

小麦育種における手動粉碎機を用いた原粒硬軟質性の簡易判定法

吉川 亮^{*1)}・中村 和弘^{*2)}・伊藤美環子^{*1)}・八田 浩一^{*3)}

抄 録：小麦原粒の水分含量の測定の際、従来から原粒粉碎に使用されている手動粉碎機（Hand Crusher）を用いて、硬軟質性の簡易判定法を検討した。もち・うるち性および硬軟質性が異なる品種・系統を用いて原粒2gを手動粉碎機で粉碎したところ、原粒破片の大きさおよび断面色に明確な差異がみられた。軟質粒においては大きいサイズの破片が多く、破片の断面色は白色であった。一方、硬質粒においては、中のサイズの破片が多く、破片の断面色は琥珀（飴色）であった。また、硬軟質が分離した粒においては様々な大きさの破片が混ざり、破片の断面色は白色および琥珀色が混ざっていた。この手動粉碎機を用いた硬軟質性の判定値（硬軟質性判定値）は、同じ品種・系統の場合、産地および年次が変わっても極めて安定していた。

育成系統においては、うるち性小麦では硬軟質性判定値と小麦粉比表面積による硬軟質性判定値との間の適合率は、87.5～100%と高かった。これに対し、もち性小麦における適合率は、比表面積による硬軟質性判定基準をうるち性小麦と同じにした場合、38.9～100%とうるち性に比べて低い場合が多く、しかも材料によるバラツキが大きかった。一方、もち性小麦の比表面積による硬軟質性判定基準を変更した場合は、その適合率は71.3～100%と向上した。

キーワード：小麦、育種、硬軟質性、手動粉碎機、もち・うるち性、比表面積、簡易判定法

Simply Rapid Identification of Kernel Hardness using a Hand-operated Grinder in Wheat Breeding : Ryo YOSHIKAWA^{*1)}, Kazuhiro NAKAMURA^{*2)}, Miwako ITO^{*1)} and Koichi HATTA^{*3)}

Abstract : A simply rapid identification of wheat kernel hardness using a hand-operated grinder known as Grain Crusher was examined. When 2g of grains from nonwaxy and waxy varieties of wheat having different kernel hardnesses were crushed with the hand-operated grinder, there were clear differences in the size and the cross section color of the fragments of crushed grains. In the soft grains, there were many large fragments with white cross sections. On the other hand, there were many medium-size fragments with amber (light brown) cross sections in the hard grains. Moreover, fragments of various sizes were mixed in the grains segregated kernel hardness, and the cross sections of the fragments were mixed white and amber. The judgment value of kernel hardness (JVKH) of the same cultivar and line were extremely consistent throughout the different production sites and crop years. In the breeding lines of nonwaxy wheat, the percent of fitness between the JVKH and the kernel hardness judgment value classified by the flour specific surface area was 87.5～100%. When the kernel hardness judgment standard of the specific surface area was the same in both nonwaxy wheats and waxy wheats, the percent of fitness in waxy wheats was 38.9～100%, and the differences among the materials were large. On the other hand, the percent of fitness was improved to 71.3～100% when the kernel hardness judgment standard by the specific surface area in waxy wheats was changed.

Key Words : Wheat, Breeding, Kernel hardness, Hand-operated grinder, Nonwaxy, Waxy, Specific surface area, Simply rapid test

* 1) 現・北海道農業研究センター (National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Memuro, Hokkaido 082-0081, JAPAN)

* 2) 現・東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate 020-0198, JAPAN)

* 3) 現・九州沖縄農業研究センター (National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Chikugo, Fukuoka 833-0041, JAPAN)

I 緒 言

小麦胚乳の遺伝的な硬さ、いわゆる硬軟質性は、製粉歩留、ふるい抜け性などの一次加工適性の製粉性のみならず、製粉工程で生じる澱粉損傷量やこれに伴う小麦粉の吸水率と密接に関係しており、最終的には二次加工製品の適否にまで影響を及ぼす。小麦の硬軟質性の品種間差異は大きく、一般にパンや中華めんには硬質品種が、うどん、きしめんなどの日本式めんやクッキー、クラッカーなどの菓子類には軟質品種が適していると言われている。このように、硬軟質性は小麦の一次、二次加工適性に深く関係しているため、従来から小麦育種では、早期に硬軟質性を判定し選抜することが重要な課題となっている。

従来、我が国の小麦育種における硬軟質性判定法として、硬質結晶粒子の多少(池田 1961、佐藤ら 1998) プレーン空気透過粉末度測定器による小麦粉または全粒粉の比表面積(Oda *et al.* 1992、伊藤ら 1995a、伊藤ら 1996a、伊藤ら 1996b)、粒度分布測定装置による全粒粉の平均粒径(安井 1993)、ブラベンダーテストミルによるA粉割合(伊藤ら 1995a、伊藤ら 1995b)が硬軟質性の指標に用いることができると報告されている。また、澱粉付着タンパク質フライアビリンのバンドによる硬軟質性の分類(Oda *et al.* 1992)や、ピュロインドリン遺伝子型による硬質小麦の分類(Ikeda *et al.* 2005)の報告もある。

また、海外では、古くはPearling testにおける原粒搗精目減り率(Wheat pearled off)(Taylor *et al.* 1939、McCluggage 1943)および搗精抵抗(Chesterfield 1971)、Grinding testによる検定値(Orth 1977)、Brabender Automatic Micro Hardness Testerによる穀粒粉砕時間(Kernel grinding time)(Miller *et al.* 1981、Matus-Cadiz *et al.* 2003)など、原粒を搗精または粉砕する方法の硬軟質性判定法として用いられてきた。近年では、全粒粉を用いるParticle size index(Symes 1963、Williams and Sobering 1986)、原粒を用いるSingle-kernel characterization systemの硬度指数(Hardness index)(Gaines *et al.* 1996、Pearson *et al.* 2007)が主流で、これらの判定法はアメリカ穀物科学者協会(AACC)の公定法としても採用されている(Approved methods of the AACC. Method 55-30、55-31)。また、Seed

Scarifierによる摩滅抵抗指数(Abrasion resistance index)(Liu 2008)、近赤外分光分析法による検定法(Hong *et al.* 1989、Manley *et al.* 2002、Maghirang *et al.* 2003)も報告されている。

これらの硬軟質性判定法は、サンプルが原粒、全粒粉および小麦粉と様々であるが、原粒を使用するSingle-kernel characterization systemと近赤外分光分析法を除いて、事前に搗精、粉砕、製粉などの試料調整が必要で、しかも多くの分析材料に多大な時間と労力を必要とする判定法が多い。このため、これらの判定法は育種の中後期世代以降の選抜には十分適用できるが、サンプルの少ない初期世代の個体・系統に適用することは難しい。このため、初期世代における硬軟質性を選抜するには、少量の原粒で短時間で試験できる簡易判定法が必要である。

テストミルや製粉工場で製粉する前には、一般にテンパーリング(調質)加水を行う。テンパーリングの目標原粒水分含量は硬軟質性により異なり、軟質は低く、硬質は高く設定する。このため、テンパーリング加水に先だって、硬軟質性の判定と原粒水分含量の測定が同時に必要となってくる。テンパーリング加水前の硬軟質性の判定は、従来、粒質(硝子質粒、粉状質粒)で行ってきた(農林水産技術会議事務局 1968)。硬質小麦は硝子質粒に、軟質小麦は粉状質粒になりやすいが、硝子質になりやすさには、光、温度、雨量などの環境要因や、蛋白質の量も影響する(長尾 2009)。また、硝子質粒の多少の判定に用いられる硝子率は、硬軟質性の分類の基準に使用できない(伊藤ら 1995a)。このため、硝子質粒の多少による硬軟質性の判定は正確性を欠く。また、もち性小麦は、原粒外観の粒質が粉状質であるため(吉川ら 1997)、外観品質だけでは硬軟質性の判定は不可能である。粒質以外の硬軟質性判定法として、全粒粉の比表面積、硬質結晶粒子の多少が考えられるが、多数の育種材料を判定するには多大な労力と時間を要するため、あまり適していない。このため、製粉試験においても、テンパーリングを行う前に、少量の原粒で硬軟質性を簡易・迅速かつ正確に判定できる手法が必要である。

原粒水分含量の測定には、一般に約2gの原粒を手動ロール型粉砕機(以下、手動粉砕機)により粉砕し、アルミニウム製の乾燥容器に入れて130℃で3時間乾燥する方法がとられている(農林水産技術会議事務局 1968)。この段階で硬軟質性が判定で

できれば、一挙に原粒水分測定と硬軟質性判定の両方ができ、品質検定を飛躍的に効率化できる。

そこで、本報告では、原粒水分測定用の手動粉砕機を用いて、製粉前の原粒水分測定時に、小麦のもち・うるち性品種・系統の硬軟質性を簡易に判定できる方法を明らかにしたので、その概要を報告する。

本試験に当たり、企画調整部業務第1科の業務科職員および契約職員には研究支援の面で、麦育種研究室の契約職員には研究補助の面でそれぞれご尽力いただいた。また、東北・北陸地域各県農業試験場の担当者の方々には奨励品種決定調査材料を提供していただいた。これらの方々に感謝を申し上げる。

II 材料と方法

1. 材料

ビューラーテストミル (Buhler Laboratory Mill) を用いた製粉試験の材料として、1997~2000年度 (1998~2001年産) の東北農業研究センター作物機能開発部麦育種研究室 (現・東北農業研究センターパン用小麦研究東北サブチーム) の生産力検定予備試験および生産力検定試験材料 (中後期世代F₆以降の育成系統) と、食糧庁より管理替えされた群馬県産「農林61号」、カナダ産「1CW」などの内外の品種・銘柄も用いた。また、東北・北陸地域の各県農業試験場10場所の奨励品種決定調査で栽培された有望系統および標準品種を用いた。以上のもち・うるち性および硬軟質性が異なる系統・品種として、1997年度は110点、1998年度は128点、1999年度は110点そして2000年度は107点を用いた。なお、これらの材料の内、「ASW」等の硬軟質性が異なる複数の品種がブレンドされた外国銘柄を除いて、硬軟質性は遺伝的に固定している。手動粉砕機を用いた硬軟質性判定の調査は2反復で行い、下記に示す方法で調査した。

ブラベンダーテストミル (Brabender Quadrumat Jr. Laboratory Mill) を用いた製粉試験の材料として、1996~1998年度 (1997~1999年産) に東北農業研究センター作物機能開発部麦育種研究室で栽培されたもち・うるち性および硬軟質性が異なる初中期世代 (F₄~F₆) の生産力検定予備予備試験および生産力検定予備試験の各材料と、初期~後期世代 (F₃以降) の系統栽培材料を用いた。材料数は1996年度は秋播95点、春播87点の計182点、1997年度は240点そして1998年度は104点である。これらの材料

の硬軟質性は遺伝的にほとんど固定しているが、初期世代の一部は遺伝的に未固定のものも含まれる。手動粉砕機を用いた硬軟質性判定の調査は反復しなかった。

また、Ikeda *et al.* (2005) および谷口 (2008) の各報告において、ピュロインドリリン遺伝子型が判明している1997年度遺伝資源特性調査の小麦22品種・系統を用いた。

東北農業研究センターの耕種概要は、播種期は9月下旬の秋播で適期播とし (1996年度は秋播と春播 (4月上旬) の両方)、栽培様式は生産力検定予備予備試験と生産力検定予備試験は標準畦立栽培、生産力検定試験は標準畦立栽培とドリル播栽培、系統栽培は二条千鳥1粒播による畦立栽培とした。施肥量は堆肥 2 t/10a (系統栽培は施用なし)、石灰 50kg/10a、重過リン産石灰 (アメリカハイリン酸) 55kg/10aとともに、元肥は成分量でN 0.64kg/a、P 2.16kg/a、K 1.6kg/a、追肥はN 0.2kg/a 施用した。収穫は雨濡れによる穂発芽がないよう速やかに行い、収穫後は適正に種子乾燥を行った。

2. 試験方法

1) 手動粉砕機による硬軟質性の判定法

手動粉砕機として、従来、米麦などの原粒水分測定用として使用されてきた手動粉砕機 (Hand Crusher、(株)ケット科学研究所製TQ-100型) を使用した (Fig. 1)。原粒水分9~14%の適正に乾燥された小麦原粒 2 g を本粉砕器で粉砕して、アルミニウム製の乾燥容器に入れ、容器の底を床に当てて2、3回軽くたたき粉砕粒表面を平にした後、上部から

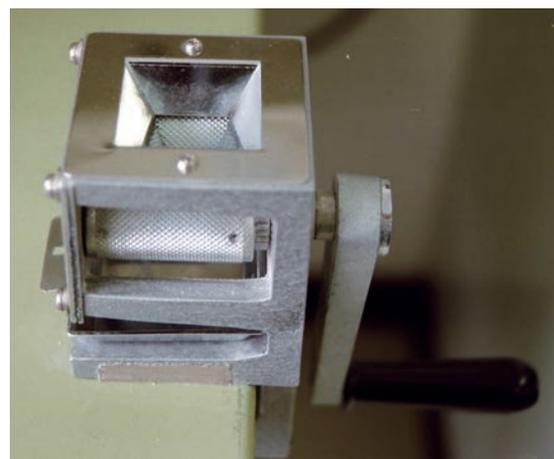


Fig.1 Hand-operated grinder (Grain Crusher, Kett Electric Laboratory, Japan).



Fig.2 Grains (left) and grains crushed using Grain Crusher (right) in the wheat lines with different grain texture.

Table 1 Criteria of kernel hardness and grain hardness score using Grain Crusher (hand-operated grinder).

Kernel hardness	Grain hardness score	Fragment size and cross section color of grinded grains using Grain Crusher
Soft	1	Many large fragment and white cross section color
Segregation	2	Mixture of various fragment size and various cross section color
Hard	3	Almost small and middle fragments, and amber cross section color

砕けた破片の大きさおよび破片の断面色を肉眼観察した。硬軟質性が既知の原粒を粉碎した場合、Fig. 2のように砕け方と砕けた破片の断面色に明確な品種間差異がみられた。軟質 (Soft) は大きい破片が多く、破片の断面色は白であった。一方、硬質 (Hard) は細かく砕けて中サイズの破片が多く、破片の断面色は琥珀色 (飴色) であった。また、硬軟質性が分離したもの (Segregation) は、様々な大きさの破片が混ざり、破片の断面色も白および琥珀色が混ざっていた。そこで、この判定法に従い原粒の硬軟質性を軟質、硬質および分離の3つに分類した。また、年次間相関係数などを算出しやすいように、手動粉砕機を用いた硬軟質性判定値として軟質を1、分離

を2、硬質を3とした (Table 1)。なお、硬軟質性の判定の際には、検定材料と硬軟質性が既知の標準品種 (うるち性は硬質「1CW」、「ハルイブキ」、分離「ASW」、軟質「キタカミコムギ」、「ネバリゴシ」、もち性は硬質「はつもち」、軟質「もち乙女」) と見比べて判定した。

2) 品質調査方法

上記の方法で硬軟質性を調査し、テンパーリング目標水分を硬質16%、分離15%、軟質14%に設定してテンパーリング加水を行った後、製粉試験はビューラーテストミルとブラベンダーテストミルを用いて行った。製粉方法は農林水産技術会議事務局 (1968) に従い、ビューラーテストミル製粉材料では60%粉 (製粉により6種類にふるい分けされた小麦粉のうち、灰分含量の少ない上級粉から計り取って製粉歩留が60%になるように調製した粉) を、ブラベンダーテストミル製粉材料ではA粉 (64G. Gのふるいでふるわれて早く落ちる粉で、灰分含量が低い上級粉) を品質試験に使用した。

60%粉またはA粉の比表面積はブレン空気透過粉末度測定器で測定した。60%粉またはA粉の比表面積により硬軟質性を硬質、分離および軟質の3つに分類する場合、硬軟質性が既知の材料の比表面積に基づき、60%粉、A粉ともに硬質は $2300\text{cm}^2/\text{g}$ 以下、分離は $2301\sim 2499\text{cm}^2/\text{g}$ 、軟質は $2500\text{cm}^2/\text{g}$ 以

上の基準で判定した。これらの分類はうるち性、もち性材料の両方に適用した。また、もち性材料については、うるち性より小麦粉平均粒度が細かい傾向があるので、60%粉比表面積が硬質3000cm²/g以下、分離3001~3199cm²/g、軟質3200cm²/g以上、A粉比表面積は硬質2700cm²/g以下、分離2701~2899cm²/g、軟質2900cm²/g以上の判定基準も適用した。そして、比表面積による硬軟質性判定値として、手動粉砕機を用いた硬軟質性判定値と同様に、軟質は1、分離は2、硬質は3とした。なお、比表面積の値は大きいほど、小麦粉粒度が細かいことを表す。

60%粉の粒度分布はレーザー回折式粒度分布測定機 HELOS & RODOS型（日本レーザー（Sympatec社）製）で測定し、粒度分布中央値を求めた。Particle size indexは全粒粉を用いてAACC法55-30の方法に準じて調査し、ふるい機としてテストシフター TS2-245型（東京製粉機製作所製）を用いた。また、ブラベンダーテストミルによる製粉材料のA粉割合は、伊藤ら（1995a）の算出方法で算出した（100×A粉重/（A粉重+B粉重））。

1999年度（2000年産）のもち・うるち性および硬軟質性が判明している4種類の材料（うるち性硬質20品種・系統、うるち性軟質21品種・系統、もち性硬質13系統、もち性軟質2系統）を用いて、ロボットシフターRPS-85P型（セイシン企業製）を使用して、手動粉砕機で粉砕した原粒破片の粒度分布を調査した。ふるい目の開きが2000、1400、850、500、250、150、90、38μmの8種類のふるいをこの順番で上から重ね、粉砕した5gをふるい上段に入れて、10分間振とう後、各ふるい上の重量および最下段のふるい下の重量を測定し、各ふるい上または下の重量割合を算出した。

ビューラーテストミル製粉材料の原粒・60%粉の品質試験は、蛋白含量とアミロース含量を除いて農林水産技術会議事務局（1968）に従った。原粒・60%粉蛋白含量は元素分析装置PE2410型（パーキンエルマー社製）で測定し、アミロース含量はJuliano（1971）に準じた方法で測定した。また、もち・うるち性の判定はアミロース含量により、アミロース含量2%以下をもち性、18%以上をうるち性と判定した。なお、アミロース含量と原粒外観から見て、もち・うるち性が固定していないと思われる系統は、試験材料として用いなかった。

Ikedo *et al.*（2005）および谷口ら（2008）の報告

により、ピュロインドリン遺伝子型が判明している硬質および軟質小麦を用いて、ピュロインドリン遺伝子型と手動粉砕機を用いた硬軟質性判定値との関係を調査した。

3) 手動粉砕機を用いた硬軟質性判定値と比表面積による硬軟質性判定値との適合率の算出法

手動粉砕機を用いた硬軟質性判定値と、A粉または60%粉比表面積による硬軟質性判定値との適合率を（100×両判定値の適合した材料数/全材料数）より算出した。

III 結 果

1. 手動粉砕機による硬軟質性判定値の産地間差

もち・うるち性、硬軟質性が異なる育成地および東北・北陸各県農試産材料を用いて、Table 2に手動粉砕機による硬軟質性判定値（Grain hardness score。以下、略して「硬軟質性判定値」と呼ぶ）と原粒品質を示した。うるち性（Nonwaxy）の「ナンブコムギ」、「キタカミコムギ」および「ネバリゴシ」は各産地とも1（軟質）、オーストラリア産「ASW」は硬軟質性が異なる品種のブレンドであるので2（分離）、そして「コユキコムギ」と「ハルイブキ」は各産地とも3（硬質）と判定された。また、もち性（Waxy）の「もち乙女」と「はつもち」は各産地ともそれぞれ1、3と判定された。以上の結果、うるち性、もち性の各品種ともに、産地が異なっても硬軟質性判定値は安定しており、変動は見られなかった。

原粒品質の水分含量（Moisture content）、灰分含量（Ash content）、蛋白含量（Protein content）および硝子率（Vitreousness）は、同一品種では産地間で差異が見られ、特に蛋白含量と硝子率の差異は大きかった。しかし、硬軟質性判定値は産地が変わっても同じであった。

硬軟質性判定値の調査は、サンプルの秤量、粉砕および肉眼観察を含めて、1時間当たり約60点が可能であった。また、反復間の誤差もなかった。

2. ピュロインドリン遺伝子型と硬軟質性判定値との関係

Table 3に、ピュロインドリン（Puroindoline）の *Pina*、*Pinb* 遺伝子型が判明している品種の硬軟質性判定値を示した。硬質を示す *Pina-Db/Pinb-D1a*、*Pina-D1a/Pinb-D1b* および *Pina-D1a/Pinb-D1c* の3遺伝子型の品種・系統はいずれも3（硬質）であっ

Table 2 Grain hardness score in the wheat cultivars produced at different agriculture experiment stations in Japan.

Nonwaxy or Waxy	Kernel Hardness	Cultivar	Station or Country	Grain hardness score *	Grain					
					Moisture content (%)	Ash content (%)	Protein content (%)	Vitreous- ness (%)		
Nonwaxy	Soft	Nanbukomugi	Tohoku	1	11.5	1.40	15.2	48		
			Aomori	1	12.2	1.39	11.8	15		
			Iwate	1	12.3	1.44	12.3	52		
			Iwate Kenhoku	1	12.2	1.46	11.7	16		
			Yamagata	1	12.2	1.43	10.7	–		
			Fukui	1	12.0	1.33	10.1	6		
		Kitakamikomugi	Tohoku	1	12.3	1.19	12.9	31		
			Aomori	1	12.0	1.33	8.6	2		
			Aomori Hataen	1	12.2	1.29	8.5	0		
		Nebarigoshi	Tohoku	1	12.4	1.08	12.2	7		
			Aomori	1	12.1	1.26	10.0	40		
			Aomori Hataen	1	12.1	1.22	10.2	20		
			Iwate	1	11.8	1.29	9.8	36		
			Iwate Kenhoku	1	12.5	1.18	9.4	25		
			Akita	1	12.2	1.19	8.5	9		
			Yamagata	1	11.8	1.22	8.9	2		
			Fukushima Aizu	1	12.3	1.23	9.2	5		
			Niigata	1	12.5	1.18	10.1	43		
			Segregation	ASW	Australia **	2	9.3	1.20	10.5	2
		Australia ***			2	9.1	1.10	10.9	43	
		Hard	Aobakomugi	Tohoku	3	9.6	1.15	13.7	68	
	Fukushima Aizu			3	12.3	1.46	8.7	14		
	Fukushima Souma			3	11.6	1.56	11.3	67		
	Koyukikomugi		Tohoku	3	12.3	1.02	11.8	59		
			Iwate	3	12.5	1.25	11.1	86		
			Iwate Kenhoku	3	12.1	1.25	9.6	45		
			Niigata	3	11.5	1.22	11.3	96		
	Haruibuki		Tohoku	3	12.4	1.02	14.7	53		
			Iwate	3	12.4	1.30	11.7	88		
			Iwate Kenhoku	3	11.6	1.33	11.2	39		
			Akita	3	11.4	1.41	10.0	21		
			Fukushima	3	11.4	1.38	11.4	51		
			Fukushima Aizu	3	12.3	1.42	10.2	3		
			Fukushima Souma	3	11.4	1.40	11.1	1		
	Waxy		Soft	Mochiotome	Tohoku	1	12.3	1.38	14.0	2
					Iwate	1	12.0	1.48	10.2	2
					Iwate Kenhoku	1	12.3	1.45	10.9	0
					Miyagi	1	12.4	1.41	12.8	0
					Yamagata	1	11.9	1.37	10.3	2
					Fukushima	1	11.9	1.44	10.7	0
		Hard	Hatsumochi	Tohoku	3	11.3	1.16	14.3	28	
				Akita	3	11.7	1.27	10.0	0	
				Yamagata	3	11.8	1.20	11.5	0	
				Fukushima Aizu	3	11.4	1.41	9.9	0	
				Fukui	3	12.4	1.33	10.7	4	

Note. 1) Samples in 1998 crop year.

2) * 1 : soft, 2 : Segregation, 3 : Hard. (by Grain Crusher)

3) **, *** : Samples in 1997, 1998 crop year, respectively.

Table 3 Classification based puroindoline genotypes and grain hardness score in the wheat cultivars.

Pina and Pinb genotype	Cultivar	Grain hardness score
<i>Pina-D1b/Pinb-D1a</i> *	Haruyutaka*, Kitamiharuru 60*, Glenlea*, Grandin*, Victoria INTA*, Wildcat*, Mochihime**	3
<i>Pina-D1a/Pinb-D1b</i> *	Aobakomugi*, Koyukikomugi*, Tohoku 205 (Haruibuki)*, Tohoku 214 (Yukichikara)*, Tohoku 215*, Kanto 123*, Katepwa*, Leader*, Monopol*, Neepawa*, Roblin*	3
<i>Pina-D1a/Pinb-D1c</i> *	Norin 67*, Haruhikari*	3
<i>Pina-D1a/Pinb-D1a</i> **	Nebarigoshi**	1

Note. 1) Samples in 1997 crop year.
 2) *: From Ikeda et al. (2005), **: From Taniguchi et al. (2008).
 3) Grain hardness score : 1=Soft, 3=Hard.

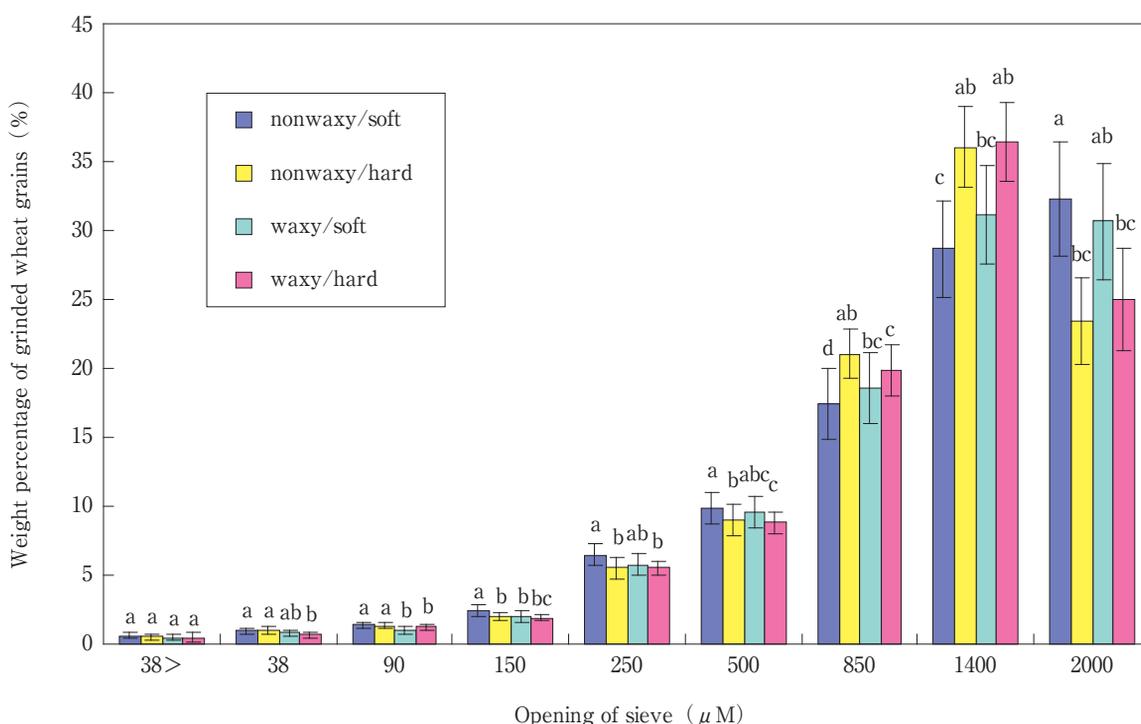


Fig. 3 Distribution of weight percentage of grinded wheat grains on each sieve by sifting using the Robot Shifter (Seishin Enterprise Co., Ltd.).

Note. 1) Wheat grains were grinded by the Grain Crusher. Weight percentage of grinded wheat grains=100× (the weight on each sieve) / (total weight).
 2) Different letters above the bars (standard deviation) indicate a significant difference at $P<0.05$ between four means at each opening of sieve (Tukey's HSD).

たのに対し、軟質のネバリゴシ (*Pina-Da/Pinb-D1a*型) は1 (軟質) であった。

3. 手動粉砕機による粉砕粉の粒度分布

もち・うるち性および硬軟質性 (軟質、硬質) が判明している品種・系統を用いて、手動粉砕機で粉砕した原粒破片をロボットシフターによりふるいがけし、粒度分布をFig. 3に示した。粒度分布は供試

品種・系統の平均値と標準偏差で示した。4材料ともふるいの目が大きくなるにつれ、重量割合が高くなる傾向が見られ、250~2000 μmの粒度がやや小~大の破片が全体の重量の大部分を占めた。4材料間に、ふるい目の大きい850、1400および2000 μm上の重量割合に大きな差異が認められ、その他のふるい目上では差が小さかった。うるち性・軟質の材

料は、粒度の最も大きい $2000\mu\text{m}$ のふるい上の重量割合が最も高く、もち性・軟質の材料も、 $1400\mu\text{m}$ および $2000\mu\text{m}$ 上の重量割合がほぼ同じで最も高かった。一方、うるち性・硬質、もち性・硬質の各材料は軟質よりふるい目が小さい $1400\mu\text{m}$ 上の重量割合が最も高く、軟質材料より5~8%重量割合が高かったが、 $2000\mu\text{m}$ 上では逆に軟質材料より6~10%低かった。以上のことから、うるち性、もち性ともに軟質は粒度が大きい粉砕碎片の割合が多いのに対し、硬質は中間的な粒度のものが最も多かった。

4. 硬軟質性判定値と比表面積の硬軟質性判定値との適合率

1998年度のもち・うるち性の異なる系統・品種を用いて、硬軟質性判定値と60%粉比表面積 (Specific surface area of 60% extraction flour) またはA粉比表面積 (Specific surface area of A flour) との関係を図4に示した。両方の関係とも負の関係がみられ、硬軟質性判定値が大きくなるにつれ、比表面積が小さくなる傾向が認められた。また、各硬軟質性判定値ともに、比表面積の大きな変異がみられた。

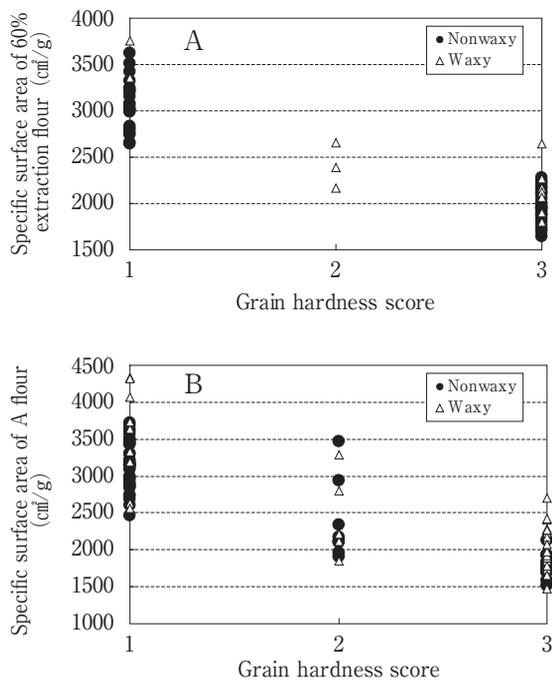


Fig. 4 Relationships between grain hardness score and specific surface area of 60% extraction flour (A) or A flour (B) in the nonwaxy or waxy lines.

Note. Grain hardness scores were classified using Hand Crusher. 1 : Soft, 2 : Segregation, 3 : Hard.

硬軟質性判定値が1 (軟質) と3 (硬質) の間では、うるち性、もち性とも明らかに比表面積の分布が異なり、またその分布の重なりがほとんどみられなかった。2 (分離) は1、3の中間に比表面積が分布した。なお、他の試験年度の材料についても上記と同様な結果が得られた (図省略)。

このように、硬軟質性判定値の間で比表面積の分布が明らかに異なったので、硬軟質性判定値がどの程度の正確さで真の硬軟質性を判定しているかを確かめるため、これと60%粉またはA粉の比表面積による硬軟質判定との適合率 (Percentage of fitness) を算出した。そして、60%粉比表面積との適合率はTable 4に、A粉比表面積との適合率はTable 5に示した。また、これらのTableには各硬軟質性判定値の材料数も合わせて示した。各硬軟質性判定値の材料数は、Table 4のビューラーテストミル製粉材料では、内外銘柄の一部を除いて硬軟質性が遺伝的に固定していたので、硬軟質性判定値が1 (軟質) と3 (硬質) が材料のほとんどを占め、2 (分離) はわずかであった。一方、Table 5のブラベンダーテストミル製粉材料は硬軟質性が遺伝的に分離した初期世代の系統を含むので、硬軟質性判定値が1と3が材料の大半を占めるものの、2の材料数はビューラーテストミル製粉材料より多く、特にもち性では多い傾向が見られた。

硬軟質性判定値と60%粉、A粉の比表面積による硬軟質判定との適合率は、比表面積による硬軟質性の判定基準を60%粉、A粉ともに硬質は $2300\text{cm}^2/\text{g}$ 以下、分離は $2301\sim 2499\text{cm}^2/\text{g}$ 、軟質は $2500\text{cm}^2/\text{g}$ 以上とした場合、うるち性では、60%粉、A粉ともに材料および試験年度が異なっても、ほとんどの材料が90%以上の適合率を示した。60%粉比表面積では育成材料 (Breeding lines) が97.6~100%、全材料で98.9%、東北・北陸地域各県農試材料 (「農林61号」, 「ASW」などの内外品種・銘柄を含む。以下「県農試材料」と呼ぶ (Local breeding materials)) は88.9~95.1%、全材料で92.5%と、いずれもかなり高かった (Table 4)。また、育成材料を用いたA粉比表面積でも87.5~95.2%、全材料では92.6%とかなり高い適合率を示した (Table 5)。なお、適合しなかった材料のほとんどは2 (分離) のもので、硬軟質性がまだ分離した初期世代の系統や、硬軟質性の異なる品種がブレンドされた外国産銘柄が多かった。

一方、もち性材料の適合率の場合は、60%粉比表

Table 4 Percentage of fitness between grain hardness score and kernel hardness classification by specific surface area of 60% extraction flour of Buhler Laboratory Mill in the breeding lines and local breeding materials.

Sample	Nonwaxy or Waxy	Crop year	Grain hardness score ³⁾			Number of total samples (a)	Number of fitted samples ⁴⁾ (b)	Number of fitted samples ⁵⁾ (c)	Percentage of fitness ⁴⁾ (100×b/a) (%)	Percentage of fitness ⁵⁾ (100×c/a) (%)
			1 (Number of samples)	2	3					
Breeding lines ¹⁾	Nonwaxy	1997	22	0	21	43	42	42	97.7	97.7
		1998	23	0	28	51	51	51	100.0	100.0
		1999	23	0	19	42	41	41	97.6	97.6
		2000	24	0	19	43	43	43	100.0	100.0
		Total	92	0	87	179	177	177	98.9	98.9
	Waxy	1997	2	0	2	4	4	4	100.0	100.0
		1998	2	3	7	12	8	9	66.7	75.0
		1999	2	2	14	18	7	16	38.9	88.9
		2000	2	0	10	12	5	12	41.7	100.0
		Total	8	5	33	46	24	41	52.2	89.1
Local breeding materials ²⁾	Nonwaxy	1997	30	2	22	54	48	48	88.9	88.9
		1998	33	4	24	61	58	58	95.1	95.1
		1999	26	1	20	47	43	43	91.5	91.5
		2000	24	1	26	51	48	48	94.1	94.1
		Total	113	8	92	213	197	197	92.5	92.5
	Waxy	1997	5	0	4	9	9	9	100.0	100.0
		1998	2	0	2	4	3	4	75.0	100.0
		1999	2	0	1	3	3	2	100.0	66.7
		2000	1	0	0	1	1	1	100.0	100.0
		Total	10	0	7	17	16	16	94.1	94.1

- Note. 1) Breeding lines and cultivars of the National Agricultural Research Center for Tohoku Region. Fall sowing.
 2) Lines and cultivars of the performance test for recommended varieties at each prefectural agricultural experiment station in the Tohoku and Hokuriku districts of Japan. Fall sowing.
 3) 1 : Soft, 2 : Segregation, 3 : Hard. (by Grain Crusher)
 4) Kernel hardness classification by specific surface area of 60% extraction flour: hard 2300cm²/g>, segregation 2300–2500cm²/g, soft 2500cm²/g<
 5) Kernel hardness classification by specific surface area of 60% extraction flour.
 Nonwaxy : hard 2300cm²/g>, segregation 2300–2500cm²/g, soft 2500cm²/g<
 Waxy : hard 3000cm²/g>, segregation 3000–3200cm²/g, soft 3200cm²/g<

面積では育成材料が38.9～100%、全材料で52.2%と低かった。逆に、県農試材料では、供試材料数は少ないものの、75.0～100%で、全材料で94.1%と高かった (Table 4)。また、育成材料を用いたA粉比表面積では72.1～83.3%、全材料では76.8%とやや高い適合率を示した (Table 5)。しかし、育成材料ではほとんど年次において、もち性材料はうるち性材料より適合率が低く、特に60%粉比表面積では低かった。もち性小麦はビューラーテストミルで製粉すると60%粉比表面積がうるち性より全体的に大きくなる傾向があった (Fig. 4, Fig. 6～7) ので、硬軟質性が明確な材料により比表面積による硬軟質性判定基準を硬質3000cm²/g以下、分離3001～3199cm²/g、軟質3200cm²/g以上とした場合の適合率も算出した (Table 4)。その結果、育成材料における適合率は

75.0～100%、全材料で89.1%と高くなり、うるち性材料の適合率に近づいた。また、A粉比表面積についても判定基準を硬質2700cm²/g以下、分離2701～2899cm²/g、軟質2900cm²/g以上として適合率を新たに算出したが、いずれの材料も60%粉比表面積のような適合率の大幅な向上はみられなく、全材料でも77.2%とわずか0.4%向上したに過ぎなかった (Table 5)。

硬軟質性判定値が2 (分離) の材料が多かったブラベンダーテストミル製粉材料について、各硬軟質性判定値におけるA粉比表面積との適合率を、Fig. 5に示した。うるち性、もち性ともに、硬軟質性判定値1 (軟質)、3 (硬質) ではいずれも82%以上の高い適合率を示したが、2 (分離) はうるち性5.3%、もち性15.8%と適合率が極めて低かった。な

Table 5 Percentage of fitness between grain hardness score and kernel hardness classification by specific surface area of A flour of Brabender Quadrumat Jr. Laboratory Mill in the breeding lines¹⁾.

Nonwaxy or Waxy	Crop year	Grain hardness score ²⁾			Number of total samples (a)	Number of fitted samples ³⁾ (b)	Number of fitted samples ⁴⁾ (c)	Percentage of fitness ³⁾ (100 × b/a) (%)	Percentage of fitness ⁴⁾ (100 × c/a) (%)
		1	2	3					
		(Number of samples)							
Nonwaxy	1996 ⁵⁾	48	4	42	94	89	89	94.7	94.7
	1996 ⁶⁾	12	1	8	21	20	20	95.2	95.2
	1997 ⁵⁾	56	6	56	118	110	110	93.2	93.2
	1998 ⁵⁾	41	8	15	64	56	56	87.5	87.5
	Total	157	19	121	297	275	275	92.6	92.6
Waxy	1996 ⁶⁾	32	8	26	66	55	56	83.3	84.8
	1997 ⁵⁾	49	25	48	122	88	87	72.1	71.3
	1998 ⁵⁾	9	5	26	40	32	33	80.0	82.5
	Total	90	38	100	228	175	176	76.8	77.2

- Note. 1) Breeding lines and cultivars of the National Agricultural Research Center for Tohoku Region.
 2) 1 : Soft, 2 : Segregation, 3 : Hard. (by Grain Crusher)
 3) Kernel hardness classification by specific surface area of A flour: hard 2300cm²/g>, segregation 2300 – 2500cm²/g, soft 2500cm²/g<
 4) Kernel hardness classification by specific surface area of A flour:
 Nonwaxy : hard 2300cm²/g>, segregation 2300 – 2500cm²/g, soft 2500cm²/g<
 Waxy : hard 2700cm²/g>, segregation 2700 – 2900cm²/g, soft 2900cm²/g<
 5) Fall sowing.
 6) Spring sowing.

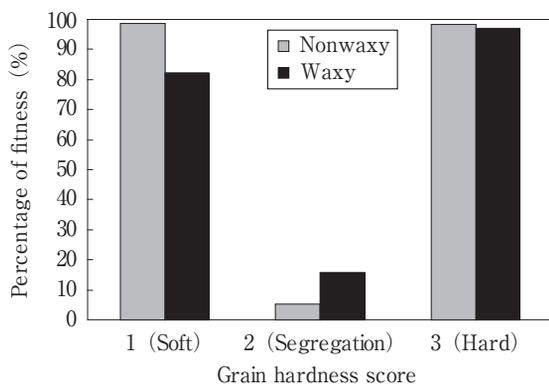


Fig. 5 Percentage of fitness between grain hardness score and kernel hardness classification by specific surface area of A flour in each grain hardness score.

- Note. 1) All samples in 1997~1999 crop year.
 2) Kernel hardness classification by specific surface area of A flour :
 Nonwaxy : hard 2300cm²/g>, segregation 2300 – 2500cm²/g, soft 2500cm²/g<
 Waxy : hard 2700cm²/g>, segregation 2700 – 2900cm²/g, soft 2900cm²/g<

お、2と判定された材料のうち、比表面積による硬軟質判定ではうるち性が硬質52.6%、軟質42.1%、もち性では硬質68.4%、軟質15.8%と、うるち性、もち性ともに硬質の割合が高かった (表省略)。

以上の結果、手動粉砕機を用いた硬軟質性判定値

と比表面積による硬軟質性判定値の適合率は、うるち性材料ではかなり高いが、もち性材料では比表面積の判定基準を変えてもうるち性よりやや低いまたは低かった。また、硬軟質性判定値が2 (分離) と判定された材料のその適合率が極めて低かった。

ビューラーテストミル製粉材料における60%粉比表面積とBM率との関係をFig. 6に示した。また、ブラベンダーテストミル製粉材料におけるA粉比表面積とA粉割合との関係を、Fig. 7に示した。硬軟質性は手動粉砕機を用いて判定した。なお、BM率、A粉割合ともに製粉試験におけるふるい抜け性の指標である。Fig. 6の60%粉比表面積とBM率の相関係数はうるち性材料では0.895と有意な正の高い相関を示したが、もち性材料では0.396と相関は低かった。両形質の回帰係数はうるち性の方がもち性より大きく、BM率の変異はうるち性では大きい、もち性では小さかった。また、Fig. 7のA粉比表面積とA粉割合の相関係数は、うるち性は-0.924、もち性では-0.873といずれも有意な負の高い相関を示した。また、両形質の回帰係数はうるち性の方がもち性より高かったので、A粉割合の変異はうるち性が大きかったのに対し、もち性では小さかった。

手動粉砕機による硬軟質性判定別の60%比表面積の分布は、うるち性材料では、硬質が1468~2274c

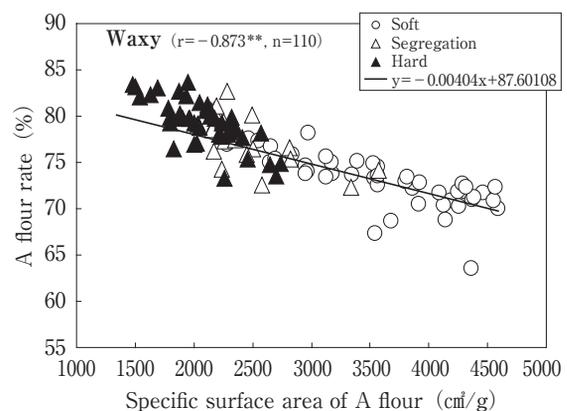
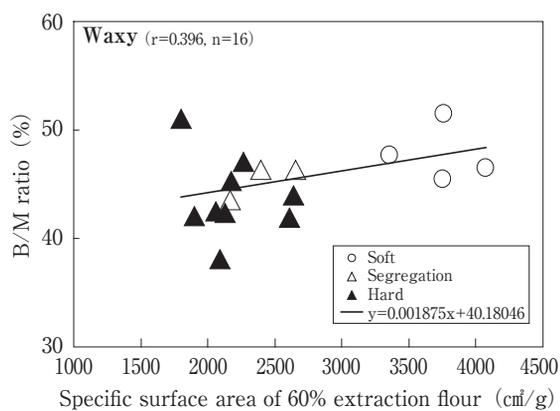
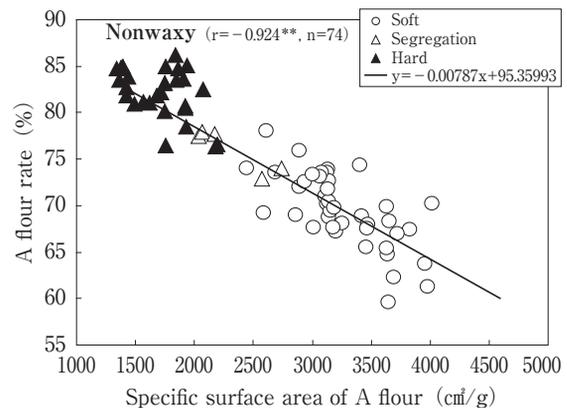
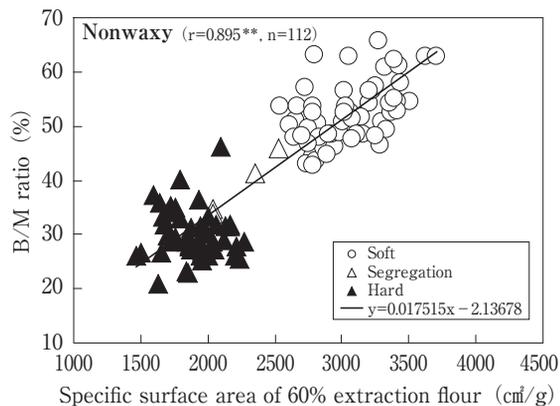


Fig. 6 Relationships between specific surface area of 60% extraction flour and B/M ratio in the nonwaxy or waxy wheat lines (1998 crop year).

Fig. 7 Relationships between specific surface area of A flour and A flour rate in the nonwaxy or waxy wheat lines (1997 crop year).

- Note. 1) Kernel hardness was classified using Hand Crusher.
 2) The samples were milled with Buhler Laboratory Mill.
 $B/M \text{ ratio} = (100 \times \text{break flour weight}) / \text{midling flour weight}$
 3) **indicate significance at $P < 0.01$.

- Note. 1) Kernel hardness was classified using Hand Crusher.
 2) The samples were milled with Brabender Quadrumat Jr. Laboratory Mill.
 $A \text{ flour rate} = (100 \times A \text{ flour weight}) / (A \text{ flour weight} + B \text{ flour weight})$
 3) **indicate significance at $P < 0.01$.

㎡/g (平均1891cm²/g)、分離が2035~2527cm²/g (平均2239cm²/g)、軟質が2537~3710cm²/g (平均3057cm²/g) であるに対し、もち性材料では硬質が1798~2642cm²/g (平均2185cm²/g)、分離が2170~2652cm²/g (平均2404cm²/g)、軟質が3355~4070cm²/g (平均3735cm²/g) にそれぞれ分布した。また、A粉比表面積は、もち性材料は硬質が1342~2180cm²/g (平均1722cm²/g)、分離が2039~2736cm²/g (平均2317cm²/g)、軟質が2445~4016cm²/g (平均3261cm²/g) であるに対し、もち性材料では硬質が1475~2698cm²/g (平均2019cm²/g)、分離が2143~3574cm²/g (平均2438cm²/g)、軟質が2285~4590cm²/g (平均3619cm²/g) にそれぞれ分布した。

以上の結果、60%およびA粉の平均比表面積は硬質、分離および軟質ともに、もち性の方がうるち性より大きい傾向を示した。また、手動粉砕機を用いた硬軟質判定は、Fig. 6、Fig. 7ともうるち性では硬質と軟質を明確に分けることができた。一方、もち性ではビュラーテストミル製粉材料では硬質と軟質を分けることができたが、ブラベンダーテストミル製粉材料の大部分の系統は硬質と軟質に分けられるものの、一部の材料は硬質と軟質が重なり合い判別できなかった。

6. 硬軟質性判定値の年次間関係

Table 6にビュラーテストミル製粉材料について、硬軟質性判定値と、硬軟質性の指標となってい

Table 6 Correlation coefficients between the crop years in the hardness characteristics.

Crop year	Nonwaxy or Waxy	Number of Samples ¹⁾	Grain hardness score ²⁾	60% extraction flour		
				Specific surface area	Middle value of particle distribution	Particle size index
1997vs1998	Nonwaxy	30	1 **	0.941 **	—	—
1998vs1999	Nonwaxy	33	0.985 **	0.923 **	—	0.817 **
	Waxy	8	0.812 *	0.857 **	—	0.813 *
	Overall	41	0.961 **	0.897 **	—	0.819 **
1999vs2000	Nonwaxy	36	0.997 **	0.954 **	0.911 **	—
	Waxy	14	0.934 **	0.953 **	0.967 **	—
	Overall	50	0.987 **	0.916 **	0.816 **	—

Note. 1) Breeding lines and cultivars of the National Agricultural Research Center for Tohoku Region.

2) Score using Grain Crusher.

3) * and ** indicate significance at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively.

る60%粉の比表面積、粒度分布中央値 (Middle value of particle distribution) およびParticle size indexの各特性の年次間相関係数を示した。硬軟質性判定値はうるち性が0.985~1、もち性が0.812~0.934といずれも有意な高い相関を示し、比表面積および粒度分布中央値も同様に高い相関を示した。一方、Particle size indexの相関係数はこれらの特性よりやや低かった。以上の結果、硬軟質性判定値は60%粉の比表面積および粒度分布中央値と同様に、年次による変動は小さく、かなり安定していた。

IV 考 察

もち・うるち性および硬軟質性が判明している材料を用いて手動粉砕機を用いた原粒破片の粒度分布を調査した結果、うるち性、もち性ともに軟質は粒度が大きい破片の割合が多いのに対し、硬質は中間的な粒度のものが最も多かった (Fig. 3)。この粒度分布の結果は、肉眼判定による硬軟質性判定とよく一致した。このため、原粒破片の肉眼観察により硬軟質性の判定できると考えられる。

同じ品種・系統の硬軟質性判定値は、産地が変わっても極めて安定しており、その判定値が水分含量、蛋白含量および硝子率などの原粒品質に影響を受けることはなかった。また、硬軟質性判定値の年次間相関係数は比表面積および粒度分布中央値と同様に高かった (Table 2, Table 6)。以上のことから、同じ品種・系統の硬軟質性判定値は栽培環境や他の原粒品質に影響を受けることがないので、遺伝的に固定した品種・系統であれば、産地、年次を問わず安定した判定値が得られると推察される。

小麦粉の比表面積により硬軟質性を分類できることが、Oda *et al.* (1992)、伊藤ら (1995a) により報告されている。また、伊藤ら (1995a) は、ブラベンダーテストミル製粉試験のA粉割合でも硬軟質性の分類ができることを明らかにした。本試験でも、ブラベンダーテストミル試験材料 (Fig. 7) では、うるち性、もち性ともにこれらの報告と一致した結果が得られ、特にうるち性では硬軟質性分類における比表面積とA粉割合の有効性が再確認された。また、ビューラーテストミル試験材料 (Fig. 6) では、うるち性においては、60%粉比表面積、BM率ともに小のグループと、これらがともに大のグループの2グループに明確に分類できたことから、60%粉比表面積のみならずBM率でも硬軟質性が分類できると考えられる。

硬軟質性判定値と60%粉比表面積およびA粉比表面積による硬軟質性判定値の適合率は、うるち性ではビューラーテストミルにおける育成材料全材料で98.9%、県農試材料全材料で92.5%、ブラベンダーテストミル全材料で92.6%といずれもかなり高く、年次による変動は小さかった (Table 4, Table 5)。Fig. 6, Fig. 7からも、うるち性では手動粉砕機を用いて判定した硬質と軟質の重なりはなく、両者の判別は十分できることがわかる。この適合率は、育成材料では、硬軟質性が遺伝的に固定したビューラーテストミル製粉材料の方が未固定材料を一部含むブラベンダーテストミル製粉材料よりやや高かった。また、ブラベンダーテストミル製粉材料では硬軟質性判定値が1、3と判定された材料に比べて2と判定されたものの適合率が極めて低かった (Fig.

5)。以上の結果から、うるち性においては、手動粉砕機による硬軟質性の判定精度は高いが、更にこの精度を高めるには、硬軟質性が遺伝的に固定した育成材料に適用するのがよいと考えられる。

一方、もち性では、育成材料においてはうるち性の比表面積による硬軟質性判定基準を適用した場合、比表面積による硬軟質性判定値との適合率は、ビューラーテストミル全材料で52.2%、ブラベンダーテストミル全材料で76.8%といずれも低く、年次による変動はうるち性より大きかった。また、その判定基準を比表面積が大きい方に変更した場合、その適合率はビューラーテストミル全材料で89.1%、ブラベンダーテストミル全材料で77.6%と、ビューラーテストミル全材料では適合率が向上したが、ブラベンダーテストミル全材料ではわずかに向上したにとどまり、これらの値でもうるち性よりやや低いまたは低かった (Table 4, Table 5)。この適合率がもち性ではうるち性より低い要因として、次の2点が考えられる。①初期世代のもち性系統は硬軟質性が未固定の系統が多く含まれていたために、硬軟質性判定値が2 (分離) と判定される系統が多くみられ、これらは比表面積との適合率が極端に低い (Fig. 5) ので、全体のその適合率を押し下げている。②もち性ではA粉比表面積が2500cm²/gあたりに硬質と軟質が重なり合い、この比表面積の前後では硬軟質性の判定ができにくかったことによる。一方、うるち性ではその重なり合いが見られない (Fig. 6)。以上の結果、手動粉砕機による硬軟質判定は、もち性ではうるち性よりその判定精度がやや劣るものと推察されるが、世代を進めて硬軟質性の遺伝的な固定度を高めれば、うるち性に近い判定精度が期待できるものと考えられる。

もち性はうるち性より、硬質、軟質 (いずれも手動粉砕機による) とともに比表面積の品種・系統間変異が大きく、平均比表面積が大きい傾向がある (Fig. 4, Fig. 6~7)。この結果、比表面積による硬軟質性判定の精度を上げるには、うるち性ともち性では比表面積の判定基準を変え、もち性はうるち性より比表面積を大きめにとる必要があると考えられる。

硬質品種と軟質品種との交配組合せでは、世代を進めて硬軟質性を選抜・固定を図ると、すべて硬質または軟質の個体・系統として固定する。硬軟質性判定値が2 (分離) の材料は比表面積が1と3の中間に分布するものが多い (Fig. 4, Fig. 7) ので、

硬軟質性が遺伝的に分離しているものが多いと推定されるが、比表面積からみるとうるち性、もち性ともに分離よりむしろ硬質または軟質と判定される割合が高かった。このような結果になった要因は、2の材料は系統間では硬軟質性の遺伝的固定度の異なるため硬質粒と軟質粒の混合割合に差異が生じ、これが硬軟質性判定値の判定ミスにつながり、その結果、比表面積との適合率が極端に低くなったものと推察される。このため、硬軟質性判定値2の材料はさらに選抜・固定を図り、再度硬軟質性選抜を加える必要があると考えられる。

5D染色体短腕に座乗している硬軟質性 (*Ha*) 遺伝子座は六倍体小麦 (*Triticum aestivum* L.) の原粒の硬軟質性の主な決定要因である (Mattern *et al.* 1973)。澱粉粒表層タンパク質のピュロインドリナ (*Pina-D1*) とピュロインドリナ (*Pinb-D1*) および原粒軟質性関連タンパク質 (*Gsp-D1*) の3遺伝子が*Ha*遺伝子座と密接に連鎖している (Giroux *et al.* 1998, Jolly *et al.* 1996, Tranquilli *et al.* 2002)。ピュロインドリナ および b (PIN-a, PIN-b) は、PIN-aをコードする遺伝子 *Pina-D1a* 遺伝子の欠失、PIN-bをコードする遺伝子 *Pinb-D1a* 遺伝子の点突然変異などによって種子が硬質になる。日本の小麦品種・系統においては、めん用硬質品種・系統はほとんど *Pinb-D1a* の G46S 変異遺伝子型 (*Pina-D1a/Pinb-D1b*) であるが、パン用品種・系統には *Pina-D1a* 欠失型 (*Pina-D1b/Pinb-D1a*)、*Pinb-D1a* の G46S 変異型 (*Pina-D1a/Pinb-D1b*) および *Pinb-D1a* の L60 変異型 (*Pina-D1a/Pinb-D1c*) の3遺伝子型が存在する (池田ら 2003, Ikeda *et al.* 2005)。東北農業研究センター (旧・東北農業試験場) で育成された主要な硬質・パン用品種・系統の「アオバコムギ」、「コユキコムギ」、「ハルイブキ」、「ゆきちから」および「東北215号」はすべて *Pina-D1a/Pinb-D1b* の遺伝子型である (Ikeda *et al.* 2005)。一方、最近育成された硬質・もち性品種「もち姫」は *Pina-Db/Pinb-D1a* 遺伝子型である (谷口ら 2008)。東北農業研究センターでは以前からパン用の交配母本として、北米のパン用品種を積極的に使用してきたが、北米の品種は *Pina-Db/Pinb-D1a* と *Pina-D1a/Pinb-D1b* をもつ品種がほとんどである (Ikeda *et al.* 2005)。以上の報告から、東北農業研究センター育成の品種・系統は *Pina-D1b/Pinb-D1a* と *Pina-D1a/Pinb-D1b* の2つの遺伝子

型のものが主体であると考えられる。手動粉砕機を用いた硬軟質性判定値はPina-D1b/Pinb-D1a、Pina-D1a/Pinb-D1bおよびPina-D1a/Pinb-D1cをもつ品種・系統ともに3（硬質）を示し、Pina-D1a/Pinb-D1aは1（軟質）を示したことから（Table 3）、手動粉砕機を用いた硬軟質性判定法はすべてのピュロインドリノ遺伝子型の判定に使用できるものと考えられる。

手動粉砕機を用いた硬軟質性の判定では、軟質、分離、硬質の3つに大きく分類できるだけで、Particle size indexやSingle-kernel characterization systemの硬度指数のようにこれらをさらに細かく分類できる方法ではないが、製粉前のテンパーリング目標水分含量を決定する際、有効な手法になると考えられる。テンパーリングの目標水分含量は、ビューラーテストミルの場合、硝子質粒（硬質）が16%、硝子質粒（軟質）および中間質粒15%、粉状質粒（軟質）14%となっている（農林水産技術会議事務局 1968）。テンパーリングの加水は製粉試験1日前に行うので、それ以前にテンパーリングの目標水分を決定しておく必要がある。近年、東北農業研究センターを含めた日本の小麦育種試験地では、めん用、パン用およびもち性など用途の異なる育種材料を同時に扱う場合が多いので、この硬軟質別目標水分の正確な決定は重要である。原粒水分用に一般に利用されている手動粉砕機を用いた硬軟質検定法は、製粉材料の原粒水分測定の際に適用でき、しかもかなり正確に硬軟質性が判定できるので、硬軟質性判定のミスによるテンパーリング加水の間違いを少なくでき、正確な製粉試験に貢献できるものと考えられる。

また、本判定法1時間当たり約60点の判定が可能であるので、製粉試験のみならず、育種材料の初中期世代の硬軟質性が固定した多数の個体、系統の硬軟質性選抜の際、簡易に適用でき、しかもうるち性小麦、もち性小麦のどちらにも適用可能である。特に硬質、軟質ともに粒質が粉状質に見えるもち性小麦（吉川ら 1997、吉川ら 1999）には適用する価値が高いと考えられる。東北農業研究センターでは、実際にもち性小麦育種の中で本検定法を適用して、硬質・もち性の個体を初期世代に選抜し、その後もち性小麦の欠点である製粉性、粉色などを選抜・改良して、栽培特性および品質がともに優れた「もち姫」を育成した（谷口ら 2008、吉川ら 2009）。

手動粉砕機を用いた硬軟質性判定上の注意点として、原粒水分が10%以下の過乾燥の材料は、細かく粉砕されて軟質、硬質の差異が縮まる傾向があるので、硬軟質性の判定が難しくなる。このため、硬軟質性を精確に判定するための最適な原粒水分含量は、11~13%である。因みに、この水分含量はテンパーリング加水にも適している。本試験のほとんどの材料は原粒水分が11~13%の範囲にあったので、手動粉砕機を用いた硬軟質性判定には支障はなかった。

引用文献

- 1) American Association of Cereal Chemists. 1999. Approved methods of the AACC. Method 55-30. Particle size index for wheat hardness. St Paul, USA.
- 2) American Association of Cereal Chemists. 1999. Approved methods of the AACC. Method 55-31. Single-kernel characterization system for wheat hardness. St Paul, USA.
- 3) Chesterfield, R.S. 1971. Modified barley pearler for measuring hardness of Australian wheats. Journal of Australian Institute of Agricultural Science. 37 : 148-151.
- 4) Gaines, C. S.; Finney, P. F.; Fleege, L. M.; Andrews, L. C. 1996. Predicting a hardness measurement using the single-kernel characterization system. Cereal Chem. 73 : 278-283.
- 5) Giroux, M. J.; Morris, C. F. 1998. Wheat grain hardness results from highly conserved mutations in the friabilin components puroindoline a and b. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 95 : 6262-6266.
- 6) Hong, B. H.; Rubenthaler, G. L.; Allan, R. E. 1989. Wheat pentosans. II. Estimating kernel hardness and pentosans in water extracts by near-infrared reflectance. Cereal Chem. 66 : 374-377.
- 7) 池田利良. 1961. 日本における硬質小麦の研究. 東海近畿農業試験場特別報告（栽培第1部）第2号 : 1-55.
- 8) 池田達哉, 長嶺 敬, 矢野 博. 2003. 小麦の硬軟

- 質性に関わるピュロインドリソリン遺伝子型の分類. 平成14年度近畿中国四国研究成果情報 : 57-58.
- 9) Ikeda, T. M.; Ohnishi, N.; Nagamine, T.; Oda, S.; Hisatomi, T.; Yano, H. 2005. Identification of new puroindoline genotypes and their relationship to flour texture among wheat cultivars. *J. Cereal Sci.* 41:1-6.
- 10) 伊藤誠治, 佐藤暁子, 星野次汪. 1995a. 東北地方におけるコムギの品質に関する研究 第3報 コムギ品種の製粉性と硬軟質性の分類. *日作紀* 64 : 27-32.
- 11) 伊藤誠治, 佐藤暁子, 星野次汪. 1995b. 外国品種及び東北品種・系統の硬質・軟質コムギ別の品質特性. *東北農試研究資料* 17 : 41-59.
- 12) 伊藤誠治, 八田浩一, 吉川 亮, 星野次汪. 1996a. コムギの全粒粉の粒度による硬軟質性の分類と製粉性の選抜. *育雑* 46 (別1) : 188.
- 13) 伊藤誠治, 八田浩一, 吉川 亮. 1996b. コムギの全粒粉の粒度による製粉性選抜効果. *育雑* 46 (別2) : 212.
- 14) Jolly, C. J.; Glenn, G.; Rahman S. 1996. *GSP-1* genes are linked to the grain hardness locus (*Ha*) on wheat chromosome 5D. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93 : 2408-2413.
- 15) Juliano, B. O. A. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Sci. Today.* 16 : 334-360.
- 16) Liu, K. 2008. Measurement of wheat hardness by seed scarifier and barley pearler and comparison with single-kernel characterization system. *Cereal Chem.* 85 : 165-173.
- 17) Maghirang, E. B.; Dowell F. E. 2003. Hardness measurement of bulk wheat by single-kernel visible and near-infrared reflectance spectroscopy. *Cereal Chem.* 80 : 316-322.
- 18) Manley, M.; Van Zyl L.; Osborne B. G. 2002. Using Fourier transform near infrared spectroscopy in determining kernel hardness, protein and moisture content of whole wheat flour. *Journal of near infrared spectroscopy.* 10 : 71-76.
- 19) Mattern, P. J.; Morris, R.; Schmidt, J. W.; Johnson, V. A. 1973. Locations of genes for kernel properties in the wheat variety 'Cheyenne' using chromosome substitution lines. *Proc. 4th int. Wheat Genet. Symp.* (Columbia, Missouri) : 703-707.
- 20) Matus-Cadiz, M. A.; Hucl, P.; Perron, C. E.; Tyler, R. T. 2003. Genotype × environment interaction for grain color in hard white spring wheat. *Crop Sci.* 43 : 219-226.
- 21) McCluggage, M. E. 1943. Factors influence the pearling test for kernel hardness in wheat. *Cereal Chem.* 20 : 686-700.
- 22) Miller, B. S.; Afework S.; Hughes J. W.; Pomeranz Y. 1981. Wheat hardness: time required to grind wheat with the Brabender Automatic. Micro Hardness Tester. *J. Food Sci.* 46 : 1863-1865.
- 23) 長尾精一. 2009. 小麦・小麦粉の科学 (財)製粉振興会編 小麦粉のおはなし). (財)製粉振興会ホームページ (<http://www.seifun.or.jp>).
- 24) 農林水産技術会議事務局. 1968. 小麦品質検定方法 —小麦育種試験における—. *研究成果* 35 : 1-70.
- 25) Oda, S.; Komae, K.; Yasui, T. 1992. Relation between starch granule protein and endosperm softness in Japanese wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Jpn. J. Breed.* 42 : 161-165.
- 26) Orth R. 1977. Determination of kernel hardness of Australian wheats by a rapid grinding procedure. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 17 : 462-465.
- 27) Pearson T.; Wilson J.; Gwirtz J.; Maghirang E.; Dowell F.; McCluskey P.; Bean S. 2007. Relationship between single wheat kernel particle-size distribution and Perten SKCS 4100 Hardness Index. *Cereal Chem.* 84 : 567-575.
- 28) 佐藤暁子, 小綿美環子, 渡辺 満. 1998. 世代促進栽培におけるコムギの硬軟質性の選抜. *東北農試研報* 93 : 101-106.
- 29) Symes, K.S. 1965. The inheritance of grain hardness in wheat as measured by the particle size index. *Aust. J. Agric. Res.* 16 : 113-123.
- 30) Taylor, J. W.; Bayles, B. B.; Fifield, C. C. 1939. A simple measure of kernel hardness in wheat. *J. Amer. Soc. Agron.* 31 : 775-784.

- 31) 谷口義則, 伊藤裕之, 平 将人, 前島秀和, 吉川亮, 中村和弘, 八田浩一, 中村 洋, 伊藤美環子, 伊藤誠治. 2008. 製粉性, 粉の色相及び収量性が改善された寒冷地向けもち性小麦新品種「もち姫」の育成. 東北農研研報 109 : 15-29.
- 32) Tranquilli, G.; Heaton, J.; Chicaiza, O.; Dubcovsky, J. 2002. Substitutions and deletions of genes related to grain hardness in wheat and their effect on grain texture. *Crop Sci.* 42 : 1812-1817.
- 33) Williams, P. C.; Sobering, D. C. 1986. Attempts at standardization of hardness testing of wheat. I. The grinding/sieving (particle size index) method. *Cereal Foods World* 31 : 359.
- 34) 安井 健. 1993. コムギの製粉性およびめん適性の簡易評価法の開発と応用. 育雑 43 (別2) : 156.
- 35) 吉川 亮, 八田浩一, 伊藤誠治, 中村和弘. 1997. 小麦の粒質によるモチ性種子の簡易選抜法. 東北農業研究 50 : 89-90.
- 36) 吉川 亮, 中村和弘, 八田浩一. 1999. コムギのもち性及び硬軟質性の簡易選抜法. 育種学研究 1 (別1) : 147.
- 37) 吉川 亮, 中村和弘, 伊藤誠治, 八田浩一, 中村俊樹, 山守 誠, 中村 洋, 伊藤美環子, 星野次汪. 2009. もち性小麦品種「はつもち」および「もち乙女」の育成とその特性の遺伝的改良. 東北農研研報 110 : 45-66.