Oowa」、「Shonkin」、「Tsema」、「Wanubet」の7品種およびカナダ穀物委員会（Canadian Grain Commission）において高β-グルカン含量品種と定義されている「CDC-Alamo」と「CDC-Fibar」（Canadian Grain Commission 2015）、高β-グルカン含量系統との報告のある「STWB-1」（塔野岡 2010）の合計10品種・系統を供試した。同時に、比較品種・系統として、デンプンの合成や組成に関する突然変異遺伝子を利用して育成された高β-グルカン4品種・系統（「ビューファイバー」、「関東裸糯94号（のちの「ワキシーフайバー）」、「四系9519」、「関系n574（旧系統名：谷系QM-1）」）を供試した（「関系n574」は2013年度のみ）。「関東裸糯94号」は*lys5h*遺伝子と糯性遺伝子*wax*を持つ系統で、「ビューファイバー」よりもβ-グルカン含量が高い（柳澤ら 2016）。「四系9519」は高アミロース遺伝子*amol*（Eslick and Ullrich 1977）と糯性遺伝子*wax*を持つ系統で（Fujita *et al.* 1999）、糯性遺伝子と*amol*遺伝子の二重変異系統ではβ-グルカン含量が高くなることが報告されている（Swanston *et al.* 1996）。「関系n574」は、「四国裸84号」の糯性人為突然変異系統である「四国裸97号」（Ishikawa *et al.* 1995）に再度人為突然変異処理して作出され、「ビューファイバー」よりもさらにデンプン含量が低くβ-グルカン含量が高い系統

で（一ノ瀬ら 2015）、*Lys5*遺伝子座の新規アレルを持つ（中田ら 2018）。これらの比較品種・系統は「四国裸84号」の戻し交配や突然変異由来であるなど、同一の系統を遺伝的背景とする。また、参考品種として、稈性に比べてβ-グルカン含量が高い糯性オオムギ（Ullrich *et al.* 1986）の「キラリモチ」（Yanagisawa *et al.* 2011）と「もっちりぼし」（円谷ら 2014）の2品種を供試した。その他、稈性の二条オオムギ2品種（皮性の「ニシノホシ」と裸性の「ユメサキボシ」）を標準品種として同時に供試した。

2. 高β-グルカン育種素材の予備選抜

高β-グルカン育種素材の予備選抜として、2012年11月27日に九州沖縄農業研究センター筑後拠点（福岡県筑後市）の畑圃場（前作なし）において17品種・系統を1区畦幅70 cm、畦長2.5 mで株間10 cm間隔の二条点播により無反復で栽培した。施肥量は窒素、リン酸、カリでそれぞれ0.4 kg/a、0.34 kg/a、0.34 kg/aとし、基肥のみとした。出穂期、開閉花受粉性の調査を行い、各品種・系統とも畦の前後端を除く生育中庸な3個体を収穫し、個体別に脱穀した後、未熟粒や充実不良の穀粒を除去して千粒重を調査した。また、玄麦を粉碎機（Cyclone Sample Mill, UDY）を用いて粒径0.5 mm以下に粉碎し、市販キット（Mixed Linkage β-glucan Assay Kit, Megazyme Inc.）を用いてβ-グルカン含量を測定した。

3. 高β-グルカン育種素材の特性評価

2012年度に予備選抜用として供試した中から選抜した品種について、比較、参考、標準品種・系統とともに、2013年11月18日に九州沖縄農業研究センター筑後拠点水田圃場（前作水稻）で、1区畦幅70 cm、畦長5 mの条播により2反復で栽培した。なお、比較系統としてβ-グルカン含量が著しく高い「関系n574」も加えて供試した。施肥量は窒素、リン酸、カリで、基肥ではそれぞれ0.6 kg/a、0.51 kg/a、0.51 kg/a、追肥ではそれぞれ0.2 kg/a、0.17 kg/a、0.17 kg/aとした。出穂期、成熟期、稈長、穂長、穂数を調査するとともに、収穫後風選した穀粒を用いて収量を測定し、二条オオムギのうち皮性では2.5 mm以上、裸性では2.2 mm以上、六条オオムギの裸性では2.0 mm以上の整粒歩合を測定した。ただし、品質分析に当たって、穀粒の充実が著しく劣る特性のある「ビューファイバー」、「関東裸糯94号」、「四系9519」、「関系n574」については、歩留80%以上を確保できるような篩い目を選定して縦目篩いで粒選し、未熟粒や充実不良の穀粒を除いて試料とした。精麦加工品質に関わる粒形質として、千粒重、容積重、硝子率（ハインズドルフ式穀粒横断器を用いて50粒を横断し、目視判定で硝子質粒、半硝子質粒、粉状質粒に分別し、硝子質粒+半硝子質粒×1/2の値を調査粒数で除して算出）を測定するとともに、単粒硬度計（SKCS-4100, Perten）を用いて穀粒硬度を測定した。また、玄麦を粉碎機（Cyclone Sample Mill,

表 1. 供試品種・系統一覧

品種名 系統名	系譜	育成機関	条性	皮裸性	糯稈性	その他の 穀粒形質 ¹⁾
STWB-1	二条モチ麦/関東二条 22 号	サッポロビール (株)	二条	皮	糯	
CDC-Alamo	SB85750/Arizona Hulless Waxy	カナダ・サスカチュワン大学	二条	裸	糯	
CDC-Fibar	SB94789/SB94892	カナダ・サスカチュワン大学	二条	裸	糯	
Shonkin	Wanubet より純系分離	アメリカ・モンタナ州立大学	二条	裸	糯	
Wanubet	Betzes*7/Waxy Oderbrucker//Nubet	アメリカ・モンタナ州立大学	二条	裸	糯	
Azhul	76-19-7 の突然変異	アメリカ・アリゾナ大学	六条	裸	糯	
Jao	インド・ウッタルプラデーシュ州の在来品種	—	六条	裸	稈	
Jau	インド・パンジャブ州の在来品種	—	六条	裸	稈	
Oowa	インド・ウッタルプラデーシュ州の在来品種	—	六条	裸	稈	
Tsema	インド・ウッタルプラデーシュ州の在来品種	—	六条	裸	稈	
比較品種・系統 (デンブン変異による高 β -グルカン品種・系統)						
ビューファイバー	四国裸 84 号*4/Riso 86	(国研) 農研機構・作物研究所	二条	裸	稈	<i>lys5h</i>
関東裸糯 94 号	四国裸 84 号 (<i>lys5h</i>) BC ₄ /四国裸 97 号	(国研) 農研機構・作物研究所	二条	裸	糯	<i>lys5h</i>
関系 n574 ²⁾	四国裸 97 号の突然変異	(国研) 農研機構・作物研究所	二条	裸	糯	<i>lys5?</i>
四系 9519	四国裸 97 号/四 M286/Glacier AC38//四 M286	農林水産省・四国農業試験場	二条	裸	糯	<i>amol</i>
参考品種 (糯性品種)						
キラリモチ	四国裸 103 号/大系 HL107//四国裸 97 号	(国研) 農研機構・近畿中国四国農業 研究センター	二条	裸	糯	<i>ant28</i>
もっちりぼし	羽系裸 104/あぐりもち	サッポロビール (株)	二条	裸	糯	
標準品種 (稈性品種)						
ニシノホシ	西海皮 38 号/栃系 145	農林水産省・九州農業試験場	二条	皮	稈	
ユメサキボシ	四 R 系 833/ニシノチカラ	(国研) 農研機構・近畿中国四国農業 研究センター	二条	裸	稈	

¹⁾ *lys5h* : ADP-グルコーストランスポーターをコードする *Lys5* 遺伝子座の変異アリル, *lys5?* : *Lys5* 遺伝子座の新規変異アリル, *amol* : 高アミロース, *ant28* : プロアントシアニンフリー.

²⁾ 2013 年度のみ供試.

Udy) を用いて粒径 0.5 mm 以下に粉碎し, β -グルカン含量およびデンブン含量をそれぞれ市販キット (Mixed Linkage β -glucan Assay Kit, Total Starch Assay Kit, Megazyme Inc.) を用いて測定した. 玄麦タンパク質含量は非破壊の全粒で近赤外分光分析機 (Infratec 1275, FOSS) を用いて測定した. さらに, 試験用搗精機 (TM-05, 佐竹製作所) を用い, 玄麦 150 g を歩留 55% (裸麦は 60%) まで搗精し, 搗精時間, 精麦白度 (ケット科学, C-300-3), 精麦色相 (CM-3500d, コニカミノルタジャパン), 砕粒率を測定するとともに, 玄麦 β -グルカンと同様の方法で精麦 β -グルカン含量を測定した.

結果および考察

1. 高 β -グルカン育種素材の予備選抜

予備選抜に供試した 17 品種・系統の特性を表 2 に示す. 稈性の一般的な品種「ニシノホシ」と「ユメサキボシ」の玄麦 β -グルカン含量はそれぞれ 3.8%, 3.7%であったのに対し, デンブン変異による高 β -グルカン品種・系統である「ビューファイバー」, 「関東裸糯 94 号」, 「四系 9519」では 9.9~13.7%で, 「関東裸糯 94 号」が最も β -グルカン含量が高かった.

選抜対象の 10 品種・系統のうち, 「STWB-1」のみが閉花受粉性で, 「STWB-1」, 「Jau」, 「Oowa」, 「Tsema」は「ユメサキボシ」よりも出穂期が早いか同等の早生であった. 「CDC-Fibar」と「Azhul」は「ユメサキボシ」よりも出穂期が遅い晩生であるが, β -グルカン含量はそれぞれ 10.0%, 9.4%で, 「四系 9519」と同程度の高含量であった. 「STWB-1」と「CDC-Alamo」の β -グルカン含量はともに 7.2%と, 糯性の「キラリモチ」と「もっちりぼし」の中間程度であったが, 大粒であった. 稈性品種の中では「Tsema」は六条オオムギとしては大粒であり, β -グルカン含量が 7.0%と稈性としては高かった. 「Shonkin」と「Wanubet」の β -グルカン含量は「STWB-1」, 「CDC-Alamo」と同程度であるが, 千粒重が「ユメサキボシ」程度であった. 「Jao」と「Jau」は β -グルカン含量が低く, 「Oowa」は「Tsema」よりも千粒重が軽かった.

以上の結果から, 早晚性, 千粒重, β -グルカン含量, 糯性を判断基準として, 「STWB-1」, 「CDC-Alamo」, 「CDC-Fibar」, 「Azhul」の 4 品種・系統を有望として選抜した. オオムギの糯性品種は稈性品種に比べて β -グルカン含量が高く (Ullrich *et al.* 1986), 炊飯麦の粘りが大きく, 食味が優れるため (吉川ら 1998), 高 β -グルカン品種育成において有用である. なお, 糯性ではないが, 稈性とし

表 2. 高β-グルカン品種・系統の予備選抜 (2012 年度)

品種名 系統名	出穂期 (月.日)	開閉花受粉性	千粒重 (g)	玄麦β-グルカン含量 (%) ¹⁾	選抜
STWB-1	4.08	閉花	54.0 ^{cd2)}	7.2 ^{cde3)}	○
CDC-Alamo	4.28	開花	47.7 ^{bcd}	7.2 ^{cde}	○
CDC-Fibar	4.25	開花	39.3 ^{ab}	10.0 ^{ef}	○
Shonkin	4.28	開花	41.4 ^{abc}	7.4 ^{cde}	×
Wanubet	4.27	開花	41.9 ^{abc}	7.1 ^{cde}	×
Azhul	4.26	開花	38.5 ^{ab}	9.4 ^{def}	○
Jao	4.21	開花	45.2 ^{bcd}	5.9 ^{abc}	×
Jau	4.11	開花	43.7 ^{abcd}	5.4 ^{abc}	×
Oowa	4.08	開花	36.0 ^{ab}	7.0 ^{bcde}	×
Tsema	4.09	開花	39.4 ^{ab}	7.0 ^{bcde}	○
ビューファイバー	4.29	開花	32.2 ^a	11.1 ^{fg}	—
関東裸糯 94 号	4.18	開花	35.3 ^{ab}	13.7 ^g	—
四系 9519	4.15	開花	40.0 ^{ab}	9.9 ^{ef}	—
キラリモチ	4.05	開花	43.6 ^{abcd}	6.4 ^{abcd}	—
もっちりぼし	4.09	閉花	47.6 ^{bcd}	8.2 ^{cdef}	—
ニシノホシ	4.03	閉花	55.3 ^d	3.8 ^{ab}	—
ユメサキボシ	4.11	閉花	42.5 ^{abcd}	3.7 ^a	—

¹⁾ 無水物換算での値。^{2,3)} 異なる文字を付した数値間には 5%水準で有意な差があることを示す (Tukey 法)。

てはβ-グルカン含量の高い「Tsema」も選抜した。さらに詳細な特性評価試験の供試対象として、以上の5品種・系統を選定した。

2. 高β-グルカン育種素材の特性評価

供試した13品種・系統の生育特性を表3に、玄麦品質を表4に、精麦品質を表5に示す。デンプン変異による高β-グルカン品種・系統である「ビューファイバー」,「関東裸糯 94 号」,「関系 n574」,「四系 9519」では、β-グルカン含量が9.8~13.3%と高かったが、タンパク質含量も

13.1~15.6%と高く、デンプン含量が35.4~51.2%と低く、完熟した穀粒は収縮した形状を呈して表面にしわを生じ、穀粒の充実が不良なため整粒歩合が65.4%以下と低かった。β-グルカン含量が高い「関系 n574」はとくに穀粒の充実が不良で、粒厚 2.2 mm 以上の整粒が存在しなかった。これらの品種・系統のβ-グルカン含量が高い理由として、デンプンとβ-グルカンは合成基質がともにグルコースであるため (Bolwell 2000)、デンプン合成の減少によりデンプン合成の基質として利用されなかった余剰のグルコースがβ-グルカンの合成経路に転流されて補償的に

表 3. 高β-グルカン品種・系統の生育特性 (2013 年度)

品種名 系統名	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)	整粒歩合 (%) ¹⁾
STWB-1	3.30 ^a	5.12 ^a	99 ^{bc}	6.8 ^{ab}	586 ^a	43.5 ^a	94.3 ^c
CDC-Alamo	4.16 ^a	5.21 ^a	104 ^{bc}	9.5 ^c	693 ^a	65.8 ^a	95.8 ^c
CDC-Fibar	4.13 ^a	5.21 ^a	115 ^c	8.4 ^{bc}	676 ^a	61.8 ^a	96.1 ^c
Azhul	4.11 ^a	5.23 ^a	90 ^{ab}	5.8 ^a	490 ^a	48.5 ^a	85.5 ^{bc}
Tsema	3.31 ^a	5.16 ^a	112 ^c	7.6 ^{abc}	412 ^a	44.6 ^a	88.2 ^{bc}
ビューファイバー	4.01 ^a	5.16 ^a	87 ^{ab}	8.4 ^{bc}	586 ^a	40.5 ^a	49.7 ^b
関東裸糯 94 号	4.03 ^a	5.17 ^a	87 ^{ab}	8.4 ^{bc}	679 ^a	49.1 ^a	56.8 ^{bc}
関系 n574	4.07 ^a	5.18 ^a	80 ^a	8.0 ^{abc}	646 ^a	32.1 ^a	0.0 ^a
四系 9519	4.04 ^a	5.17 ^a	88 ^{ab}	7.8 ^{abc}	547 ^a	42.5 ^a	65.4 ^{bc}
キラリモチ	3.30 ^a	5.15 ^a	80 ^a	7.5 ^{abc}	541 ^a	43.5 ^a	93.6 ^c
もっちりぼし	4.03 ^a	5.15 ^a	101 ^{bc}	7.0 ^{ab}	707 ^a	55.0 ^a	90.9 ^c
ニシノホシ	3.28 ^a	5.14 ^a	86 ^{ab}	7.4 ^{abc}	614 ^a	36.7 ^a	83.2 ^{bc}
ユメサキボシ	4.08 ^a	5.19 ^a	92 ^{ab}	7.5 ^{abc}	648 ^a	67.4 ^a	96.6 ^c

各形質において異なる文字を付した数値間には 5%水準で有意な差があることを示す (Tukey 法)。

¹⁾ 二条オオムギでは皮性 2.5 mm 以上、裸性 2.2 mm 以上、六条オオムギ (裸性) 2.0 mm 以上の粒厚の穀粒の割合。

表 4. 高β-グルカン品種・系統の玄麦品質 (2013 年度)

品種名 系統名	千粒重 (g)	容積重 (g/l)	硝子率 (%)	穀粒硬度 (HI)	玄麦成分含量 (%) ¹⁾		
					タンパク質	β-グルカン	デンプン
STWB-1	45.2 ^e	741 ^{ab}	15.7 ^{ab}	73.5 ^{abcd}	11.0 ^a	7.3 ^{abc}	57.0 ^{bcd}
CDC-Alamo	45.5 ^e	805 ^{ab}	5.9 ^a	64.4 ^{abc}	11.0 ^a	6.7 ^{abc}	63.8 ^{cd}
CDC-Fibar	39.3 ^{cd}	811 ^{ab}	13.6 ^{ab}	81.5 ^{abcd}	11.7 ^a	9.2 ^{cd}	61.0 ^{bcd}
Azhul	33.0 ^{ab}	784 ^{ab}	16.5 ^{ab}	89.9 ^{bcd}	9.0 ^a	7.4 ^{abcd}	61.2 ^{bcd}
Tsema	31.4 ^a	839 ^b	61.0 ^{abc}	95.8 ^{cd}	9.9 ^a	6.4 ^{abc}	61.7 ^{cd}
ビューファイバー	36.8 ^{bc}	782 ^{ab}	69.5 ^{bc}	90.5 ^{cd}	13.1 ^a	9.8 ^{cde}	50.6 ^{bc}
関東裸糯 94 号	37.0 ^{bc}	797 ^{ab}	17.5 ^{ab}	85.9 ^{abcd}	13.3 ^a	11.4 ^{de}	46.3 ^{ab}
関系 n574	30.3 ^a	705 ^a	82.7 ^c	107.2 ^d	15.6 ^a	13.3 ^e	35.4 ^a
四系 9519	37.8 ^{cd}	811 ^{ab}	38.7 ^{abc}	95.4 ^{cd}	13.2 ^a	9.8 ^{cde}	51.2 ^{bc}
キラリモチ	39.5 ^{cd}	845 ^b	20.4 ^{ab}	79.4 ^{abcd}	10.0 ^a	6.2 ^{abc}	65.2 ^{cd}
もっちりぼし	39.4 ^{cd}	831 ^b	21.1 ^{ab}	75.8 ^{abcd}	11.6 ^a	7.5 ^{bcd}	61.9 ^{cd}
ニシノホシ	45.4 ^e	753 ^{ab}	20.3 ^{ab}	53.7 ^{ab}	8.6 ^a	3.5 ^a	67.0 ^d
ユメサキボシ	42.4 ^{de}	819 ^{ab}	27.6 ^{abc}	52.7 ^a	9.8 ^a	3.7 ^{ab}	70.8 ^d

粒厚を二条オオムギでは皮性 2.5 mm 以上, 裸性 2.2 mm 以上, 六条オオムギの裸性では 2.0 mm 以上に調整した整粒での測定値 (ただし, 「ビューファイバー」, 「関東裸糯 94 号」, 「四系 9519」では 2.0 mm 以上, 「関系 n574」では 1.8 mm 以上).

各形質において異なる文字を付した数値間には 5%水準で有意な差があることを示す (Tukey 法).

¹⁾ 無水物換算での値.

表 5. 高β-グルカン品種・系統の精麦品質 (2013 年度)

品種名 系統名	搗精時間 (秒)	精麦白度 (%)	精麦色相			砕粒率 (%)	精麦β-グルカン (%) ¹⁾
			明度 (L*)	赤み (a*)	黄色み (b*)		
STWB-1	1050 ^{bcd}	46.4 ^{cd}	79.9 ^{bc}	2.3 ^{ab}	15.3 ^a	0.7 ^{ab}	8.4 ^{abcd}
CDC-Alamo	717 ^{ab}	45.7 ^{cd}	79.9 ^{bc}	2.3 ^{ab}	15.2 ^a	0.3 ^a	7.5 ^{abc}
CDC-Fibar	851 ^{abc}	44.8 ^{bcd}	78.3 ^{bc}	2.2 ^{ab}	14.1 ^a	0.2 ^a	10.7 ^{bcd}
Azhul	1221 ^{cde}	45.8 ^{cd}	78.0 ^{bc}	2.7 ^{ab}	13.0 ^a	0.6 ^{ab}	9.2 ^{bcd}
Tsema	1116 ^{cde}	36.7 ^a	73.0 ^{ab}	2.8 ^{ab}	17.0 ^a	1.1 ^{ab}	6.7 ^{ab}
ビューファイバー	1283 ^{de}	38.2 ^{ab}	74.1 ^{abc}	3.2 ^{ab}	16.2 ^a	0.1 ^a	11.9 ^{cd}
関東裸糯 94 号	1291 ^{de}	41.2 ^{abcd}	76.2 ^{abc}	2.7 ^{ab}	16.0 ^a	0.0 ^a	12.8 ^{de}
関系 n574	1843 ^f	34.1 ^a	70.4 ^a	3.6 ^b	15.0 ^a	1.2 ^{ab}	17.5 ^e
四系 9519	1355 ^e	40.0 ^{abc}	75.8 ^{abc}	2.9 ^{ab}	15.6 ^a	0.4 ^a	10.6 ^{bcd}
キラリモチ	919 ^{abcd}	44.6 ^{bcd}	80.1 ^c	2.1 ^a	18.0 ^a	0.4 ^a	7.5 ^{abc}
もっちりぼし	964 ^{abcd}	45.6 ^{cd}	78.9 ^{bc}	2.2 ^{ab}	14.1 ^a	0.5 ^a	8.3 ^{abcd}
ニシノホシ	717 ^{ab}	47.1 ^d	80.3 ^c	2.2 ^{ab}	16.4 ^a	5.5 ^c	4.1 ^a
ユメサキボシ	659 ^a	46.4 ^{cd}	80.5 ^c	1.8 ^a	16.3 ^a	4.7 ^{bc}	4.1 ^a

粒厚を二条オオムギでは皮性 2.5 mm 以上, 裸性 2.2 mm 以上, 六条オオムギの裸性では 2.0 mm 以上に調整した整粒を搗精 (ただし, 「ビューファイバー」, 「関東裸糯 94 号」, 「四系 9519」では 2.0 mm 以上, 「関系 n574」では 1.8 mm 以上). 精麦歩留は皮麦 55%, 裸麦 60%.

各形質において異なる文字を付した数値間には 5%水準で有意な差があることを示す (Tukey 法).

¹⁾ 無水物換算での値.

β-グルカン含量が増加するものと考えられる. また, いずれの品種・系統も穀粒硬度が高く搗精時間が長く, 精麦白度は 41.2%以下で, 品質ランク区分における精麦白度の基準値 (六条オオムギおよび裸麦で 43%以上, 二条オオムギで 40%以上) に満たなかった. また, 精麦の赤みと黄色みが強く明度が低いが, これは収縮した穀粒形状により搗精後の糠層の残存が多いことによると考えられる.

デンプン変異による高β-グルカン品種・系統に対し, 評価対象の 5 品種・系統ではデンプン含量が 57.0%以上

で, 完熟した穀粒の表面にしわを生じることではなく, 整粒歩合が 85.5%以上と高く, 穀粒には形態的な不良形質は認められなかった. また, 「Tsema」を除けば, いずれの品種・系統も精麦白度が 44.8%以上と高く, 品質ランク区分における精麦白度の基準値を超えた. 「STWB-1」は早生の二条皮麦であり, 大粒で品質ランク区分における二条オオムギ容積重の基準値 709 g/l を超えたが, β-グルカン含量は「もっちりぼし」程度であった. 「CDC-Alamo」は晩生で長稈の二条裸麦で, 穂数が多く大粒で多収であった. 搗精時間が稈性の「ユメサキボシ」と同

程度に短かったが、 β -グルカン含量は「キラリモチ」程度であった。「CDC-Fibar」は晩生の二条裸麦で長稈であったが、穂数が多く多収で、 β -グルカン含量が「ビューファイバー」や「四系 9519」と同程度に高かった。 β -グルカン含量が高いほど穀粒が硬質となって搗精時間が長くなることが報告されているが(Tohno-oka *et al.* 2004)、「CDC-Fibar」の搗精時間は「キラリモチ」や「もっちりぼし」よりも短く、精麦白度はこれらの品種と同程度に高く、かつ搗精後の砕粒発生がほとんどなく精麦品質が優れていた。「Azhu」は晩生の六条裸麦で、短稈であるが倒伏しやすく、脱穀時の穀皮の取れやすさ(脱ふ性)が著しく悪い欠点があり(データ略)、 β -グルカン含量は「もっちりぼし」程度であった。「Tsema」は稈性の六条裸麦で、早生であるが長稈で、硝子率が高く、精麦白度が36.7%と低かった。「Tsema」の β -グルカン含量は「キラリモチ」並であったが、稈性の「ユメサキボシ」よりも高い値を示した。なお、「CDC-Alamo」、「CDC-Fibar」、「Azhu」、「Tsema」は、品質ランク区分における裸麦の容積重の基準値 840 g/l を下回ったが、「CDC-Alamo」と「CDC-Fibar」は「ユメサキボシ」と同様に二条オオムギであり、この容積重の基準値は六条裸麦を対象として設定された値であるため、六条オオムギよりも大粒の二条オオムギでは達成しにくいものと考えられる。

以上のことから、「CDC-Fibar」は「ビューファイバー」並の高 β -グルカン含量を示す品種で、収量性が高く、穀粒には不良な形質が認められず、整粒歩合が高く精麦加工適性も優れるなど(図1)、麦飯だけでなく大麦粉やシリアル食品までの汎用的な用途を目指した高 β -グルカン品種育成のための育種素材として、優れた品質特性を持つ有望な遺伝資源であると考えられる。ただし、「CDC-Fibar」は晩生、長稈で、オオムギ縞萎縮病とうどんこ病に抵抗性を持たず、赤かび病に対しては感染回避に不利な開花受粉性(Yoshida *et al.* 2005)であるなど、日本国内の品種とは形態、生態が大きく異なる品種であるため、

図1. 高 β -グルカン育種素材として有望な「CDC-Fibar」および現行の高 β -グルカン品種「ビューファイバー」の玄麦と精麦の外観。

本品種を母本とした場合、栽培性にも優れた高 β -グルカン品種の育成には長時間を要することが予想される。また、「CDC-Fibar」の高 β -グルカン含量に関与する遺伝子として、糯性遺伝子以外は不明であるため、高 β -グルカン特性に関する効率的で確実な選抜手法がない。そのため、本品種の高 β -グルカン特性に関与する遺伝子の早急な解明と選抜用 DNA マーカーの開発が課題である。

謝辞

本研究の実施に当たり、農研機構・九州沖縄農業研究センター業務2科技術専門職員の日高昭則、三池啓治、坂本和彦、村上栄一、契約職員の中村耕造の各氏には栽培管理業務でご尽力いただいた。また、九州沖縄農業研究センター水田作研究領域契約職員の宮崎千代子、中村香世、島里恵の各氏には調査や品質分析に従事いただいた。また、「Azhu」、「Wanubet」、「Tsema」、「Oowa」、「Jau」、「Jao」の種子はアメリカ合衆国農務省農業調査局国立植物遺伝資源システムより、「CDC-Fibar」と「CDC-Alamo」の種子は Dr. Brian Rossnagel (カナダ・サスカチュワン大学) より分譲いただいた。本研究の遂行に多大な貢献をいただいた関係機関の各氏に厚く謝意を表す。本研究の一部は、農林水産省「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」の研究課題「大麦における機能性多糖 β -グルカンの遺伝的制御技術の開発(課題番号26053A)」において実施した。

引用文献

- Aoe, S., Y. Ichinose, N. Kohyama, K. Komae, A. Takahashi, D. Abe, T. Yoshioka and T. Yanagisawa (2017) Nutrition 42: 1–6.
- Aoe, S., T. Ikenaga, H. Noguchi, C. Kohashi, K. Kakumoto and N. Kohda (2014) Plant Foods Hum. Nutr. 69: 325–330.
- 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.
- Canadian Grain Commission (2015) Canada Western/Eastern food barley. [https://www.grainscanada.gc.ca/barley-orge/varieties/designation-en.htm]
- 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.
- 福原育夫・池永 武・野口洋樹・小椋知英子・小長井里織・前佛佳菜子・富田晋平・甲田哲之 (2013) 薬理と治療 41: 789–795.
- Fujita, M., E. Domon and Y. Doi (1999) Breed. Sci. 49: 217–219.
- European Food Safety Authority (2009) EFSA J. 7: 1254.

- Hallfrisch, J.G., D.J. Scholfield and K.M. Behall (2003) *Nutr. Res.* 23: 1631–1642.
- Henry, R.J. (1987) *J. Cereal Sci.* 6: 253–258.
- 一ノ瀬靖則・金子成延・小前幸三 (2015) 育種学研究 17 (別 2): 209.
- Ishikawa, N., J. Ishihara and M. Itoh (1995) *Barley Genet. Newsl.* 24: 49–53.
- Liljeberg, H.G.M., Y.E. Grandfeldt and I. Bjork (1996) *J. Nutr.* 126: 458–466.
- McIntosh, G.H., J. Whyte, R. McArthur and P.J. Nestel (1991) *Am. J. Clin. Nutr.* 53: 1205–1209.
- 中田 克・池田達哉・一ノ瀬靖則・関 昌子・青木秀之・加藤常夫・小前幸三・長嶺 敬 (2018) 育種学研究 20 (別 1): 225.
- Newman, R.K., C.W. Newman and H. Graham (1989) *Cereal Foods World* 34: 883–886.
- Patron, N.J., B. Greber, B.F. Fahy, D.A. Laurie, M.L. Parker and K. Denyer (2004) *Plant Physiol.* 135: 2088–2097.
- Pins, J., J.M. Keenan, L.L. Curry, M.J. Goulson and L.W. Kolberg (2005) *Prev. Control* 1: 131.
- 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.
- Taketa, S., T. Yuo, T. Tonooka, Y. Tsumuraya, Y. Inagaki, N. Haruyama, O. Larroque and S.A. Jobling (2012) *J. Exp. Bot.* 63: 381–392.
- Taniguchi, K., K. Komae, A. Takahashi, T. Yoshioka and Y. Sone (2017) *J. Phys. Anthro.* 36: 17–27.
- 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, 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含量高含有品種育成のための遺伝・育種学的研究. 筑波大学生命科学研究科博士学位論文.
- 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) 育種学研究 13: 74–79.
- 円谷陽一・木原 誠・永倉英彦・川嶋かほる・東海林義和 (2014) *食品と科学* 56: 28–34.
- 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) *Fed. Reg.* 71: 29248–29250.
- Yanagisawa, T., T. Nagamine, A. Takahashi, T. Takayama, Y. Doi, H. Matsunaka and M. Fujita (2011) *Breed. Sci.* 61: 307–310.
- 柳澤貴司・青木恵美子・平 将人 (2016) 米麦改良 2016 年 7 月号: 9–12.
- 吉川 亮・中村和弘・八田浩一・中村 洋 (1998) 東北農業研究 51: 97–98.
- 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

- 厚生労働省大臣官房統計情報部 (2015) 平成 26 年 患者調査 (傷病分類編). [<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/10syoubyo/>]
- 消費者庁機能性表示食品制度届出データベース. [http://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/foods_with_function_claims/]