

うるち性およびもち性小麦のポリフェノール含量の品種・ 系統間差異並びにポリフェノール含量と製粉性・品質との関係

吉川 亮^{*1)}・中村 和弘^{*2)}・伊藤美環子^{*3)}

抄 録：1998、1999および2002年の3カ年のうるち性およびもち性の品種・系統を用いて、全粒粉のポリフェノール含量（以下WPO）と60%粉のポリフェノール含量（以下FPO）の品種・系統間差異を調査した。また、WPOまたはFPOと製粉性、小麦粉品質、生地物性および製めん・製パン適性との関係について検討した。

WPO、FPOはいずれも品種・系統間差異が大きく、これらは一般にもち性品種・系統の方がうるち性より高い傾向がみられた。また、WPO、FPOともに年次間および栽培様式間の相関が高く、環境に対する安定性を示した。

うるち性、もち性および全材料ともに、FPOと製粉歩留、ミリングスコア、セモリナ粉碎率、60%粉灰分含量および粉色との間にいずれも有意な負の相関が認められた。FPOとファリノグラムおよびエクステンソグラム特性との関係の結果から、一般にFPOが低くなるにつれ、生地が強力的な傾向になることが示唆された。一方、FPOと製めん適性または製パン適性との関係はほとんど認められなかった。WPOと製粉性、小麦粉品質等との間の相関係数は、一般にFPOより低かった。

キーワード：小麦育種、全粒粉、小麦粉、ポリフェノール含量、うるち性、もち性、製粉性、小麦粉品質、製めん適性、製パン適性

Genotypic Variation in Polyphenol Content of Nonwaxy Wheat and Waxy Wheat, and Relationships between Polyphenol Content and Milling Characteristics or Flour Qualities. : Ryo YOSHIKAWA^{*1)}, Kazuhiro NAKAMURA^{*2)} and Miwako ITO^{*3)}

Abstract : Genotypic variation in whole meal flour polyphenol content (WPO) and 60% extraction flour polyphenol content (FPO) using nonwaxy and waxy wheat cultivars and lines was investigated at NARO Tohoku Agricultural Research Center (Morioka, Iwate, Japan) for three years in 1998, 1999, and 2002. Moreover, the relationships between WPO or FPO and wheat qualities (milling characteristics, flour quality, Japanese noodle quality, and bread-making quality) were examined.

Genotypic variation in the WPO and FPO of nonwaxy wheat and waxy wheat was large, and the WPO and FPO of waxy cultivars and lines were generally higher than those of nonwaxy cultivars and lines. Both WPO and FPO had significant high correlation coefficients between crop years and between cultivation methods, and showed stability for various cultivation conditions.

There were significant negative correlation coefficients between FPO and flour yield, milling score, flour yield from semolina, 60% flour ash content, R455 (whiteness of flour color), and flour color L* (brightness), and significant positive correlation coefficients were found between FPO and color value in each of the nonwaxy, waxy and overall cultivars for three years. Also, there was a significant negative correlation coefficient between FPO and R554 (brightness of flour color) with the exception of the waxy sample from 1999. In the waxy samples in 1999 and 2002, there were significant, negative and high correlation coefficients between FPO and maximum viscosity or the break-

*1) 現・農研機構 中央農業総合研究センター (NARO Agricultural Research Center, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan)

*2) 農研機構 東北農業研究センター (NARO Tohoku Agricultural Research Center, Morioka, Iwate 020-0198, Japan)

*3) 現・農研機構 北海道農業研究センター (NARO Hokkaido Agricultural Research Center, Memuro, Hokkaido 082-0081, Japan)

down of amylogram. There were significant correlation coefficients between FPO and Wk or VV on farinogram in most samples. The relationships between FPO and A, R or R/E on extensogram had significant negative correlations when the results for 2002 were removed. Thus, generally, the lower the FPO was, the stronger the dough properties became. On the other hand, the relationships between FPO and the Japanese noodle qualities or bread-making qualities were difficult to identify.

The correlation coefficients between WPO and wheat qualities were generally lower than those between FPO and wheat qualities.

Key Words : Wheat breeding, Whole meal flour, Wheat flour, Polyphenol content, Nonwaxy, Waxy, Milling characteristics, Flour quality, Japanese noodle quality, Bread-making quality

I 緒 言

ポリフェノールは食品に含まれる色素やあくの成分、褐変反応の原因物質として知られ、最近では抗酸化性のある機能性成分として脚光を浴びている。穀類でもっとも豊富に存在するポリフェノールはフェルラ酸で、小麦粒には0.8-2g/kg(乾物)含まれ、総ポリフェノールの90%はこの形で存在する(Sosulski *et al.* 1982, Lempereur *et al.* 1997)。フェルラ酸は主に小麦粒の外皮部分に存在し、アリュエロン層と果皮には全フェルラ酸量の98%が含まれている。このため、ポリフェノールは主にふすまに含まれており、フェルラ酸量は各製粉段階で採取される小麦粉により異なる(Lempereur *et al.* 1997)。小麦のポリフェノールは、小麦外皮からの重量で20%以内の部分に集中して存在している(Beta *et al.* 2005)。

小麦粒のポリフェノール含量の品種間差異に関しては、原粒、ふすまについては多くの報告(原粒: Lachman *et al.* 2003, Chloupek *et al.* 2008, 伊藤 2009, Heimler *et al.* 2010, Masum Akond *et al.* 2010, Lackman *et al.* 2011, ふすま: Verma *et al.* 2008, Jonnala *et al.* 2010)があるが、小麦粉については少なく、我が国の研究者による報告(Yanagisawa and Amano 1996, 小綿ら 2000, 吉川ら 2001, 伊藤 2009)がほとんどである。

ポリフェノール含量と小麦品質との関係の報告では、原粒のポリフェノール含量またはフェルラ酸量と抗酸化活性との関係の報告(Adom *et al.* 2003, Beta *et al.* 2005, Verma *et al.* 2008, Masum Akond *et al.* 2010, Heimler *et al.* 2010)は多くあるものの、小麦粉のポリフェノール含量と小麦粉品質との関係の報告は、著者ら(小綿ら 2000, 吉川

ら 2001)とChloupek *et al.* (2008)、不溶性結合フェルラ酸量と小麦粉品質ではHatcher and Kruger (1997)の報告があるに過ぎない。

そこで、本報告では、東北農業研究センターで育成したうるち性、もち性の小麦育種材料を用いて、原粒(全粒粉)または小麦粉のポリフェノール含量と製粉性、小麦粉品質および製めん・製パン適性との関係について検討した。なお、本報告の一部の概要は著者らがすでに報告しているが(小綿ら 2000, 吉川ら 2001)、今回は年次、分析材料および品質分析項目を増やしている。

II 材料と方法

1. 材料および栽培方法

供試材料は、東北農業研究センターにおける、1998、1999および2002年(年次は収穫年、以下同じ)の生産力検定予備試験および生産力検定試験で栽培された小麦品種および育成中の系統である。これらの材料はもち・うるち性、硬軟質性が異なり、うるち性品種・系統はパン用、めん用(日本式めん)と用途が異なる。品種・系統数は、1998年はうるち性43、もち性4の計47、1999年はうるち性50、もち性12の計62、そして2002年はうるち性44、もち性9の計53である。品質選抜に関しては、うるち性系統は主に製めん適性または製パン適性により選抜され、もち性系統は主に製粉性、粉色により選抜されている。うるち性品種・系統の中には低アミロース含量、やや低アミロース含量および通常のアミロース含量というWx蛋白質が異なるものが含まれている(Table 3)。また、もち性品種・系統の中で、1998年材料は世界で初めて育成したもち性小麦品種「はつもち」、「もち乙女」で、これらは製粉性と粉色がかなり劣る(吉川ら 2009)。1999、2002年のもち

性材料は、これら2品種と、製粉性と粉色を大幅に改良した系統「東北糯216号」、「東北糯217号（後の「もち姫）」を含んでいる。なお、これらのもち性特性は、「関東107号」/「白火」または「西海173号」/「白火」の交配組合せから由来している。

栽培様式は、生産力検定予備試験が標準畦立栽培、生産力検定試験が標準畦立栽培およびドリル播栽培の2様式で、播種期は両試験とも9月下旬播き（9月24～29日）の適期播であったが、1999年のドリル播のみ長雨のため10月5日の晩播となった。播種量は標準畦立栽培が6 kg/10a、ドリル播栽培が7 kg/10aとした。施肥量は、堆肥2 t/10a（1999年は施用なし）、石灰50 kg/10a、重過リン酸石灰（アメリカハイリン酸）55 kg/10aとともに、元肥は成分量でN 4.8～6.4 kg/10a、P₂O₅ 16.2～21.6 kg/10a、K₂O 12～16 kg/10a、追肥は1998～1999年はN 2 kg/10a、2002年はN 2 kg/10a、P₂O₅ 1.43 kg/10a、K₂O 2.29 kg/10a、ホウ素40 g/10aを施用した。

2. 品質試験法

原麦はビューラー式テストミルで製粉し、製粉試験は農林水産技術会議事務局（1968）の方法に準じた。なお、もち性品種・系統はうるち性に比べて粉のふるい抜けが劣る傾向があるため、硬質、軟質ともテストミルのプレーキロールの間隙およびふるい目は軟質の製粉条件とした。製粉試験では製粉歩留、BM率、セモリナ生成率、セモリナ粉碎率、ミリングスコアおよび灰分移行率を調査した。品質試験用小麦粉として60%粉を用いた。60%粉は、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である。

ポリフェノール含量の測定には、全粒粉（原麦を粉碎機で粉碎したもの）と60%粉を用いた。なお、2002年は60%粉のみを用いた。ポリフェノールの測定時期は製粉・粉碎後、1998年は約15ヶ月（その間約12ヶ月は4℃で低温保存）、1999年と2002年はいずれも約3ヶ月とした。ポリフェノール含量はブルシアンブルー法（栃木県農業試験場栃木分場ビール麦醸造用品質改善指定試験地 1998）で測定した。なお、測定に当たっての改良点は、サンプル抽出液とフェリシアン化カリウム+塩化鉄混合試薬が反応する段階では、光により敏感に反応し、データが攪乱されるので、実験室を暗くして試薬を迅速に入れた（栃木分場の方法では記載なし）。その後、直ち

に25℃にセットした暗黒下の定温器に入れ、1.5時間静置したところである（栃木分場の方法では20℃20分～25℃16分）。ポリフェノール含量は（+）-カタキン当量で表し、生重1 g当たりの重量で示した。

全粒粉、60%粉の灰分含量、60%粉のセディメンテーション値、60%粉の色（反射率）、ファリノグラム、エキステンソグラム（うるち性のみ）およびアミログラムの測定は、農林水産技術会議事務局（1968）の方法に従った。全粒粉および60%粉の蛋白含量は元素分析装置（パーキンエルマー社PE2410型）で窒素含量を測定し、蛋白質係数は5.70を用いた。また、60%粉について、アミロース含量はJuliano（1971）に準じた方法で、比表面積はブレン空気透過粉末測定器で、カラーバリューはKent-Jones and Martinフラワーカラーグレーダーで、そして粉色のL*（明度）、a*（赤み程度）およびb*（黄色み程度）は分光測色計（コニカミノルタ社製CM-3500d）で、それぞれ測定した。澱粉を用いたWx蛋白質の有無は、Nakamura *et al.*（1992）に準じた方法で調査した。

うるち性品種・系統については製めん適性および製パン適性を調べるため、製めん適性は食糧庁（1997）に準じた方法、製パン適性は60%粉300 gを用いた吉川ら（1999）の方法で調査した。

3. データ解析法

データ解析に当たっては、各年次とも試験および栽培様式をこみにして行った。全粒粉ポリフェノール含量（以下WPO）、60%粉ポリフェノール含量（以下FPO）および製粉によるポリフェノール含量の低減率（FPO/WPOにより算出）のそれぞれについて、うるち性品種・系統の平均値ともち性品種・系統の平均値の差を最小有意差により検定した。また、うるち性品種・系統においては、WPO、FPOおよびFPO/WPOのそれぞれについて硬質、軟質の各平均値の差を最小有意差により検定した。さらに、1998～1999年両年に供試されたうるち性およびもち性品種・系統を用いて、WPO、FPOおよびFPO/WPOの年次間相関係数および栽培様式間相関係数を算出した。

次に、WPOおよびFPOと製粉特性、全粒粉・60%粉品質特性、生地の物理性および製めん・製パン適性との相関係数を算出した。

Ⅲ 結 果

Table 1 にWPO、FPOおよびFPO/WPOにおけるうるち性 (Nonwaxy) 品種・系統 (以下、うるち性) ともち性 (Waxy) 品種・系統 (以下、もち性) の各平均値、標準偏差、最大値、最小値並びにレンジを示した。各年次のうるち性、もち性とも、WPO、FPOのいずれにも大きな品種・系統間差異が認められた。うるち性ではWPOは1998年が0.272~0.499mg/g、1999年が0.343~0.516mg/gと約1.5~1.8倍の差が、FPOは1998年が0.071~0.264mg/g、1999年が0.107~0.263mg/gそして2002年が0.146~0.234mg/gと約1.6~3.7倍の差がみられた。FPOのレンジは2002年は他の年次に比べて小さかった。一方、もち性ではWPOは1998年が0.509~0.546mg/g、1999年が0.412~0.607mg/gと約1.1~1.5倍の差が、FPOは1998年が0.266~0.357mg/g、1999年が0.218~0.382mg/gそして2002年が0.163~0.316mg/gと約1.3~1.9倍の差がみられた。うるち性ともち性を込みにした場合は、WPOは1998年が0.272~0.546mg/g、1999年が0.343~0.607mg/gと約1.8~2.0倍の差が、FPOは1998年が0.071~0.357mg/g、1999年が0.107~0.382mg/gそして2002年が0.146~0.316mg/gと約2.2~5.0倍の差がみられた。

また、各年次ともに、WPO、FPOの各平均値はもち性の方がうるち性より高く、うるち性平均値ともち性平均値の差の検定はすべて1%水準で有意差が認められた。

製粉によるポリフェノール含量の低減率を表すFPO/WPOも大きな品種・系統間差異がみられ、うるち性では1998年が0.260~0.664、1999年が0.240~0.663と2.5~2.7倍の差異が、もち性では1998年が0.501~0.702、1999年が0.487~0.788と1.4~1.6倍の差異がみられ、うるち性の方がもち性より差異が大きかった。また、FPO/WPOの平均値をうるち性ともち性の間で比較すると、明らかにもち性の方がうるち性より高く、これら平均値の差の検定でも1%水準で有意差が認められた。

Fig. 1に各年次におけるWPOおよびFPOの度数分布を示した。「はつもち」、「もち乙女」を供試した1998年では、いずれの度数分布もうるち性ともち性の方に明確に差がみられ、WPOではうるち性ともち性の度数分布に重なりがなく、FPOも1系統が重なったのみであった。一方、品質のうちで特に製粉性および粉色を改良したもち性系統「東北糯216号」、「東北糯217号 (もち姫)」等を含む1999、2002両年では、WPO、FPOとももち性の度数分布はうるち性の度数分布と重なり、2002年のFPOでは、半数のもち性系統はうるち性の度数分布内に入っていた。

Table 2 にうるち性品種・系統を硬質 (Hard)、軟質 (Soft) に分けた場合のWPO、FPOおよびFPO/WPOのそれぞれの平均値、標準偏差などを示した。硬質と軟質の平均値の差については、WPOは1998、1999年ともその差は小さく、有意差は見られなかった。これに対し、FPOは1998、1999年と

Table 1 Differences of whole meal flour polyphenol content (WPO), 60% extraction flour polyphenol content (FPO), and FPO/WPO between nonwaxy wheat and waxy wheat in 1998, 1999 and 2002.

Statistic	1998						1999						2002	
	WPO		FPO		FPO/WPO		WPO		FPO		FPO/WPO		FPO	
	Nonwaxy	Waxy	Nonwaxy	Waxy	Nonwaxy	Waxy	Nonwaxy	Waxy	Nonwaxy	Waxy	Nonwaxy	Waxy	Nonwaxy	Waxy
Number of cultivars and lines	43	4	43	4	43	4	48	12	50	12	48	12	44	9
Mean	0.365	0.531	0.154	0.316	0.418	0.595	0.417	0.491	0.183	0.329	0.444	0.671	0.179	0.247
Standard deviation	0.049	0.016	0.046	0.045	0.097	0.092	0.038	0.057	0.043	0.057	0.099	0.101	0.022	0.055
Maximum value	0.499	0.546	0.264	0.357	0.664	0.702	0.516	0.607	0.263	0.382	0.633	0.788	0.234	0.316
Minimum value	0.272	0.509	0.071	0.266	0.260	0.501	0.343	0.412	0.107	0.218	0.240	0.487	0.146	0.163
Range	0.193	0.091	0.193	0.091	0.404	0.201	0.174	0.196	0.157	0.164	0.392	0.301	0.088	0.153
Mean difference and test of significance	0.166**		0.162**		0.177**		0.074**		0.146**		0.227**		0.068**	

Note. ** indicates significance at P<0.01.

も軟質の方が硬質より有意に高かった。なお、2002年ではその差はほとんどなく、有意差は見られなかった。FPO/WPOは、FPOと同様に、1998、1999年とも硬質と軟質の平均値の差に有意差が認められ、軟質は硬質より高い傾向が見られた。

Table 3に主な品種・系統のWPO、FPOおよびFPO/WPを示した。うるち性では、「キタカミコムギ」に比べて、WPOはめん用の「東北204号」、「東

北212号」が特に高いのに対し、パン用の「ハルイブキ」は低かった。FPOはめん用の「東北208号」、「東北212号」、「東北213号」および「ネバリゴシ」が高いのに対し、パン用の「東北221号」、「ハルイブキ」、めん用の「あきたっこ」は低かった。その結果、WPO、FPOともに「東北212号」は高く、「ハルイブキ」は低かった。FPO/WPOはパン用の「東北221号」とめん用の「あきたっこ」が低いのに

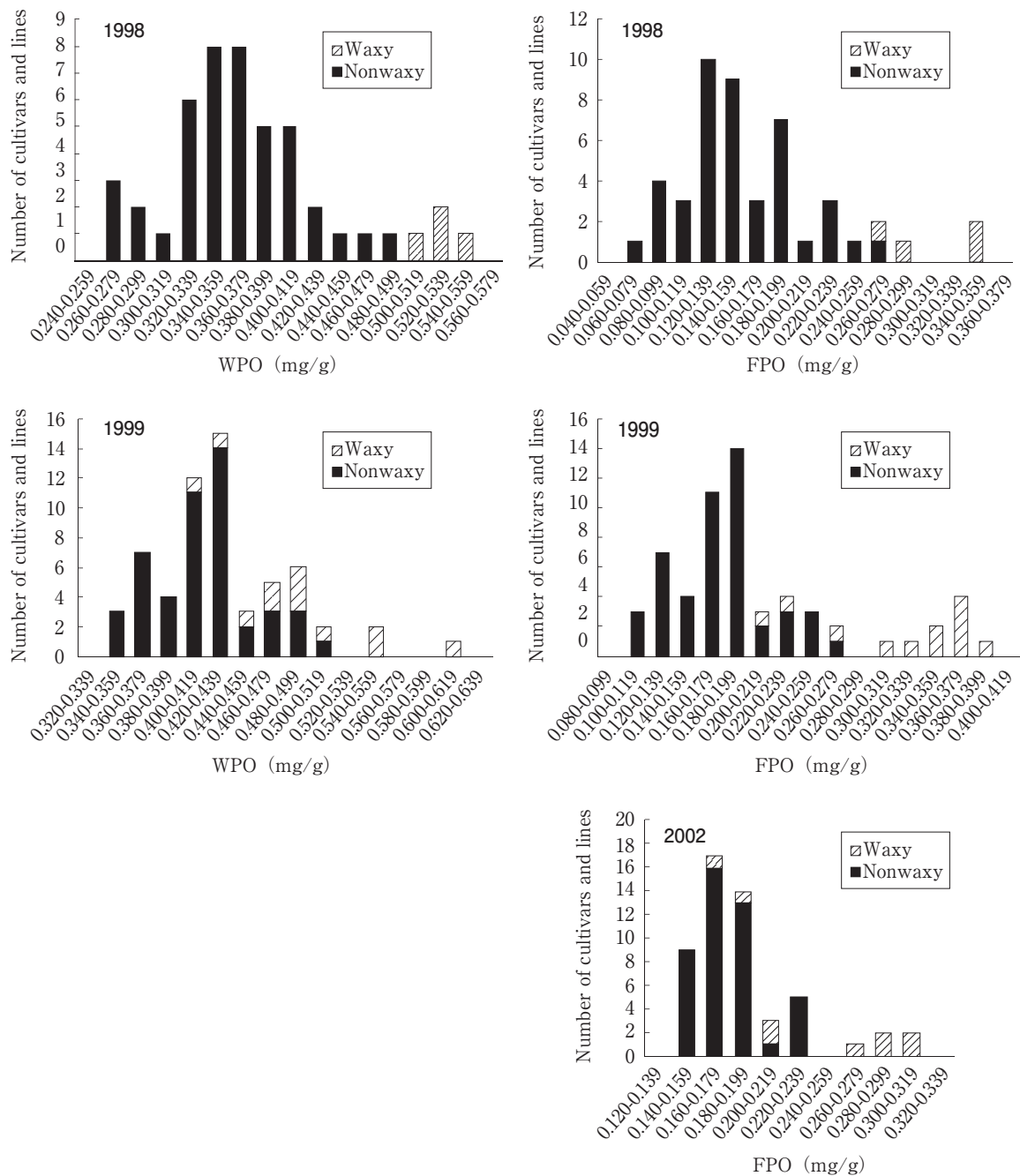


Fig. 1 Frequency distributions of WPO and FPO of wheat cultivars and lines in 1998, 1999, and 2002.

Table 2 Differences of WPO, FPO, and FPO/WPO between hard wheat and soft wheat in nonwaxy wheat in 1998, 1999 and 2002.

Statistic	1998						1999						2002	
	WPO		FPO		FPO/WPO		WPO		FPO		FPO/WPO		FPO	
	Hard	Soft	Hard	Soft	Hard	Soft	Hard	Soft	Hard	Soft	Hard	Soft	Hard	Soft
Number of cultivars and lines	21	22	21	22	21	22	25	23	27	23	25	23	18	26
	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g			mg/g	mg/g	mg/g	mg/g			mg/g	mg/g
Mean	0.359	0.371	0.132	0.175	0.363	0.471	0.416	0.419	0.159	0.212	0.385	0.508	0.178	0.179
Standard deviation	0.062	0.033	0.043	0.038	0.073	0.089	0.045	0.029	0.037	0.031	0.077	0.079	0.026	0.019
Maximum value	0.499	0.470	0.241	0.264	0.563	0.664	0.516	0.483	0.263	0.263	0.539	0.633	0.234	0.223
Minimum value	0.272	0.326	0.071	0.122	0.260	0.349	0.343	0.370	0.107	0.148	0.240	0.352	0.145	0.108
Range	0.227	0.144	0.170	0.143	0.303	0.315	0.174	0.113	0.157	0.123	0.299	0.280	0.087	0.077
Mean difference and test of significance	0.012 ^{NS}		0.043 ^{**}		0.108 ^{**}		0.003 ^{NS}		0.053 ^{**}		0.123 ^{**}		0.001 ^{NS}	

Note. 1) See Table 1 for WPO and FPO. As for these abbreviation, following Table 3–11 and Fig. 1–3 are also similar.

2) * and ** indicate significance at P<0.05 and P<0.01, respectively. NS indicates nonsignificance.

Table 3 WPO, FPO, and FPO/WPO of main wheat cultivars and lines.

Cultivars or lines	Nonwaxy or waxy	Kernel hardness	Main end-use	Wx protein ^{***}			Amylose content %	WPO mg/g	FPO mg/g	FPO/WPO
				Wx-A1	Wx-B1	Wx-D1				
Tohoku 204*	Nonwaxy	Soft	Noodle	+	+	+	25.8	0.444	0.191	0.391
Tohoku 208*	Nonwaxy	Soft	Noodle	+	+	+	25.5	0.386	0.208	0.493
Tohoku 221*	Nonwaxy	Hard	Bread				27.7	0.360	0.126	0.344
Haruibuki*	Nonwaxy	Hard	Bread	+	+	+	27.8	0.308	0.126	0.396
Akitakko*	Nonwaxy	Hard	Noodle	+	+	+	28.1	0.346	0.125	0.340
Kitakamikomugi*	Nonwaxy	Soft	Noodle	+	+	+	27.1	0.360	0.172	0.456
Koyukikomugi*	Nonwaxy	Hard	Bread	+	+	+	27.1	0.385	0.162	0.404
Nanbukomugi*	Nonwaxy	Soft	Noodle	+	+	+	25.1	0.399	0.196	0.469
Yukichikara*	Nonwaxy	Hard	Bread	+	+	+	26.9	0.394	0.161	0.395
Tohoku 207*	Nonwaxy	Soft	Noodle	+	–	+	25.1	0.364	0.186	0.483
Tohoku 209*	Nonwaxy	Soft	Noodle	–	–	+	21.2	0.391	0.170	0.392
Tohoku 212*	Nonwaxy	Hard	Noodle	–	–	+	21.9	0.462	0.208	0.431
Tohoku 213*	Nonwaxy	Soft	Noodle	–	–	+	22.1	0.404	0.226	0.536
Nebarigoshi*	Nonwaxy	Soft	Noodle	–	–	+	22.2	0.384	0.212	0.529
Hatsumochi*	Waxy	Hard	Variety	–	–	–	0.0	0.542	0.303	0.531
Mochiotome*	Waxy	Soft	Variety	–	–	–	0.0	0.534	0.349	0.625
Haruibuki**	Nonwaxy	Hard	Bread	+	+	+	27.9	0.378	0.160	0.371
Kitakamikomugi**	Nonwaxy	Soft	Noodle	+	+	+	27.8	0.423	0.177	0.475
Koyukikomugi**	Nonwaxy	Hard	Bread	+	+	+	27.9	0.447	0.185	0.420
Nanbukomugi**	Nonwaxy	Soft	Noodle	+	+	+	26.1	0.457	0.201	0.503
Nebarigoshi*	Nonwaxy	Soft	Noodle	–	–	+	23.3	0.444	0.211	0.546
Tohokumochi 216**	Waxy	Hard	Variety				0.0	0.430	0.203	0.507
Tohokumochi 217 (Mochihime)**	Waxy	Hard	Variety				0.0	0.481	0.199	0.487
Hatsumochi**	Waxy	Hard	Variety	–	–	–	0.0	0.555	0.334	0.668
Mochiotome**	Waxy	Soft	Variety	–	–	–	0.0	0.546	0.340	0.690

Note. 1) * : Mean in 1998 and 1999, ** : Mean in 1999 and 2002, *** : Data in 1999.

2) + : Presence, – : Absence.

Table 4 Correlation coefficients between production years and between cultivation methods in WPO, FPO, and FPO/WPO.

Year	Cultivation method	Number of cultivars and lines	WPO	FPO	FPO/WPO
1998 vs 1999	Ridge	12	0.906**	0.923**	0.649*
	Drill	7	0.910**	0.935**	0.760*
Cultivation method	Year	Number of cultivars and lines	WPO	FPO	FPO/WPO
Ridge vs Drill	1998	11	0.978**	0.956**	0.507
	1999	8	0.866**	0.852**	0.719*

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

対し、めん用の「東北208号」、「東北213号」、「ネバリゴシ」は高かった。一方、もち性では、「はつもち」、「もち乙女」はWPO、FPOともにうるち性の「キタカミコムギ」よりかなり高く、うるち性の最も高い系統（WPOは「東北212号」、FPOは「東北213号」）よりさらに高かった。製粉性・粉色がうるち性並までに改良された「東北糯216号」と「東北糯217号（もち姫）」のWPO、FPOおよびFPO/WPOのいずれも「はつもち」、「もち乙女」に比べて低く、うるち性の「ナンブコムギ」並であった。

1998、1999年のうるち性・もち性品種・系統を用いて、WPO、FPOおよびFPO/WPOについて年次間および栽培様式間の相関係数を算出して、Table 4に示した。WPOとFPOは、年次間においては標準畦立栽培（Ridge）、ドリル播栽培（Drill）ともに有意で高い正の相関を示し、また標準畦立およびドリル播の栽培様式間でも、1998年では0.956~0.978、1999年は0.852~0.866と両年次とも有意で高い正の相関を示した。一方、FPO/WPOでは、年次間および栽培様式間の相関は、1998年の栽培様式間を除き、WPO、FPOに比べ低かった。

1998、1999年の各年次別に、うるち性品種・系統におけるWPOとFPOとの関係をFig. 2に示した。1998年は相関係数が0.676（ $P < 0.01$ ）とやや高かったが、1999年では0.334（ $P < 0.05$ ）と低かった。

うるち性、もち性およびこれらを合わせた全材料について、WPOまたはFPOと製粉特性との相関係数をTable 5に示した。製粉歩留（Flour yield）においてはWPO、FPOともに3カ年のすべての材料で有意な負の相関を示し、またセモリナ粉砕率（Flour yield from semolina）とミリングスコア（Milling score）も同様に、FPOにおいて有意な負の相関を示した。これらの相関係数の中で、特にも

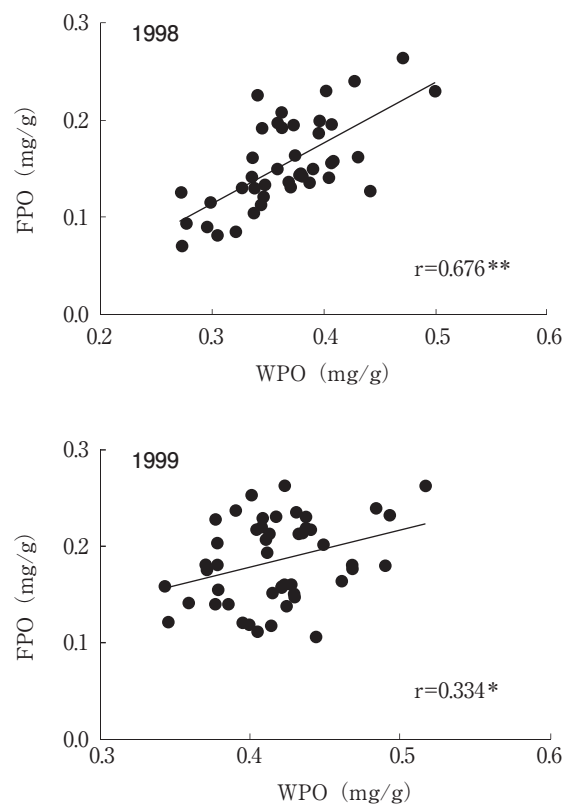


Fig. 2 Relationships between WPO and FPO in nonwaxy wheat cultivars and lines of 1998 and 1999.

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

ち性材料とうるち性、もち性を合わせた全材料（Overall、以下全材料）のほとんどは、 -0.7 以下の高い相関を示した。Fig. 3に1999、2002両年におけるFPOとミリングスコアの関係を示したが、両年とも全材料では相関係数は $-0.832 \sim -0.839$ （いずれも $P < 0.01$ ）と高く直線的な関係がみられた。一方、B/M率（B/M ratio）、セモリナ生成率（Semorina

Table 5 Correlation coefficients between WPO or FPO and milling characteristics using the Buhler Laboratory Mill.

Year	WPO or FPO	Sample	Number of cultivars and lines	Flour yield	B/M ratio	Semorina yield	Flour yield from semolina	Milling score	Milling efficiency index
1998	WPO	Nonwaxy	43	-0.468**	0.079	-0.058	-0.268	-0.618**	-0.158
		Overall	47	-0.704**	0.061	0.132	-0.526**	-0.763**	-0.463**
	FPO	Nonwaxy	43	-0.406**	-0.400**	-0.318*	-0.525**	-0.573**	-0.162
		Overall	47	-0.710**	0.301	-0.061	-0.700**	-0.785**	-0.475**
1999	WPO	Nonwaxy	49	-0.303*	0.041	-0.040	-0.111	-0.162	0.086
		Waxy	11	-0.727*	-0.313	0.493	-0.604*	-0.530	-0.252
		Overall	60	-0.669**	0.091	0.398**	-0.474**	-0.546**	-0.353**
	FPO	Nonwaxy	50	-0.567**	0.583**	-0.195	-0.653**	-0.638**	-0.460**
		Waxy	12	-0.701*	-0.215	0.595*	-0.678*	-0.782**	-0.263
		Overall	62	-0.822**	0.430**	0.419**	-0.789**	-0.839**	-0.715**
2002	FPO	Nonwaxy	44	-0.419**	-0.152	0.394**	-0.328*	-0.597**	-0.653**
		Waxy	9	-0.842**	-0.187	0.186	-0.810**	-0.875**	-0.837**
		Overall	53	-0.767**	-0.115	0.472**	-0.661**	-0.832**	-0.835**

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

yield) および灰分移行率 (Milling efficiency index) では、有意な相関はみられるものの、相関は灰分移行率の一部の材料 (2002年材料) を除いて全般に低かった。

Table 6 にWPOまたはFPOと全粒粉および60%粉の品質特性との相関係数を示した。全粒粉、60%粉の各灰分含量 (Ash content) は3カ年ともに有意な正の相関を示す材料が多く、特に1999、2002年のもち性はFPOにおいて0.75以上の高い相関を示した。また、60%粉のアミロース含量とうるち性および全材料において有意な負の相関が見られ、FPOにおいてはうるち性が-0.499~-0.692と相関がやや高く、全材料では-0.700~-0.842と相関が高かった。一方、全粒粉、60%粉の各蛋白含量 (Protein content) は相関が全般に低く、有意な相関がほとんど見られなかった。また、60%粉のセディメンテーション値 (Sedimentation value) および比表面積 (Specific surface area) においては、有意な相関が見られる材料があるものの、相関は灰分含量、アミロース含量に比べて全般に低かった。

WPOまたはFPOと粉色の各特性との相関係数をTable 7 に示した。粉色 (Flour color) においては、R455 (粉色の白さ) および反射率R554 (粉色の明るさ) とともに、WPOおよびFPOは3カ年のほとんどの材料で有意な負の相関を示し、特に全材料におけるFPOとR554との相関は-0.763~-0.832 (いずれも $P < 0.01$) と高かった (Fig. 3)。1998、1999年

でのWPOとFPOとの比較では、1999年のもち性を除いてFPOの方がWPOより相関が高かった。一方、D455-D554 (粉の色づき程度で黄色み程度を表す) は材料により有意な相関があるものの、全般に相関が低かった。2002年のFPOにおいては、カラーバリュー (Color value) はうるち性、もち性および全材料とも0.6以上の有意でやや高いまたは高い正の相関を示した。また、色彩色差計 (Color-difference meter) による L^* (明度) も同様にこれらの材料とも有意で高い負の相関を示した。一方、 a^* (赤み程度) と b^* (黄色み程度) は a^* の全材料を除いて有意な相関を示さなかった。

Table 8に、WPOまたはFPOとアミログラム、ファリノグラムおよびエキステンソグラムの各特性との相関係数を示した。アミログラムのMV (最高粘度) とBD (ブレイクダウン) においては、一定した傾向は見られなかったものの、1999、2002年のFPOのもち性において-0.702~-0.870の有意で高い負の相関が認められた。一方、1998年のWPOのうるち性および1999年のFPOのうるち性では、MV、BDともに相関係数が0.5前後の有意でやや高い正の相関を示し、もち性と逆の関係となった。

ファリノグラムでは、特にWk (生地の弱化度) は、1999年のWPOのもち性材料を除いて有意な正の相関が認められ、各年次の全材料ではWPO、FPOともに0.6以上のやや高いまたは高い相関を示した。また、VV (バリロメーターバリュウ) も多く

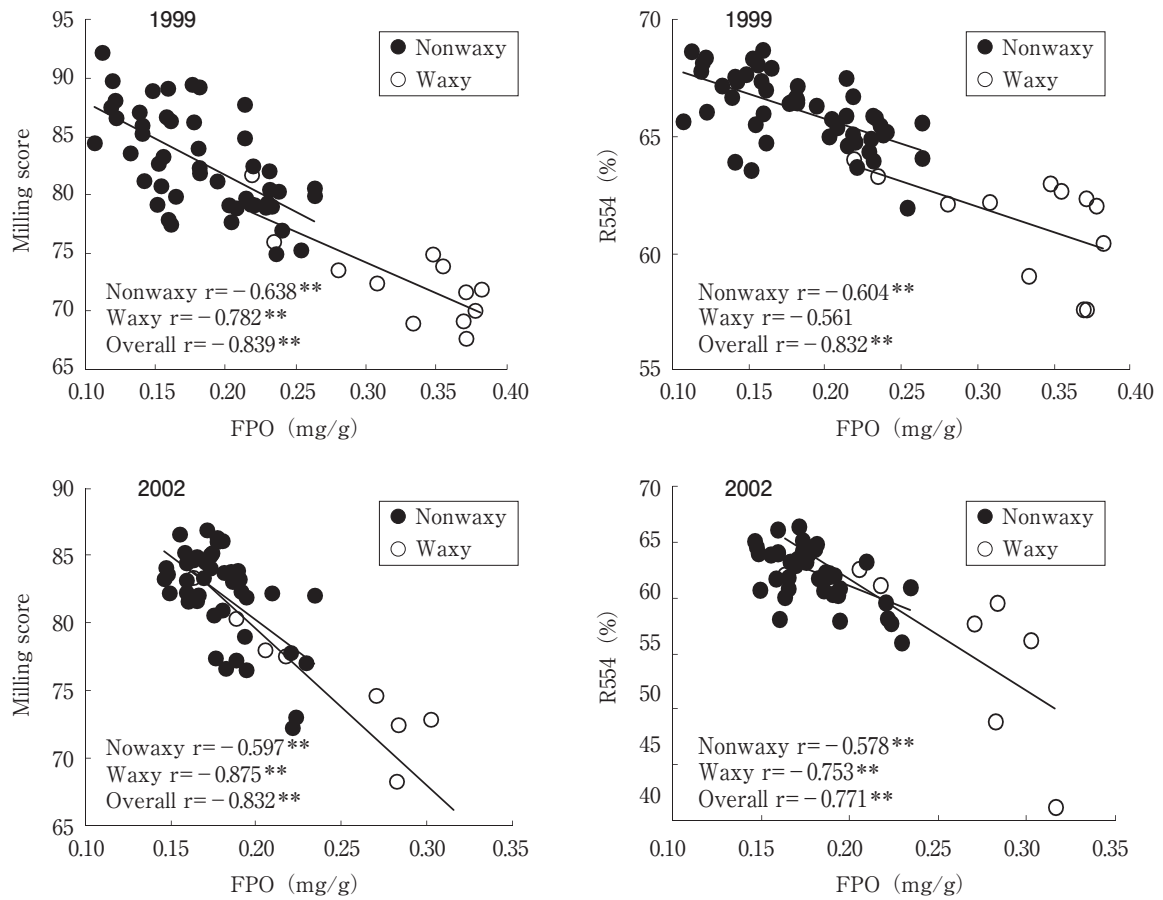


Fig. 3 Relationships between FPO and milling score or R554 (brightness of flour color) in 1999 and 2002.

Note. ** indicates significance at P<0.01.

Table 6 Correlation coefficients between WPO or FPO and flour characteristics.

Year	WPO or FPO	Sample	Number of cultivars andlines	Whole meal flour		60% extraction flour				
				Protein content	Ash content	Protein content	Amylose content	Sedimentation value	Ash content	Specific surface area
1998	WPO	Nonwaxy	43	-0.014	0.548**	-0.084	-0.649**	-0.148	0.474**	0.236
		Overall	47	0.079	0.546**	0.143	-0.804**	-0.164	0.616**	0.289*
	FPO	Nonwaxy	43	-0.071	0.520**	-0.220	-0.523**	-0.427**	0.392**	0.473**
		Overall	47	0.028	0.585**	0.055	-0.781**	-0.352*	0.614**	-0.033
1999	WPO	Nonwaxy	49	0.092	0.372**	0.037	-0.370**	-0.016	0.008	-0.169
		Waxy	11	0.413	0.621*	0.567	-0.067	0.219	0.256	-0.026
		Overall	60	0.154	0.371**	0.193	-0.622**	-0.075	0.351**	-0.026
	FPO	Nonwaxy	50	-0.092	0.315*	-0.243	-0.692**	-0.368**	0.344*	0.624**
		Waxy	12	0.162	0.776**	0.158	0.406	-0.323	0.758**	0.220
		Overall	62	0.001	0.299*	0.015	-0.842**	-0.347**	0.642**	0.309*
2002	FPO	Nonwaxy	44	0.291	0.002	0.248	-0.499**	0.161	0.506**	-0.223
		Waxy	9	0.583	0.760*	0.537	0.000	-0.346	0.885**	0.428
		Overall	53	0.341*	0.127	0.375**	-0.700**	0.108	0.656**	-0.111

Note. * and ** indicate significance at P<0.05 and P<0.01, respectively.

Table 7 Correlation coefficients between WPO or FPO and flour color characteristics.

Year	WPO or FPO	Sample	Number of cultivars and lines	Flour color			Color value	Color-difference meter		
				R455	R554	D455-D554		L*	a*	b*
1998	WPO	Nonwaxy	43	-0.302*	-0.465**	0.022	-	-	-	-
		Overall	47	-0.591**	-0.729**	0.149	-	-	-	-
	FPO	Nonwaxy	43	-0.556**	-0.628**	0.254	-	-	-	-
		Overall	47	-0.692**	-0.763**	0.290*	-	-	-	-
1999	WPO	Nonwaxy	49	-0.175	-0.086	0.174	-	-	-	-
		Waxy	11	-0.701*	-0.584	0.689*	-	-	-	-
		Overall	60	-0.564**	-0.539**	0.294*	-	-	-	-
	FPO	Nonwaxy	50	-0.597**	-0.604**	0.366**	-	-	-	-
		Waxy	12	-0.630**	-0.561	0.456	-	-	-	-
		Overall	62	-0.785**	-0.832**	0.345**	-	-	-	-
2002	FPO	Nonwaxy	44	-0.384*	-0.578**	-0.126	0.606**	-0.602**	0.215	-0.084
		Waxy	9	-0.757**	-0.753**	0.663	0.771*	-0.728*	0.635	0.476
		Overall	53	-0.682**	-0.771**	0.036	0.783**	-0.776**	0.621**	0.192

Note. 1) R455 : Whiteness, R554 : Brightness, D455-D554 : Yellow degree, L* : Brightness, a* : Red degree, b* : Yellow degree.

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

Table 8 Correlation coefficients between WPO or FPO and characteristics of amylogram, farinogram, and extensogram.

Year	WPO or FPO	Sample	Number of cultivars and lines	Amylogram		Farinogram					Extensogram (135min)			
				MV	BD	Ab	DT	Stab	Wk	VV	A	R	E	R/E
1998	WPO	Nonwaxy	43(40†)	0.505**	0.506**	0.116	-0.057	-0.185	0.335*	-0.160	-0.161	-0.322*	0.626**	-0.444**
		Overall	47(44)	0.190	0.571**	0.525**	-0.010	-0.312*	0.669**	-0.340*	-0.270	-0.360*	0.419**	-0.424**
	FPO	Nonwaxy	43(40)	0.233	0.333*	-0.218	-0.226	-0.314*	0.374*	-0.355*	-0.417**	-0.478**	0.378*	-0.518**
		Overall	47(44)	0.100	0.469**	0.348*	-0.113	-0.393**	0.672**	-0.444**	-0.426**	-0.450**	0.252	-0.466**
1999	WPO	Nonwaxy	48(36)	0.153	0.264	0.113	-0.284*	-0.269	0.429**	-0.281	-0.317	-0.456**	0.259	-0.505**
		Waxy	11(0)	-0.476	-0.393	0.256	0.024	0.033	0.097	0.032	-	-	-	-
		Overall	60(36)	-0.268*	-0.268*	0.538**	-0.332**	-0.401**	0.637**	-0.424**	-0.317	-0.456**	0.259	-0.505**
	FPO	Nonwaxy	50(38)	0.474**	0.595**	-0.309*	-0.583**	-0.559**	0.474**	-0.594**	-0.453**	-0.478**	0.088	-0.417*
		Waxy	12(0)	-0.831**	-0.702*	-0.085	-0.213	-0.387	0.652*	-0.325	-	-	-	-
		Overall	62(38)	-0.256	0.437**	0.536**	-0.514**	-0.588**	0.820**	-0.646**	-0.453**	-0.478**	0.088	-0.417*
2002	FPO	Nonwaxy	44(26)	-0.185	0.216	0.323*	-0.129	-0.210	0.377*	-0.264	-0.050	0.084	-0.084	0.100
		Waxy	9(0)	-0.870**	-0.854**	-0.464	-0.758	-0.629	0.691*	-0.755*	-	-	-	-
		Overall	53(26)	-0.414**	-0.216	0.520**	-0.212	-0.373**	0.648**	-0.472**	-0.050	0.084	-0.084	0.100

Note. 1) MV : Maximum viscosity, BD : Breakdown, Ab : Absorption, DT : Dough development time, Stab : Stability, Wk : Weakness, VV : Valorimeter value, A : Area, R : Maximum resistance, E : Extensibility.

2) † The number in a parenthesis is the number of cultivars and lines which investigated extensogram.

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

の材料で有意な負の相関がみられた。Ab (吸水率) と Stab (生地安定度) は WPO、FPO とも各年次の全材料で有意な正または負の相関が認められた。

エキステンソグラムの R (伸張抵抗) と R/E (形状係数) では、1998年、1999年 (うるち性のみ) の全材料、A (面積) ではこの両年のうち FPO において、有意な負の相関を示したものの、その値は -0.317 ~ -0.518 とやや低かった。E (伸長度) は 1998年の

WPO を除いて相関は低かった。一方、2002年は各特性との相関は極めて低かった。

以上の Table 4~7 の結果、同じ年次および材料で比較した場合、製粉性、小麦粉品質等との相関は、一般に FPO の方が WPO より高い傾向を示した。

次に、うるち性において、FPO と製粉特性または品質特性の相関の内、3カ年とも有意な相関がみられた製粉歩留を含む 8 特性について、硬質と軟質

Table 9 Correlation coefficients between FPO and milling characteristics or flour qualities in hard wheat and soft wheat of nonwaxy cultivars and lines.

Year	Kernel hardness	Number of cultivars and lines	Flour yield	Flour yield from semolina	Milling score	60% extraction flour		Flour color		Farinogram Wk
						Amylose content	Ash content	R455	R554	
1998	Hard	21	-0.670**	-0.720**	-0.736**	-0.577**	0.483*	-0.427	-0.688**	0.475*
	Soft	22	0.084	0.094	-0.160	-0.330	0.259	-0.386	-0.369	0.110
1999	Hard	27	-0.682**	-0.329	-0.517**	-0.654**	0.215	-0.230	-0.426	0.536**
	Soft	23	-0.218	-0.238	-0.524**	-0.528**	0.240	-0.641**	-0.272	0.408
2002	Hard	18	-0.334	-0.506*	-0.589**	-0.351	0.630**	-0.114	-0.388	0.377*
	Soft	26	-0.643**	-0.721**	-0.664**	-0.661**	0.617**	-0.672**	-0.847**	0.289

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

Table 10 Correlation coefficients between WPO or FPO and sensory evaluation of boiled udon noodles in nonwaxy wheat cultivars and lines.

Year	WPO or FPO	Number of cultivars and lines	Flour color R554	Sesory evaluation of boiled udon noodles						Total score
				Color	Surface appearance	Firmness	Elasticity	Smoothness	Taste	
1998	WPO	27	-0.582**	0.253	0.135	0.094	0.140	0.170	0.158	0.188
	FPO	27	-0.648**	-0.164	-0.014	-0.020	0.238	0.168	0.261	0.095
1999	WPO	17	-0.128	0.039	-0.166	0.094	0.248	0.417	0.356	0.313
	FPO	17	-0.537*	-0.397	-0.234	-0.195	0.227	0.140	0.100	-0.020
2002	FPO	36	-0.683**	-0.435**	-0.483**	-0.321	-0.117	-0.112	-0.196	-0.406*

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

Table 11 Correlation coefficients between WPO or FPO and bread-making qualities in nonwaxy wheat cultivars and lines.

Year	WPO or FPO	Number of cultivars and lines	Flour color R554	Farinogram VV	Loaf volume	Dough absorption score	Dough handling score	Sesory evaluation of bread		Bread-making score
								Crumb color	Total score	
1998	WPO	19	-0.238	-0.177	0.128	-	-0.074	-0.257	0.024	-
	FPO	19	-0.481	-0.101	0.272	-	-0.228	-0.345	-0.033	-
1999	WPO	29	-0.118	-0.346	0.450*	0.159	0.036	0.037	0.261	0.250
	FPO	31	-0.376*	-0.372*	0.267	0.127	-0.126	0.077	0.258	0.168
2002	FPO	21	-0.427	-0.177	-0.146	-0.075	0.000	-0.299	-0.263	-0.179

Note. 1) Bread-making score=dough absorption score+dough handling score+ total score of sesory evaluation of bread.

2) * indicates significance at $P < 0.05$.

に分けて相関係数を算出し、Table 9に示した。硬質、軟質に分けても、ミリングスコアはほとんどの材料で有意な負の相関を示した。次いで、アミロース含量も有意な負の相関を示す材料が多かった。ファリノグラムのWkは3カ年とも硬質のみで有意な正の相関を示した。製粉歩留、セモリナ粉碎率、60%灰分含量は半分の材料で有意な相関を示した。一方、粉色のR455とR554は有意な相関は2材料にとどまった。年次では1998年は硬質、2002年は軟質で、1特性を除いたすべての特性で有意な相関を示

した。

うるち性材料について、WPOまたはFPOと二次加工適性、粉色等との相関係数を算出し、製めん適性（ゆでめん官能評価）をTable 10に、製パン適性をTable 11に示した。Table 10の製めん適性との相関では、2002年のFPOと色（Color）、外観（Surface appearance）および合計（Total score）の間でいずれも-0.4台の有意な負の相関を示したものの、これらを除く相関は低くて有意でなかった。

Table 11の製パン適性では、1999年でWPOとパ

ン体積 (Loaf volume) では有意な負の相関を示したが、その他の項目はいずれも、相関は低く有意でなかった。

IV 考 察

うるち性小麦に関するWPOの品種間差異の報告は多くある。Lachman *et al.* (2003) は、普通系小麦の5品種の原粒 (全粒粉) ポリフェノール含量は600~960mg/kg (0.60~0.96mg/g) (乾物) の差異があるとした。また、Lachman *et al.* (2011) は、一粒系小麦 (*Triticum monococcum*) 2品種、エンマー小麦 (*T. dicoccum*) 2品種および普通系春小麦 (*T. aestivum*) 3品種を用いてWPOを調査した結果、各小麦属に品種間差異があり、小麦属間ではエンマー小麦品種が高いことを報告した。さらに、伊藤 (2009) は、WPOは北海道産「キタノカオリ」が低く、北海道産「春よ恋」、オーストラリア産「PH」、アメリカ産「HRW」の3つのサンプルは高い傾向を示すと報告している。一方、Heimler *et al.* (2010) はデュラム小麦および普通系小麦のWPOには、年次間差異はあるものの、新旧の品種間には差が見られないとしている。また、Masum Akond *et al.* (2010) は、小麦9品種を用いたWPOの品種間差異は統計的に有意でないと報告した。以上の報告から、WPOの品種間差異はあるという報告と、それが無いという報告に分かれるが、これはいずれの報告もうるち性品種のみでしかも供試品種が少ないことによると考えられる。本報告ではWPOはうるち性だけに限っても最小値と最大値では1.5~1.8倍の差異があり (Table 1)、しかも年次および栽培様式が変わっても安定していた (Table 4) ので、WPOの品種・系統間差異は明らかにあると考えられる。

一方、FPOの品種間差異の報告はWPOに比べて少ない。Yanagisawa and Amano (1996) は、北海道産品種 (うるち性) のFPOは0.085~0.122mg/gと報告している。伊藤 (2009) は、FPOは「キタノカオリ」および「PH」は「春よ恋」、「HRW」より低い値を示すことを報告した。本報告ではうるち性のFPOは3カ年込みにするると0.071~0.264mg/gの約3.7倍の差異がみられ (Table 1)、Yanagisawa and Amano (1996) の報告より差が大きかった。

ふすまのポリフェノール含量の品種間差異については、Verma *et al.* (2008) は小麦51品種の間に

3,406.4~6,702.7 μ g/g (3.4064~6.7027mg/g) の有意な差異があり、平均5,197.2 μ g/g (5.1972mg/g) であったと報告している。本報告ではうるち性のFPOは3カ年込みでは上記のように0.071~0.264mg/g (平均0.173mg/g) の差異があるが、上記の報告を参考にすると、ふすまは60%粉に比べて極めて多くのポリフェノールを含んでいると考えられる。

うるち性ともち性の比較では、WPO、FPOともにもち性の方がうるち性より有意に高かった (Table 1)。Takata *et al.* (2007) は、春播小麦「春のあけぼの」および「春よ恋」のWx蛋白質を異にする準同質遺伝子系統4系統 (Wx蛋白質B、AB、BD、ABD各欠失) を用いて、WPOおよびFPOについて検討したところ、WPOには系統間に有意差はなかったが、FPOはもち性系統が有意に高いことを報告している。この報告は、WPOに関しては本報告と一致しなかったが、FPOに関しては本報告の結果と一致した。なお、本報告で用いたもち性材料数は4~12と少ないので、材料数を増やして更に検討する必要がある。

うるち性の硬質、軟質の比較では、WPOでは有意差はみられないものの、FPOは2カ年において軟質の方が硬質より高い傾向を示した (Table 2)。ポリフェノール含量の硬質と軟質とを比較した研究報告はないが、今後、準同質遺伝子系統を用いて検討する必要がある。

うるち性材料においては、WPOとFPOとの相関は1998年はやや高かったものの、1999年はあまり高くなかった (Fig. 2)、2カ年を通じては両者はあまり密接な関係でないと言える。この原因は、主に粉へのふすま切れ込みの多少を含む製粉性の品種・系統間差異に起因すると考えられる。

同じ品種のポリフェノール含量が栽培環境により変動するという報告はいくつかある。登熟温度については、Heimler *et al.* (2010) は、普通系小麦およびデュラム小麦の収穫前30日の温度条件が原粒のポリフェノール含量を決定する主な要因で、高温はポリフェノール含量の低下を引き起こすと報告した。また、小林ら (2010) も紫黒糯米品種「紫宝」のポリフェノール含量は登熟気温が高いほど低かったと報告している。栽培条件では、Punia and Khetarpaul (2008) は、有機栽培と非有機栽培の小麦品種のポリフェノール含量を比較したとこ

ろ、非有機栽培の方が有機栽培より有意に高いことを明らかにしている。本報告では品種・系統のポリフェノール含量は年次、栽培様式のような環境に対して相対的に安定した特性を示した (Table 4) が、上記の報告のように、登熟温度や栽培条件によるポリフェノール含量の変動は調査していないので、今後は栽培場所、播種期、施肥量などの栽培条件を変えてさらに検討する必要がある。

製粉によるポリフェノール含量の低減率を表す FPO/WPO は WPO、FPO と同様に品種・系統間差異が認められ、もち性の方がうるち性より高かった (Table 1)。伊藤 (2009) は、FPO の低い「PH」の場合は製粉時のアリューロン層や皮部の混入が少ないため、同じく低 FPO の「キタノカオリ」は小麦粒自体に含まれる量が少ないためであると報告し、製粉によるポリフェノール含量の低減における製粉性の重要性を示唆した。また、もち性はうるち性に比べて、一般に製粉歩留、ミリングスコア、BM 率、セモリナ粉碎率、灰分移行率が低く、セモリナ生成率が高い (吉川ら 1998)。もち性はうるち性より FPO/WPO が高いことは、もち性においてはこれらの製粉特性のうち、特にセモリナ粉碎率が低いことが原因となっていると考えられる。

Jonnala *et al.* (2010) は普通系小麦の Wx 蛋白質の異なる準同質遺伝子系統を用いて、もち性、部分的もち性およびうるち性系統 (Wx 蛋白質欠失なし) のふすまの総ポリフェノール含量 (BPO) を調査したところ、BPO は Wx 蛋白質 1 つ欠失 > Wx 蛋白質 2 つ欠失 > 完全もち性 > うるち性の順となることを明らかにした。また、Lempereur *et al.* (1997) はポリフェノールは主にふすまに含まれていると報告し、Beta *et al.* (2005) はポリフェノールは小麦外皮からの重量で 20% 以内の部分に集中して存在していると報告した。さらに、本報告では、もち性はうるち性より WPO が高い傾向にあるという結果が得られた (Table 1, Table 3)。よって、FPO は、一般にもち性 \geq Wx 蛋白質 1 つまたは 2 つ欠失 (低・やや低アミロース) > Wx 蛋白質欠失なし (正常アミロース) の順の傾向になると推察される。本報告では、うるち性、もち性を含む全材料において、WPO、FPO とともにアミロース含量との間に有意な負の高いまたはやや高い相関 ($-0.622 \sim -0.842$) があつた (Table 6) ので、これらの推察を裏付けていると考えられる。

ポリフェノール含量と製粉性との関係では、FPO とうるち性、もち性および全材料ともに、製粉歩留、ミリングスコアおよびセモリナ粉碎率との間に有意な負の相関がみられ、そのうち特にミリングスコアの相関が高かつた (Table 5, Fig. 3)。また、特にもち性および全材料におけるこれらの相関は高かつた。1998~1999 年では製粉性の各項目とも、一般に FPO の方が WPO より相関が高かつた。以上の結果から、FPO は製粉性良否の指標になるものと推察される。もち性小麦はうるち性に比べて、上述のように製粉性が劣る傾向があるので、FPO の遺伝的低減は製粉性向上に特に有効であると考えられる。ちなみに、製粉性の優れたもち性小麦「東北糯 216 号」、「東北糯 217 号 (もち姫)」の FPO は、うるち性品種並に低くなつている (Table 3)。

加藤ら (2002) は、硬質小麦および軟質小麦ともに、小麦粉のアラビノキシラン含量と製粉歩留との間に有意で高い負の相関があることを報告している。また、乙部 (桐湖) ら (2002) は、もち性小麦系統の製粉歩留向上のためには、低アラビノキシラン含量で高製粉性の系統を反復親とすれば、より製粉歩留の高いもち性系統が育成できる可能性を示唆した。さらに、Lempereur *et al.* (1997) は、デュラム小麦においては、総アラビノキシラン含量とフェルラ酸含量との間に有意で高い正の相関があることを報告した。以上の 3 報から、アラビノキシラン含量は製粉歩留とともに、フェルラ酸含量とも密接に関係していると考えられることから、アラビノキシランはフェルラ酸が大部分を占めるポリフェノール含量とも密接に関係していることが推察される。よって、本報告の FPO と製粉歩留、ミリングスコアとの密接な関係はポリフェノール含量と関係の深いアラビノキシランによるものと考えられる。今後、普通系小麦のうるち性、もち性におけるポリフェノール含量とアラビノキシランとの関係を明らかにする必要がある。

Hatcher and Kruger (1997) は、小麦銘柄間において、不溶性の結合フェルラ酸量 (小麦粉中の全総フェノール酸量 (ポリフェノール含量) の 80% 以上) は粉灰分含量との間に有意で高い正の相関があり、カラーバリューとの間にも、灰分含量との相関よりやや低いものの、有意で高い正の相関が認められたと報告している。本報告でも、上記のように FPO と 60% 粉灰分含量およびカラーバリューとの

間に有意な相関がみられたので、この報告とよく一致していると考えられる。

大麦では、搗精麦のポリフェノール含量は、加熱褐変との間に高い正の相関（神山・藤田 2000）、搗精麦（大麦粉）加熱後白度との間に高い負の相関（藤田ら 2000、吉川ら 2000）、生地 of 明るさ（L*）と高い負の相関（Quinde *et al.* 2004）があることが、それぞれ報告されている。このため、小麦、大麦共通してポリフェノール含量は色に強い影響を及ぼす特性であると考えられる。

WPOまたはFPOとアミロース含量の関係では、各年次ともうるち性と全材料において有意な負の相関がみられた（Table 6）。また、うるち性を硬質、軟質に分けた場合でも、同様に負の相関が認められた（Table 9）。従って、うるち性の場合には低ポリフェノール化は高アミロース化を招く傾向がある。アミロース含量はめん of 食感、特に粘弾性と密接な関係がある（Oda *et al.* 1980）ので、めん用小麦 of 食感向上には低アミロース化は欠かせない。アミロース含量とポリフェノール含量の関係を打破し、アミロース、ポリフェノールのどちらも低い系統選抜は、めん用小麦 of 高品質化に必要であると考えられる。

WPOまたはFPOと生地物性との関係では、1999、2002年 of もち性において、FPOとアミログラムのMVまたはBDの間に高い負の相関を示したことから、もち性ではFPO of 低い系統選抜により、製粉性向上とともにアミログラム特性 of 改良にもつながると考えられる。うるち性、もち性を含めて、本報告ではポリフェノール含量が低くなるにつれ、生地が強力的な傾向になった。これは、うるち性においては、硬質が軟質よりFPOが高いこと（Table 2）と密接に関係していると考えられる。

WPOまたはFPOと製めん適性、製パン適性との相関はほとんどなかった（Table 10、Table 11）ので、これら加工適性へのポリフェノール含量の影響は小さいと考えられる。Chloupek *et al.* (2008) は、製パン性 of 高い品種は低い品種に比べて原粒 of ポリフェノール含量が高いと報告しているが、本報告 of 1999年 of 結果ではその傾向が得られたものの、1998年ではその傾向は認められなかった。

なお、本試験に用いた系統は、製めん適性または製パン適性 of 選抜を少なくとも1回以上行い、加工適性が比較的優れた材料であるとともに、製めん適性は軟質、製パン適性は硬質 of 材料が主体という、

遺伝的変異が狭い材料であったため、ポリフェノールとこれらの加工適性との関係がほとんどみられなかった可能性がある。従って、今後、製めん適性、製パン適性について無選抜 of 育種材料を用いて、ポリフェノールとこれらの加工適性 of 関係を更に検討する必要がある。

FPOとめん色またはパン内相色との相関係数 of 絶対値はFPOと粉色R554との相関係数 of 絶対値より低かった（Table 9、10）。これは、めんやパンに加工する場合、生地を一定時間ねかせるので、その段階でポリフェノールオキシダーゼ（PPO）が働いてポリフェノールが酸化され変色するが、品種・系統間ではFPOとPPO活性との関係は必ずしも高くないためと考えられる。McCallum *et al.* (1990) も、小麦品種間では、全粒粉の場合、可溶性フェノール類（ポリフェノール）含量とPPO活性との間に関係がみられないと報告している。一方、粉色は粉と水とを混ぜ1～2分内に測定するので、PPOが働く余地が少ないため、粉色へのFPOの影響が強く出ると考えられる。小麦で報告されているフェノール類にPPOを添加した場合、ポリフェノールであるシナピン酸、カフェイン酸およびクロロゲン酸は色を悪くするのに寄与するが、同じポリフェノールのフェルラ酸とバニリン酸は色を悪くするのに寄与しないと報告がある（Fuerst *et al.* 2010）。このため、ポリフェノールのうち、PPOにより変色するシナピン酸、カフェイン酸およびクロロゲン酸 of 含量の品種間差異についても、今後検討が必要であろう。

謝辞：本試験に当たり、東北農業研究センター企画調整部業務第1科 of 技術専門職員および契約職員には研究支援の面で、麦育種研究室 of 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。これらの方々に感謝を申し上げる。

引用文献

- 1) Adom, K. K.; Sorrell, M. E.; Liu, R. H. 2003. Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties. *J. Agric. Food Chem.* 51 : 7825-7834.
- 2) Beta, T.; Nam, S.; Dexter, J. E.; Sapirstein, H.

- D. 2005. Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions. *Cereal Chem.* 82 : 390-393.
- 3) Chloupek, O.; Both, Z.; Dostál, V.; Hrstková, P.; Středa, T.; Betsche, T.; Hrušková, M.; Horáková V. 2008. Better bread from vigorous grain? *Czech J. Food Sci.* 26 : 402-412.
- 4) Fuerst, E. P.; Anderson, J. V.; Morris, C. F. 2010. Effects of polyphenol oxidase on noodle color: mechanisms, measurement, and improvement. (Hou, G. G., ed., *Asian noodles: science, technology, and processing*) John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, U.S.A., p.285-312.
- 5) 藤田雅也, 武田和義, 神山紀子, 土門英司, 土井芳憲. 2000. オオムギにおける穀粒の加熱褐変とポリフェノール含量の品種間差異. *四国農試報* 65 : 9-16.
- 6) Hatcher, D. W.; Kruger, J. E. 1997. Simple phenolic acids in flours prepared from canadian wheat: Relationship to ash content, color, and polyphenol oxidase activity. *Cereal Chem.* 74 : 337-343.
- 7) Heimler, D.; Vignolini, P.; Isolani, L.; Arfaioli, P.; Ghiselli, L.; Romani, A. 2010. Polyphenol content of modern and old varieties of *Triticum aestivum* L. and *T. durum* Desf. grains in two years of production. *J. Agric. Food Chem.* 58 : 7329-7334.
- 8) 伊藤美環子. 2009. 硬質コムギの二次加工適性の評価及び品質改善のための選抜法に関する研究. *北海道農研研報* 191 : 1-40.
- 9) Jonnala, R. S.; Irmak, S.; MacRitchie, F.; Bean, S. R. 2010. Phenolics in the bran of waxy wheat and triticale lines. *J. Cereal Sci.* 52 : 509-515.
- 10) Juliano, B. O. A. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Sci. Today.* 16 : 334-360.
- 11) 加藤常夫, 小松 晃, 小前幸三. 2002. 小麦の製粉歩留と細胞壁多糖類の含量との関係. 平成14年度作物研究成果情報 (http://www.affrc.go.jp/seika/data_nics/h14/nic046.html).
- 12) 小林和幸, 城斗志夫, 高橋能彦, 福山利範. 2010. 紫黒糯米品種「紫宝」の収量, ポリフェノール含量および餅加工適性を高める栽培法の検討. *日作紀* 79 : 518-527.
- 13) 神山紀子, 藤田雅也. 2000. オオムギ粉の加熱褐変におけるポリフェノール成分の影響. *四国農試報* 65 : 1-7.
- 14) 小綿美環子, 中村和弘, 吉川 亮. 2000. コムギの粉色およびめん色に及ぼすポリフェノール含量の影響. *日作紀* 69 (別2) : 314-315.
- 15) Lachman, J.; Dudjak, J.; Orsak, M.; Pivec, V. 2003. Effect of accelerated ageing on the content and composition of polyphenolic complex of wheat (*Triticum aestivum*) grains. *Plant soil environ.* 49 : 1-7.
- 16) Lachman, J.; Miholova, D.; Pivec, V.; Jiru, K.; Janovska, D. 2011. Content of phenolic antioxidants and selenium in grain of einkorn (*Triticum monococcum*), emmer (*Triticum dicicum*) and spring wheat (*Triticum aestivum*) varieties. *Plant soil environ.* 57 : 235-243.
- 17) Lempereur, I.; Rouau, X.; Abecassis, J. 1997. Genetic and agronomic variation in arabinoxylan and ferulic acid contents of durum wheat (*Triticum durum* L.) grain and its milling fractions. *J. Cereal Sci.* 25 : 103-110.
- 18) Masum Akond, A. S. M. G.; Khandaker, L.; Hossain, K. G.; Furuta, Y. 2010. Total polyphenol, polyphenol oxidase, antioxidant activity and color profiles of some wheat varieties from Bangladesh. *Res. J. Agric. & Biol. Sci.* 6 : 186-190.
- 19) McCallum, J. A.; Walker, J. R. L. 1990. O-diphenol oxidase activity, phenolic content and colour of New Zealand wheats, flours and milling streams. *J. Cereal Sci.* 12 : 83-96.
- 20) Nakamura, T.; Yamamori, M.; Hidaka, S.; Hoshino, T. 1992. Expression of HWM Wx protein in Japanese common wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Japan. J. Breed.* 42 : 681-685.
- 21) 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 : 70p.
- 22) Oda, M.; Yasuda, Y.; Okazaki, S.; Yamauchi, Y.; Yokoyama, Y. 1980. A method of flour quality assessment for Japanese noodles. *Cereal Chem.* 57 : 253-254.

- 23) 乙部 (桐測) 千雅子, 加藤常夫, 柳沢貴司, 藤田雅也, 小前幸三. 2002. アラビノキシラン含量の低減化によるもち性小麦の製粉歩留改良. 育種学研究 4 (別1) 200.
- 24) Punia, N. D.; Khetarpaul, N. 2008. Physico-chemical characteristics, nutrient composition and consumer acceptability of wheat varieties grown under organic and inorganic farming conditions. *Inter. J. Food Sci. Nutr.* 59 : 224-245.
- 25) Quinde, Z.; Ullrich, S. E.; Baik, B. -K. 2004. Genotypic variation in color and discoloration potential of barley-based food products. *Cereal Chem.* 81 : 752-758.
- 26) Sosulski, F.; Krygier, K.; Hogge, L. 1982. Free, esterified, and insoluble-bond phenolic acids. 3. Composition of phenolic acids in cereal and potato phenolic acids. *J. Agric. Food Chem.* 30 : 337-340.
- 27) 食糧庁. 1997. 国内産小麦の評価に関する研究会報告書 - 小麦のめん (うどん) 適性評価法 -. p.16-25.
- 28) Takata, K.; Yanaka, M.; Fujita, Y.; Ishikawa, N. 2007. Evaluation of the grain and flour quality in near-isogenic wheat lines with waxy and double-null Wx proteins. *Breeding Science* 57 : 79-83.
- 29) 栃木県農業試験場栃木分場ビール麦醸造用品質改善指定試験地. 1998. 品質改良のためのビール麦品質検定法 第3版. p.22-23.
- 30) Verma, B.; Hucl, P.; Chibbar, R. N. 2008. Phenolic content and antioxidant properties of bran in 51 wheat cultivars. *Cereal Chem.* 85 : 544-549.
- 31) Yanagisawa, A.; Amano, Y. 1996. Degradation of flour color in wheat damaged by rain in Hokkaido. (Noda, K.; Mares, D. J. ed., *Proc. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995*). CASJO Press. Osaka, Japan. p.19-26.
- 32) 吉川 亮, 八田浩一, 中村和弘, 中村 洋. 1998. もち性小麦「東北糯210号」, 「東北糯211号」の製粉性及び品質の地域間差. 東北農業研究 51 : 95-96.
- 33) 吉川 亮, 中村 洋, 中村和弘, 八田浩一. 1999. 中種生地法による小麦製パン適性の品種・系統間差異. 東北農業研究 52 : 87-88.
- 34) 吉川 亮, 中村和弘, 伊藤美環子, 八田浩一. 2000. 大麦の精麦白度, 炊飯白度及びポリフェノール含量の品種・地域間差異. 東北農業研究 53 : 79-80.
- 35) 吉川 亮, 伊藤美環子, 中村和弘. 2001. 小麦品種・系統における小麦粉のポリフェノール含量と製粉性及び小麦粉品質との関係. 育種学研究 3 (別1) : 140.
- 36) 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.