

コムギのW_xタンパク質欠失系統における小麦粉特性の地域と年次変動

長 学¹⁾, 柳沢 朗²⁾, 菅原章人³⁾, 加藤清明¹⁾, 三浦秀穂¹⁾

(受理: 2001年11月29日)

Local and year-to-year variation in flour properties of W_x-protein deficient lines in wheat

M. Osa¹, A. Yanagisawa², A. Sugawara³, K. Kato¹ and H. Miura^{1*}

摘要

めん用コムギの育種において、アミロース合成に関わるW_xタンパク質の有無と小麦粉特性の関連を明らかにすることはめんの食感改善上重要である。本研究では春播き品種 Chinese Spring の遺伝背景を共通にもち、3種類のW_xタンパク質のいずれかを欠失する7タイプとすべて生産する野生型の計8タイプを北海道の主要な小麦産地である十勝、北見、上川で3年間にわたって栽培し、小麦粉品質の重要な形質であるアミロース含量、蛋白質含量、澱粉の糊化特性に対する個々のW_x遺伝子の効果、地域と年次の環境効果およびそれらの相互作用について解析した。アミロース含量は年次変動が認められたものの、変異の大部分はW_x座の対立遺伝子の組み合わせで決定されていた。タイプ×環境の相互作用も認められず、null対立遺伝子の違いによる変異は環境間で安定して発現していた。蛋白質含量はタイプ間の変異が小さく、環境効果を受けやすかった。澱粉最高粘度とブレイクダウンではタイプ×環境の相互作用が存在し、これら2形質の環境間での変動はタイプ間で異なっていた。特にW_x-B1タンパク質に関する二重欠失のタイプはより低いアミロース含量と高く安定したブレイクダウンを示し、うどん原料用としての澱粉特性がより向上することが窺われた。

キーワード: *Triticum aestivum* L., W_xタンパク質, アミロース含量, 粗蛋白質含量, 糊化特性, 遺伝子型×環境の相互作用

緒 言

イネ科穀類の胚乳貯蔵澱粉は、グルコース単位が直鎖状に α -1,4結合で重合したアミロースと α -1,6

結合による分枝構造を持つアミロペクチンから構成される。種子胚乳のアミロースはADPグルコースを基質としてW_xタンパク質と呼ばれる澱粉粒結合型のスターチシンターゼにより合成される。AAB

¹⁾帯広畜産大学, 帯広市, 〒080-8555, ²⁾北海道立北見農業試験場, 訓子府町, 〒099-1406, ³⁾北海道立上川農業試験場, 比布町, 〒078-0397

¹⁾Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, 080-8555, Japan; ²⁾Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station, Kunneppu, 099-1406, Japan; ³⁾Hokkaido Prefectural Kamikawa Agricultural Experiment Station, Pippu, 078-0397, Japan *Corresponding author (miurahm@obihiro.ac.jp)

BDDのゲノム構成をもつコムギ (*Triticum aestivum* L.) では、分子量と等電点の異なる3つのWxタンパク質 (Wx-A1, Wx-B1, Wx-D1) が存在し (Nakamura et al. 1993a), それらをコードするWx遺伝子座は7A染色体短腕 (Wx-A1), 7B染色体短腕の一部が転座した4A染色体長腕 (Wx-B1), 7D染色体短腕 (Wx-D1) に同祖的に座乗している (Chao et al. 1989)。いずれかのWx座にnull対立遺伝子をもちWxタンパク質が生産されないとアミロース含量が低下し、アミロース/アミロペクチンの量比が変化する (Yamamori et al. 1992, Nakamura et al. 1993b, Miura and Tanii 1994)。わが国やオーストラリアの優れた食感をもつめん用コムギ品種にはWx-B1b null対立遺伝子によりWx-B1タンパク質を欠いたものが多い (Miura and Sugawara 1994, Zhao et al. 1998)。アミロース含量の多少はめん食感上重要な粘弾性に強く関わっており、数%の違いがアミログラムの最高粘度やブレイクダウンに大きく影響する (小前 1991)。3つのnull対立遺伝子のなかではWx-B1bが最もアミロース含量を低下させ (Miura and Sugawara 1996, Miura et al. 1999, Yamamori and Quynh 2000), 粘弾性を高める効果が最も大きいこと (Araki et al. 2000, Yamamori and Quynh 2000) が認められている。

めん用として優れる 'Australian Standard White' (ASW) は、小麦粉の蛋白質含量が中庸であり、アミロース含量は22%程度と低く、糊化特性や色調も

優れるため実需者や消費者から最上位の評価を受けている (平ら 1989, 天野・柳沢 1993)。このASWに匹敵する品質を持つめん用品種の育成が日本でも進められている。北海道立北見農業試験場で開発したチホクコムギやホクシンはWx-B1タンパク質を欠失しており、すぐれためん食感をもつと評価されている。

以上のことからめん用コムギの育種において、アミロース合成に関わるWxタンパク質の有無と小麦粉特性の関連を明らかにすることはめん食感改善上重要であり、最近の研究で3種類のWxタンパク質の有無によって可能な8タイプの遺伝子型が複数の研究者によって育成され、小麦粉特性の比較、解析が進められている (Zhao and Sharp 1998, Miura et al. 1999, Yamamori and Quynh 2000)。本研究では3種類のWxタンパク質のいずれかを欠失する7タイプとすべて生産する野生型の計8タイプを北海道の主要な小麦生産地である十勝, 北見, 上川で3年間にわたって栽培し、小麦粉特性に対する個々のWx遺伝子の効果、環境効果およびそれらの相互作用について解析した。

材料および方法

1. 供試材料

本実験の材料には春播き品種Chinese Spring (以下CS) を共通の遺伝背景とし、Wxタンパク質の有無により考えられる8タイプ (Table 1) を用

Table 1. Eight types of the Wx-protein deficient lines based on absence(-) of the Wx-A1, -B1, -D1 proteins

Type	Wx protein		
	A1	B1	D1
1 Wild type	+	+	+
2 wxA	-	+	+
3 wxB	+	-	+
4 wxD	+	+	-
5 wxAB	-	-	+
6 wxAD	-	+	-
7 wxBD	+	-	-
8 wxABD	-	-	-

いた。これらWxタンパク質欠失系統の育成方法はMiura and Sugawara (1996) およびMiura et al. (1999) に示した。3つのWxタンパク質のいずれかを1つ欠失した3タイプ(wxA, wxB, wxD)は、CSの7A, 4A染色体をnull対立遺伝子のWx-A1b, Wx-B1bを持つ‘関東107号’の相同染色体と、7D染色体をWx-D1bを持つ中国品種の‘Bai Huo’でそれぞれ置換した系統である。wxAとwxBは12回、wxDは9回の戻し交雑を行っていて、置換された染色体以外の遺伝背景はCSに統一されている。Wx遺伝子が二重劣性の3タイプ(wxAB, wxAD, wxBD)はCS(KT7A)×CS(KT4A)の交雑からWx-A1b, Wx-B1bを持つwxABを、CS(KT4A)×CS(BH7D)からWx-B1b, Wx-D1bを持つwxBDを、CS(KT7A)×CS(BH7D)からWx-A1b, Wx-D1bを持つwxADを単粒系統法で育成し、F7~F9世代を供試した。3Wx座いずれもWx-A1b, Wx-B1b, Wx-D1bのnull対立遺伝子をもつwxABD(モチコムギ)は、CS(KT7A)×CS(KT4A)の交雑で得られたF₂種子からWx-A1b, Wx-B1bを持つ系統を選抜し、さらにこれにCS(BH7D)を交雑し、得られた自殖F₂種子から選抜した。それぞれのタイプには3系統ずつの姉妹系統が含まれ、計24系統を供試した。

2. 栽培試験および製粉試験

これらの材料を、1997, 1998および1999年の3年間、帯広畜産大学実験圃場(以下帯広)、北海道立北見農業試験場圃場(訓子府町:以下北見)、北海道立上川農業試験場圃場(比布町:以下上川)に春播きし、標準栽培した。登熟期の8月中旬前後に収穫し、通風乾燥後、試験用小型脱穀機で脱穀した。製粉に際しては、ランダムに抽出した種子サンプルの水分含量を経時的に計測し、約14%の時点で系統当たり100gの種子をブラベンダー式小型テストミルで粉砕しA粉を得た。穂発芽の見られたサンプルについては発芽粒を取り除いて製粉した。

3. アミロース含量

A粉を木綿の袋に入れ、それを500mlのぬるま湯を張ったボールに浸し、澱粉を採み出しグルテンを取り除いた。ボールを一晩室温に静置し、上澄みを

捨てた。さらに沈澱している澱粉を少量の蒸留水で懸濁液とし3200回転/分で20分間遠心分離した。この処理を3回繰り返す、不純物を取り除き精製した。30℃に設定したインキュベーター内で十分に乾燥させた後、粉碎機で粉砕し澱粉を得た。それら澱粉はアミロース含量および糊化特性の測定時まで-20℃の冷凍庫に貯蔵した。アミロース含量の定量は、Miura et al. (1994) に従いAuto Analyzer II (BRAN+LUBBE社)を用いて、澱粉100mg中のアミロース含量として求めた。対照としてアミロース含量が22.9%であるASWを用いて、3反復で測定した。

4. 糊化特性

Rapid Visco Analyzer(RVA:Newport Scientific社)を用いて測定した。澱粉試料3.0gに対し蒸留水25mlを加えて作成した懸濁液を50℃で1分間保った後、5℃/分で95℃まで上昇させそのまま5分間保った。その後5℃/分でふたたび50℃まで下げ2分間保持した。その時の粘性のピークを最高粘度、最高粘度とピークに達した後の最低値との差をブレイクダウンとして2反復で測定した。統計解析にはそれらの平均値を用いた。

5. 蛋白質含量

Infra Analyzer (BRAN+LUBBE社)を用いた近赤外分光法によりA粉の蛋白質含量と水分を測定した。これらの値から小麦粉水分14%での蛋白質含量に換算した。測定は2反復で行い、統計解析はそれらの平均値で行った。検量線の作成は、各年次に北見で春播き栽培した蛋白質含量について変異の大きな46品種のデータを用いて行った。

6. 統計解析

Wxタンパク質欠失タイプ、地域および年次の3つの要因による3元配置分散分析を行なった。誤差分散にはタイプ内の姉妹系統間の分散を用いた。タイプ間および環境間の差異はDuncanの範囲検定で解析した。

分散分析の結果から、タイプ×環境の相互作用が有意であった形質について、Finlay and Wilkinson (1963)の方法を用いて各タイプの環境変化に対する反応性をみた。ここではX軸に環境指標としてWx

タンパク質をすべて生産するタイプ1の値をとり、Y軸に各タイプの表現型値をとり9環境分9つの点をプロットしていき一次回帰直線 ($Y=a+bX$) を求めた。回帰係数が1から有意に隔たっていないければW_xタンパク質の欠失タイプの環境間での変動が野生型とほぼ同様であり、1より有意に小さいタイプは野生型のタイプ1と比較して変動が小さく、逆に1より大きいタイプは環境反応性が高いと見なした。

結 果

1. 気象概要

試験を実施した1997, 1998および1999年の3年間の帯広, 北見, 上川のコムギ登熟期から収穫期にあたる7月下旬から8月下旬の平均気温と降水量をTable 2に示した。1997年は3地域で登熟期である

8月上旬に平年値を100mm上回る降雨量があり、収穫期の8月中旬には平均気温が15℃以下の低温に遭ったため、ほとんどの系統が穂発芽を生じた。1998年は帯広で登熟期の8月中旬に平年を上回る降雨があり、さらに収穫期の8月下旬には150mm超の降雨が観測され、一部の系統で穂発芽が見られた。他の2地域はほぼ平年並みの平均気温と降水量の推移を示した。1999年は上川で7月下旬に台風の影響で150mm超の降雨があったが、その後は40mm以下の降水量で他の2地域とともに平年値を下回っていた。この年の平均気温は3地域とも平年と比較して2~5℃程度高く推移し高温少雨の気候で、穂発芽はみられなかった。このように試験を実施した9環境は多様な気象条件であった。

Table 2. Mean temperature and precipitation from ripening time to harvesting time at three location in 1997-1999

		Late July		Early August		Middle August		August	
		Mean temp. (°C)	Precipitation (mm)	Mean temp. (°C)	Precipitation (mm)	Mean temp. (°C)	Precipitation (mm)	Mean temp. (°C)	Precipitation (mm)
1997	Obihiro	21.7	3.1	20.9	145.0	14.8	64.5	17.5	11.0
	Kitami	23.0	22.0	19.5	106.0	13.7	34.0	17.4	20.0
	Kamikawa	24.4	5.0	20.2	116.5	15.3	32.0	18.6	35.5
1998	Obihiro	19.0	58.0	17.9	5.0	18.5	81.0	19.9	153.0
	Kitami	17.6	60.5	17.3	20.5	17.6	54.5	19.5	134.5
	Kamikawa	20.1	62.5	19.5	27.0	19.1	25.0	20.5	92.5
1999	Obihiro	23.5	18.5	25.0	22.0	22.3	0.5	19.7	52.5
	Kitami	22.1	86.5	25.4	16.0	22.5	5.0	18.8	16.0
	Kamikawa	22.9	157.5	25.4	30.5	24.4	2.0	20.4	21.5

2. アミロース含量

アミロース含量の分散分析の結果をTable 3に示した。なお、アミロース含量がほぼ0%のモチコムギを含めた解析では、変動の大部分がモチコムギと残り7タイプ間の差異に集約されてしまい、他の要因の検定が明確でないため、モチコムギを除いて

分析した。タイプ間と環境間ともに0.1%水準の有意差があったが、タイプ間のF値は環境のそれより極めて大きく、アミロース含量の変異はタイプ間、つまりW_xタンパク質の有無に強く支配される形質であることが示された。Fig. 1に示すように、W_x-B1タンパク質とW_x-D1タンパク質を二重に欠失し

Table 3. F values in the analysis of variance for amylose content, protein content and starch-pasting viscosity in eight types of the W_x-protein deficient lines grown under nine environments

Source of variation	Amylose content ¹⁾	Protein content	Peak viscosity	Breakdown
Genotype (G)	127.33***	8.00***	0.25	6.00***
Environment (E)	5.19***	95.00***	30.53***	11.99***
Location (L)	0.08	113.85***	3.19*	2.09
Year (Y)	12.78***	182.31***	102.31***	38.27***
L×Y	3.94**	33.31***	8.31***	2.60**
G×E	1.36	1.38	3.46***	4.10***
G×L			2.28**	3.14***
G×Y			7.14***	9.56***
G×L×Y			2.21**	1.86*

1) The waxy type (wxABD) was not included.

Significant levels * P<0.05, ** P<0.01, *** P<0.001

たwxBDのアミロース含量が9環境を平均して17.47%と最も低く、ついでWx-A1とWx-B1タンパク質をともに欠失したwxABの19.34%、Wx-A1とWx-D1タンパク質を欠失したwxADの21.74%の順であった。タイプ2-4の単欠失タイプの間には有意差は見られなかった。全てのWxタンパク質を生産する野生型のタイプ1のアミロース含量は23.92%と他の6タイプより有意に高く、タイプ7のwxBDとの間には6%以上の差があった。

環境効果を詳しく見てみると、地域間に有意差はなく年次間に0.1%水準の有意差があり、地域×年次の相互作用も1%水準で有意であった。これにより年次間の変動が環境要因の中では最も大きく、おもに1997年と他の2年間の差によっていた(Fig.2)。タイプ×環境の相互作用は有意でなかった。

3. 蛋白質含量

モチコムギのwxABDが15.30%と野生型より1%ほど有意に高かったものの、他の6欠失タイプと野生型には有意差がなかった。この結果から、Wxタンパク質の欠失と小麦粉蛋白質含量のタイプ間変異には関連はみられなかった。

環境間では年次による効果が最も大きく、ついで

地域、地域×年次の効果であった。1999年の上川が12.45%と有意に低く、ついで同年の北見の順であった。逆に年次では1997年、地域では帯広で高い傾向にあった(Fig.2)。また、アミロース含量と同様にタイプ×環境に有意差はなかった。

4. 澱粉最高粘度

タイプ間に有意差が見られず、Wxタンパク質欠失による効果はタイプ×環境の相互作用を通して現れた。環境間には0.1%水準の有意差があり、年次の効果が最も大きく、ついで地域×年次であり、地域間の変異は小さかった。3地域とも穂発芽被害のあった1997年が3年間で最も低い値だった。逆に高い値を示したのが1998年であった(Fig.2)。タイプ×環境の相互作用は年次との間で0.1%水準、地域、地域×年次の間では1%水準で有意であった。

5. 澱粉ブレイクダウン

最高粘度と比べタイプ間の差異が大きく、Wxタンパク質の有無はブレイクダウンに影響を与えることが示された。8タイプ間の比較をしたFig.1の結果では、最も低い野生型の127.8RVUとwxAの137.4 RVU, wxDの141.9RVU, wxADの145.5 RVU,

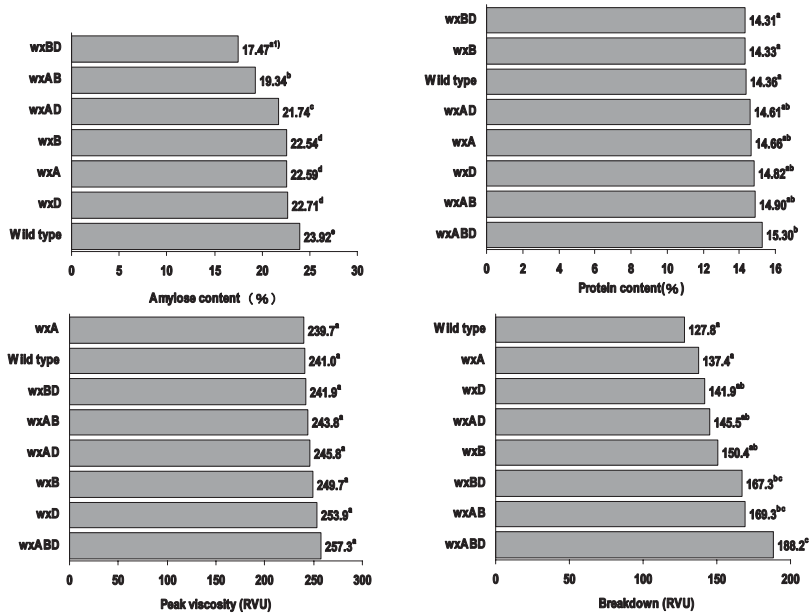


Fig.1. Mean performance of amylose content, protein content and starch-pasting viscosity across nine environments in the seven types of the Wx-protein deficient lines and Chinese Spring (wild type). The values followed by the same letter are not significantly different using Duncan's Multiple Range Test (P=0.05).

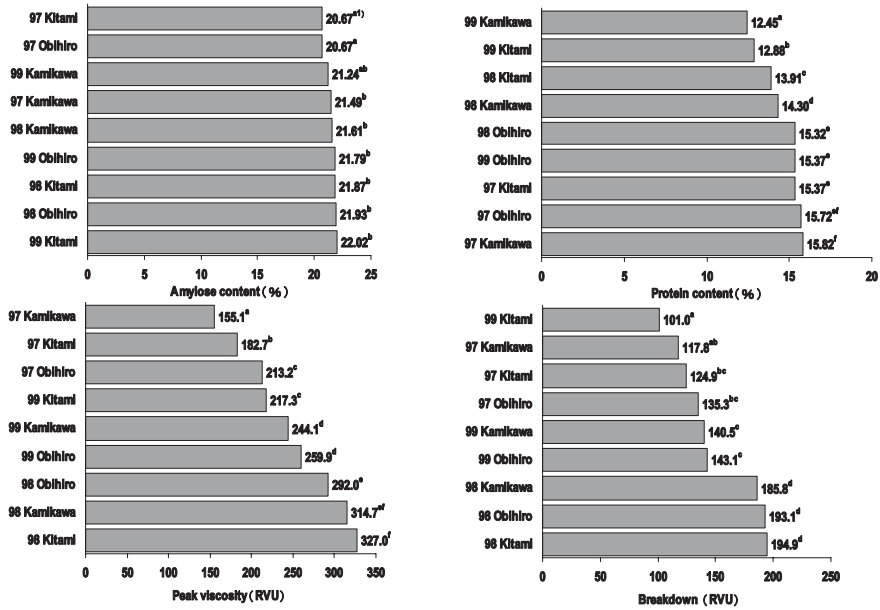


Fig.2. Comparison of the nine environments for amylose content, protein content and starch pasting viscosity as indicated by the average of the lines. The values followed by the same letter are not significantly different using Duncan's Multiple Range Test ($P=0.05$).

1) The waxy type (wxABD) was not included.

wxBの150.4RVUには有意差がなかった。逆に最も高い値を示したモチコムギは188.2RVUでwxBD, wxAB以外と有意差が見られた。Wx-B 1 タンパク質を欠失したタイプ, Wxタンパク質二重, 三重欠失タイプは高い値を示す傾向があった。環境間にも0.1%水準の有意差が見られた。要因としては澱粉最高粘度と同様, 年次による効果が優勢であった。また, タイプ×環境の相互作用が0.1%水準で有意であり, 地域と年次の違いに対する反応がタイプ間で異なっていた。

ブレイクダウンの環境間での変異は, 1999年の北見を除いて最高粘度と似通っていた。1999年の北見は最低の値101.0RVUであった。次いで低かったのは1997年の3地域, 1999年の上川, 帯広の順で, 1998年ほどの地域でも最も高い値を示した。

6. タイプ×環境の相互作用

Table 2の分散分析表でタイプ×環境に有意差のあった糊化特性について, Finlay and Wilkinsonの方法を用いてそれぞれのタイプの環境反応性を解

析した。X軸には各環境のWxタンパク質を全てもつ野生型3系統の平均値を, Y軸には各タイプの表現型値をとっている。

タイプ2~7の澱粉最高粘度の環境反応性をFig.3にまとめた。モチコムギ(タイプ8)はFig.5に示してある。いずれのタイプも最高粘度の環境間の変動は, 一次回帰直線で特徴づけることができた。wxAとwxDの回帰係数は $b=1.03$, 0.98 とほぼ1であったのに対し, wxB, wxAB, wxAD, wxBDでは $b=0.85$ ~ 0.54 と回帰係数が小さくなっていた。特に, wxBDの回帰係数は1と比べ有意に小さかった。タイプ3のWx-B1欠失系統およびタイプ5-7の二重欠失系統の傾きが他より小さい傾向にあり, 劣悪な環境に対してもある程度高い最高粘度を示した。

一方, Fig.4には7タイプのブレイクダウンの結果をまとめている。最高粘度と同様に, wxAとwxDの回帰係数は $b=0.93$, 0.92 とほぼ1であったのに対し, wxB, wxAB, wxAD, wxBDは $b=0.81$ ~ 0.53 と小さかった。特にwxABとwxBDは1に対して, 有意に低い回帰係数であった。この結果から環境に

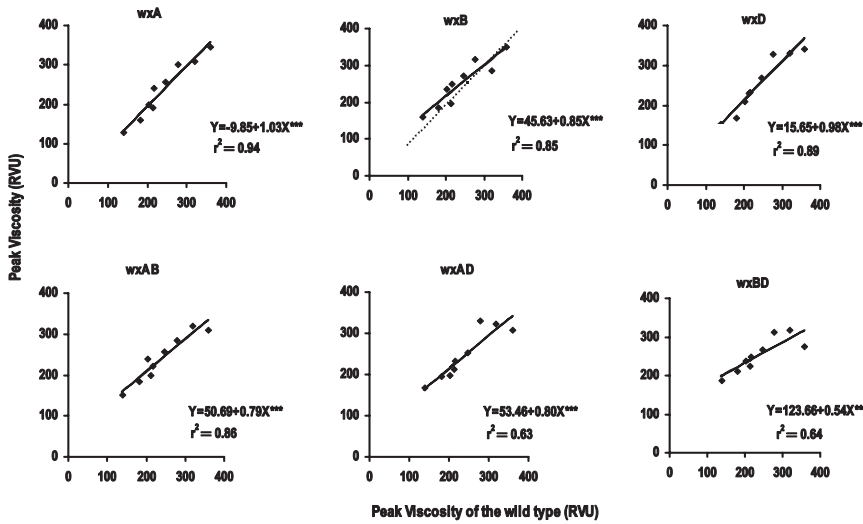


Fig.3. Regression of peak viscosity in the single and double Wx-protein deficient lines on the peak viscosity of the wild type.

r^2 :Coefficient of determination

Significant levels * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

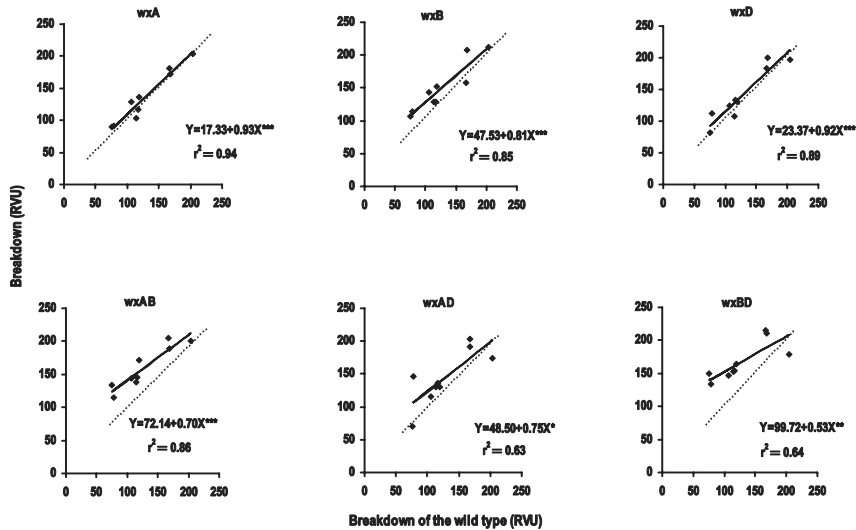


Fig.4. Regression of breakdown in the single and double Wx-protein deficient lines on the breakdown of the wild type.

r^2 :Coefficient of determination

Significant levels * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

対する安定性として、Wx-A 1 タンパク質欠失 < Wx-D 1 タンパク質欠失 < Wx-B 1 タンパク質欠失となった。ブレイクダウンの値が高かった二重欠失の

3 タイプには高い安定性があった。

タイプ 8 モチコムギの澱粉最高粘度とブレイクダウンの環境反応性を Fig.5 に示した。回帰係数はそ

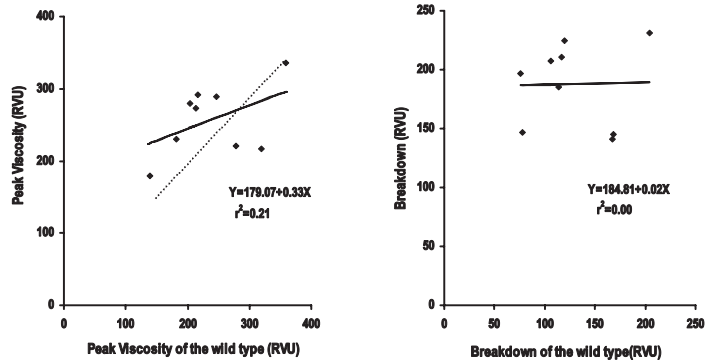


Fig.5. Regression of peak viscosity and breakdown in the waxy type on those of the wild type.
 r^2 : Coefficient of determination

れぞれ $b=0.33$, 0.02 と8タイプの中で最も小さく, かつ決定係数 (r^2) が 0.21 と 0.00 と低く, 一次回帰による環境反応性の推定は困難であった。

考 察

本実験で地域と年次を異にする計9環境で7タイプのWxタンパク質欠失系統と野生型を検討した結果, アミロース含量には年次効果があるものの, 変異の大部分はWx座の対立遺伝子の組み合わせで決定されることが示された。Wxタンパク質を二重に欠失したタイプ5, 6, 7の間にはアミロース含量に明らかな差がみられ (Fig.1), これらのタイプで発現しているWx遺伝子でみるとアミロース合成能力は $Wx-B1a > Wx-D1a > Wx-A1a$ の順でこれまでの報告と一致した (Miura et al. 1999, Yamamori and Quynh 2000)。ただし, 単欠失のタイプ2, 3, 4の間に統計的な差異はなかった。Yamamori and Quynh (2000) も3年間にわたってWxタンパク質欠失系統を圃場栽培し, 本実験同様単欠失3タイプ間のアミロース含量の差が年次によって不明瞭だったことを報告している。穂発芽被害を回避して収穫した種子を対象に分析したこれまでのわれわれの試験では, 単欠失3タイプのなかでWx-B1タンパク質の欠失がWx-A1やWx-D1タンパク質の欠失より低アミロースであった (Miura et al. 1994, Miura and Sugawara 1996, Miura et al. 1999, Araki et al. 2000)。これらの相違については, 本実験で穂発芽の見られた1997年に, Wx-A1タンパク質欠失の1系統が3場所ともアミロース含量が21

%以下で, Wx-B1タンパク質欠失系統との差が縮まったことが原因の一つにあげられる。

いずれにしてもTable 2から明らかのように, アミロース含量はWx座の遺伝的制御を強く受ける。環境効果として年次間差異があったものの, 地域間に差異はなく, またタイプ×環境の相互作用も認められずnull対立遺伝子の違いによるアミロース含量の差異は, 北海道の主要な小麦生産地帯では安定して発現することが示唆された。

一方, 小麦粉の蛋白質含量は環境効果を受けやすく, 地域間, 年次間で有意に異なっていた。Wxタンパク質の有無に関する8タイプの間の変異は小さく, 単欠失および二重欠失と野生型の間には有意差はなく, またタイプ×環境の相互作用もなかった。したがって, 本実験結果で見える限り, null対立遺伝子は蛋白質含量とその環境間の変動には効果を及ぼさないとはいえる。蛋白質含量が栽培土壌間で変動することはよく知られており, 国産コムギでしばしば問題となる生産地や年次の違いによる小麦粉品質のばらつきの大きな原因となっている (平野ら 1963, 佐藤ら 1992)。

結果には示していないが, 各タイプからランダムに選んだ系統の α -アミラーゼ活性を測定したところ, 1997年の一部の系統で穂発芽の影響によると見られる 1000mU/g 以上の高い活性が観察された。しかし, 欠失タイプとアミラーゼ活性の間に一定した関係はなかった。また, 1999年は3地域とも成熟期が高温少雨で推移し穂発芽が観察されなかったにもかかわらず, 澱粉の最高粘度とブレイクダウンとも

に低い傾向にあった。その原因として一つには、記録的な高温で登熟が急速に進んだことで、 α -アミラーゼ活性が十分に低下する前に収穫したことが考えられる。しかし、これらの点はすべての系統の α -アミラーゼ活性を詳しく検討したものでなく、穂発芽による α -アミラーゼ活性とWxタンパク質欠失の関係については今後詳細にする必要がある。

Table 2の分散分析の結果から、澱粉の最高粘度とブレイクダウンには欠失タイプ×環境の相互作用が存在し、これら2形質の環境間での変動は欠失タイプ間で異なることがわかった。モチコムギを除く7タイプでみると、3種類のWxタンパク質を全て生産する野生型に比べ、Wx-B1タンパク質を共通に欠失したタイプ3, 5, 7は一樣に環境変化に対する反応が低く、安定した糊化特性を示すことが明らかになった (Figs. 3, 4)。前述したように、めん用品種にWx-B1タンパク質欠失タイプが高い頻度で存在することは、3つのnull対立遺伝子を比較したとき、Wx-B1bが最もアミロース含量を低下させ (Miura and Sugawara 1996, Miura et al. 1999, Yamamori and Quynh 2000)、粘弾性を高める効果が最も大きいこと (Araki et al. 2000, Yamamori and Quynh 2000) に加え、このタイプの製めん適性に関与する特性が種々の栽培条件で安定して発現することを示唆している。本実験でのタイプ3の結果はアミロース含量と澱粉糊化特性に関して上の仮説を支持するものである。

さらにWx-B1タンパク質に関する二重欠失のタイプ5と7は単欠失のタイプ3より低いアミロース含量と高く安定したブレイクダウンを示したことより、Wx-B1b遺伝子と他の2つのnull対立遺伝子のいずれかを組み合わせることで、うどん原料用としての澱粉特性がより向上することが窺われた。特に、環境を通じて約17.5%のアミロース含量を示したWx-B1bとWx-D1bの組み合わせによるタイプ7は、アミロース含量が22%程度のタイプ3より明らかに糊化特性の環境変動が小さかった。このことからWx座の遺伝的操作によりタイプ3のWx-B1タンパク質を欠失したチホコムギやホクシンより低アミロースで、環境間で糊化特性が安定した実用品種を育成することは可能であると考えられる。近年、安全性等の問題から国内産コムギへの関心が高まるなかで、一

部パンや菓子などに利用されているものの、国産コムギの大部分はうどんを主体に利用されている。したがって今後はタイプ7を含むWxタンパク質二重欠失系統について製めん適性を中心に二次加工適性を詳細に調査する必要がある。

謝 辞

本研究を実施するにあたり帯広畜産大学の沢田壮兵氏、口田圭吾氏、荒木悦子氏、紙谷志穂氏、江熊香織氏にご協力いただきました。北海道立十勝農業試験場天野洋一氏には本稿の校閲をいただきました。

引用文献

- 天野洋一, 柳沢 朗 (1993) 秋播き小麦における高品質品種の育成. 育種学最近の進歩. 35: 8-15
- Araki E., H. Miura and S. Sawada (2000) Differential effects of the null alleles at the three Wx loci on the starch-pasting properties of wheat. *Theor. Appl. Genet.* 100:1113-1120
- Chao S., P.J. Sharp, A.J. Worland, E.J. Warham, R.M.D. Koedner and M.D. Gale (1989) RFLP-based genetic maps of wheat homoeologous group 7 chromosomes. *Theor. Appl. Genet.* 78:495-504
- Finlay K.W. and G. Wilkinson (1963) The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14:742-754
- 平野寿助, 海妻矩彦, 江口久夫 (1963) 土壌および肥料が小麦の品質に及ぼす影響. *中国農業研究* 27:50-51
- 小前幸三 (1991) 小麦の成分特性と加工特性. 1. デンプン成分. *研究ジャーナル* 14 (12): 7-15
- Miura H. and S. Tanii (1994) Endosperm starch properties in several wheat cultivars preferred for Japanese noodles. *Euphytica* 72:171-175
- Miura H. and A. Sugawara (1996) Dosage effect of the three Wx genes on amylose content in wheat endosperm. *Theor. Appl. Genet.* 92:1066-1070
- Miura H., S. Tanii, T. Nakamura and N.

- Watanabe (1994) Genetic control of amylose content in wheat endosperm starch and differential effects of three *Wx* genes. *Theor. Appl. Genet.* 89:276-280
- Miura H., E. Araki, and S. Tarui (1999) Amylose synthesis capacity of the three *Wx* genes of wheat cv. Chinese Spring. *Euphytica* 108:91-95
- Nakamura T., M. Yamamori, H. Hirano and S. Hidaka (1993a) Identification of three *Wx* proteins in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biochem. Genet.* 31:75-86
- Nakamura T., M. Yamamori, H. Hirano and S. Hidaka (1993b) Decrease of waxy (*Wx*) protein in two common wheat cultivars with low amylose content. *Plant Breed.* 111:99-105
- 佐藤暁子・小柳敦史・末永一博・渡辺 修・川口數美・江口久夫 (1992) コムギ品質におよぼす土壌と窒素, リン酸施肥の影響. *日作紀* 61:616-622
- 平 春枝・田中弘美・斎藤昌義 (1989) 国内産小麦の品質. 第3報. 小麦粉およびデンプンの性質と品種・生産地・等級との関係. *日作紀* 58:24-34
- Yamamori M. and N.T. Quynh (2000) Differential effects of *Wx*-A1, -B1 and -D1 protein deficiencies on apparent amylose content and starch pasting properties in common wheat. *Theor. Appl. Genet.* 100:32-38
- Yamamori M., T. Nakamura and A. Kuroda (1992) Variations in the starch-granule bound protein among several Japanese cultivars of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 64:215-216
- Zhao X.C. and P.J. Sharp (1998) Production of all eight genotypes of null alleles at 'waxy' loci in bread wheat, *Triticum aestivum* L. *Plant Breed.* 117:488-490
- Zhao X.C., I.L. Batey, P.J. Sharp, G. Crosbie, I. Barclay, R. Wilson, M.K. Morell and R. Apples (1998) A single genetic locus associated with starch granule properties and noodle quality in wheat. *J.Cereal Sci.* 27: 7-13

Abstract

It has been demonstrated that the null alleles at the three *Wx* loci of wheat confer a low amylose content and a high pasting viscosity of starch. The amylose content and pasting properties, as well as crude protein content, are important in producing marketable flour products. Variation for flour quality produced in different locations and years has frequently been noticed in domestic wheat. To verify the effects of null alleles at the *Wx* loci, environments and their interaction on flour properties, the eight possible types of recombinant lines carrying different null alleles under the 'Chinese Spring' genetic background were examined in the three main production areas in Hokkaido during 3 years. Amylose content was less variable across the nine environments than the other characters associated with flour quality. The combinations of the null alleles at the *Wx* loci explained most of the variation and no significant interaction with environment was appeared. Crude protein content was flexible in year to year and there were no effects of the *Wx* loci. Peak viscosity and breakdown of starch in the eight types were interacted by environments, with a relatively high and consistent viscosity in the double deficient lines than the wild type and single deficient lines. Especially the null allele at the *Wx*-B1 locus in the double deficient lines produced a lower amylose content and a higher starch-pasting viscosity across locations and years. The waxy type was characterized by a higher content of crude protein and higher breakdown than those of the wild type.

Key words: *Triticum aestivum* L., *Wx* protein, amylose content, protein content, starch-pasting property, genotype × environment interaction