

引用文献

- 1) 粉体工学研究会編“粒度測定技術”日刊工業新聞社, 1975, P.1-15.
- 2) 日本麦類研究会編“小麦粉・原料とその加工品”日本麦類研究会, 1964, P.622-683.
- 3) Shuey, W.C. “Practical instrument for rheological measurements on wheat products”. Cereal Chem. 52 II, 42r-81r. (1975).
- 4) Bloksma, A.H. “A calculation of the shape of the alveograms of some rheological model substances”. Cereal Chem. 34, 126. (1957).
- 5) Launay, B.; Bure, J.; Praden, J. “Use of the Chopin Alveographe as a rheological tool. I. Dough deformation measurements”. Cereal Chem. 54, 1042-1048. (1977).
- 6) Aitken, T.R.; Fisher, M.H.; Anderson, J. A. “Effect of protein content and grade on farinograms, extensograms, and alveograms”. Cereal Chem. 21, 465. (1944).
- 7) Amos, A.J. “Rheological methods in the milling and baking industry”. Analyst 74, 392. (1949).
- 8) Khattak, S., B.L.D'apponia and O.J. Bansik. “Use of the Alveograph for quality evaluation of hard red spring wheat”. Cereal Chem. 51, 355-363. (1974).

III-3 水稲における品質育種の知見

III-3-1 米の品質、食味に関する選抜上の知見

佐々木 忠 雄*

北海道の水稲の品種改良においては、耐冷性や耐病性が重要な特性であることは、いうまでもない。これらの検定は、冷水掛流しや畑地晩播法あるいは本田多窒素栽培といった省力的、簡便な方法が確立されており、大量処理、早期選抜、検定が可能である。

一方、食味に関しては、10年ほど前までは、後期世代において（生本段階以降）実際に炊飯し食べ比べていた。当部に限って言えば、圃場展開時の雑種集団は十数万個体、数万系統である。それらのなかから食味に関して全く無選抜に選ばれた5系統ほどのなかに「巴まさり」クラスの味をもつものを期待するのは、宝クジの1等を夢みるようなものであろう。

従って育種サイドからは、選抜に使える食味を判定する物差しの確立が熱望されていた。

近年、食味の良否を理化学的測定により、判定する研究が著しく発展し^{2,8,9)}、道産米に対しても、稲津等⁷⁾や南等¹¹⁾によりその適用が始められた。そして、道産米は本州産米に比べて熱糊化しにくく老化し易い特徴があり、それは、檜作等³⁾や倉沢⁸⁾が指適したと同様に、アミロースの量と質のちがいであることが再認識された。このような研究を背景に、食味改善の方向を米でん粉の糊化・老化特性に求め、北海道の品種改良においては、低アミロース、低蛋白、高アミログラムを目標と

*北海道立中央農業試験場稲作部、
069-03 岩見沢市上幌向町

することになった。

それは、最近のいくつかの自動分析機器の導入により、はじめて具体化された。それ以前は手分析が主であったが、その時の成果の1つとして「しまひかり」をあげることができよう。これは、道南農試育成の品種であるが、1976年生本の時、当部栽培第1科で理化学性を測定し、その結果有望とみなされ、生き残ったといういきさつがある。

道産米を府県産米並の良食味に近づけるためには、食味に関する理化学性が両者でどれほど違うかを調査し、育種目標を設定するとともに、道産米におけるこれらの変異や遺伝様式、あるいは他形質との関係を知ることによって育種手順を考える必要がある。

1. 特性別にみた選抜上の知見

1) アミロース含量

著者等¹⁾の試験によれば、アミロース含量を推定する簡便法としてのブルーバリュウ (BV) の変異は、千粒重よりも小さかったが、かなり高い遺伝力を示し、品種間差も明らかであった。

表1 諸形質の変異係数と遺伝力(佐々木ら, 1977)

形 質		変 異 係 数 (%)		遺 伝 力		
		'74年	'75年	h ²	r	
出 穂 期	月 日	8.9	8.8	93	93	
穂 揃 日 数		20.1	24.3	47	47	
稈 長	cm	9.5	11.0	81	83	
穂 長	cm	8.4	7.5	79	79	
穂 数	本/株	18.1	13.7	59	62	
稈 重	kg/a	11.7	9.9	40	41	
玄 米 重	kg/a	13.1	10.8	58	62	
1 穂 粒 重	g	15.4	11.1	47	77	
モミ/ワラ	%	9.0	12.3	75	76	
1 ℓ 重	g/ℓ	0.8	0.7	42	42	
千 粒 重	g	4.8	5.9	87	88	
検 査 等 級		18.5	14.4	50	55	
玄 米 灰 分	%	6.8	4.8	72	74	
白 米 蛋 白	%	10.1	6.9	41	42	
アミログラム	最高粘度 (MV)	B. U.	6.0	5.2	55	56
	ブレークダウン (BD)	B. U.	15.0	11.6	35	36
テクスチュログラム	H (硬 さ)	%	4.9	4.7	63	63
	H-1 (粘 り)	%	9.1	6.9	45	45
	H/H-1	%	12.2	9.1	57	55
ブルーバリュウ (BV)	×10 ³	3.3	2.9	57	57	

h² = σ_G² / (σ² + σ_G²), σ_G² : 品種と年次の交互作用分散
 σ_G² : 品種の遺伝分散, γ = W'74 · '75 / V'74 · V'75

出穂期との遺伝相関は強く早生ほど低アミロースの傾向にある。また千粒重とも密接な関係で大粒ほど高アミロースの傾向にある。

耐冷性との関係については興味深い結果を得ている。“ささほなみ×農林20号”（以下㊟）と“ササニシキ×ささほなみ”（以下㊤）の雑種後代を用いた試験によれば、2カ年の結果とも㊤において耐冷性の弱いものに低アミロースのものが多くという傾向がみられた。㊟においては、このような傾向はみられない。府県の品種系統を使う時の大きな問題点であろう。

表2 ササニシキ×ささほなみの後代系統 (F₇, F₈) における耐冷性と食味特性の関係 (2カ年の平均値による)

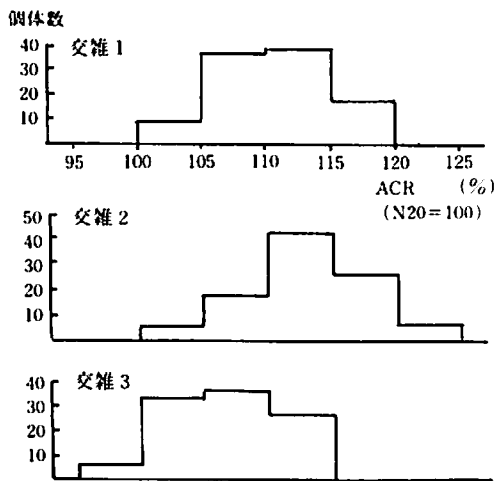
耐冷性評価	中 ~ 3.8																			
	3.0~3.7				4			4					4							
	2.2~2.9			3	9			1	7	4			1	5	5	1				
	1.4~2.1			2	14	4		1	4	15				5	12	3				
	劣 0~1.3				11	2	1		1	6	5	2				12	2			
		92	95	98	101	104		8.6	9.1	9.6	10.1		341	371	401					
		94	97	100	103		8.5	9.0	9.5	10.0		340	370	400	430					
		アミロース含量比 %					白米蛋白質含量%					アミログラムのMV B.U.								

注. 数字は系統数を示す。

稈質については、㊟、㊤の材料を用いて、倒伏指数やcLrとの関係をみたが、はっきりした傾向は認められなかった。

1978年8月、当部にアミロース専用オートアナライザーが導入されたので、育成中の材料について分析し、次のような結果を得た¹⁵⁾。

- ① 栽培条件（苗質、施肥）が異なることによりアミロース含量はかわるが、栽培法と品種の交互作用は認められず、1つの栽培条件で十分品種間差をみだすことができる。
- ② 交雑5集団について各々100個体分析した結果、集団間に明らかな有意差がみられた。しかし低アミロースである府県の系統を片親とした後代からは、期待した低アミロース個体は得られなかった。



- ③ 環境変異がかなり大きく、1個体ではかなりの差がないと統計的には有意とはならなかった。
- ④ F₄個体—F₅系統, F₄系統—F₅派生系統, F₅系統—F₆派生系統の関係について親子相関をみた。いずれも0.1%水準で有意であったが、F₄またはF₅世代における系統選抜の一層有効なことがわかった。

②に記したように府県の低アミロースとされる品種系統の後代からは、17~20%のものは、でてこなかったが、農技研遺伝3研で開発した「農林8号」からの低アミロース突然変異体 (No. ES58) との交

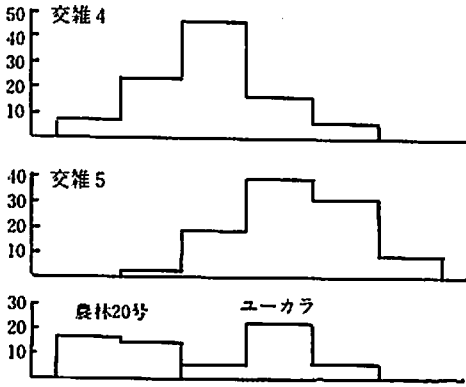


図1 雑種集団におけるアミロース含量比(ACR)の頻度分布(付々木ら, 1980)

- 交雑1 F₄ ユーカラ/空育100号
- 交雑2 F₄ 空系48054/コシヒカリ // 空育102号育
- 交雑3 F₄ 空系48054/コシヒカリ // キタヒカリ
- 交雑4 F₄ 空系48054/コシヒカリ // 空育99号
- 交雑5 F₆ 北陸100号/空育103号

雑後代からは17~18%程度の系統が得られている。当部で開発した、「しおかり」からの突然変異体(Ⓒ20117)との後代においても、低アミロースの系統を得た。

これらの系統は、いろいろな問題点を持っており、北海道においてどの程度のアミロース含量の時、他形質とのバランスをくずさず、食味能力が最大になるかが1つの問題点となってくるだろう。

表3 外見品質とACR
N8, No. ES58/イシカリ(F₄)

品質	良↑	7				1	7	1
		6			1	14	17	2
		5		1	1	10	16	
		4		2	5	11	17	1
		3			4	7	10	3
		2	2	1	2	7	12	3
	不良↓	1	8	1		1	3	
		~80	81~85	86~90	91~95	96~100	101~105	106~

注. 数字は系統数を示す。 ACR

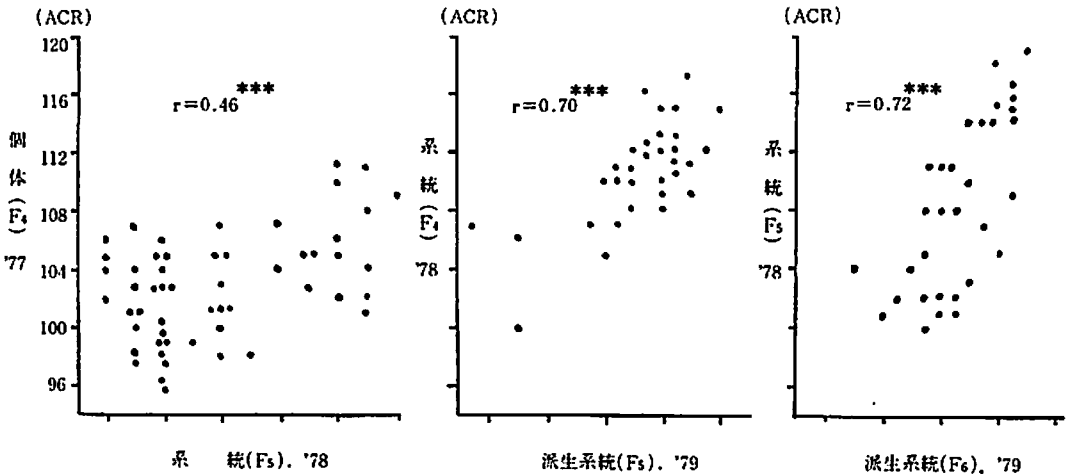


図2 アミロース含量比(ACR)の親子相関
(佐々木ら, 1980)

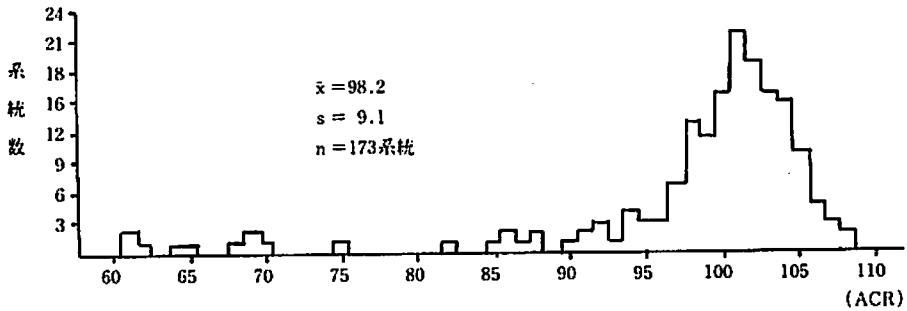


図3 N8, No.ES58×イシカリの後代系統(F₄)におけるアミロース含量比(ACR)の頻度分布
(1980年、早生固定系統)

2) 蛋白質含量

蛋白と食味との関係は、栽培サイドから施肥との関係で論じられてきた。それによると蛋白質の増加はでん粉粒の周辺に貯蔵蛋白質層を形成し、でん粉粒の炊飯時における特性をさらに劣悪化しているという¹²⁾。また山下ら¹⁶⁾によれば、蛋白質が9%以上の場合に、食味の劣化が問題になるだろうとしている。

すなわち食味改善の立場からは低蛋白の方向へ選抜していかなければならない。ただし高蛋白グループに属する「農林20号」は、「巴まさり」と並んで、北海道を代表する良食味品種であった。このことは、蛋白の量だけでなく、質的な面も考慮しなければいけないということを示唆しているのではないだろうか。

現在育成中であるが「農林20号」の低蛋白化をねらった後代系統について高蛋白群と低蛋白群に分けて比較すると(アミロース含量は同じ)明らかに低蛋白群のアミログラム特性は向上している。「農林20号」の食味を更にあげることができるのではないだろうか。

表4 巴まさり×農林20号¹⁾のB₃F₂系統におけるアミログラム特性の差異('80)

	系統数	主 稈 出穂期	A C R	Pro.	M V	差	B D	差
低蛋白群	13	7月29.5日	97	10.1	492	23	195	16
高蛋白群	18	28.4	96	11.3	469		179	
高アミロース群	7	28.9	101	10.7	484	44	176	56
低アミロース群	8	27.6	92	10.8	528		216	
比	—	8月2日	97	10.2	440		154	
較	—	13	101	9.3	383		120	

著者等¹⁴⁾の試験によれば、白米蛋白含量の変異は出穂期または穂長程度でアミロース含量に比べるとかなり大きい。また品種間差も有意であるが遺伝力はアミロース含量よりも低く、1ℓ重程度である。

実用形質との関係では、早生ほど高蛋白の傾向にあり、さきのアミロースにとって早生化は食味の面で有利であったが、逆の傾向となった。ただ多収—低蛋白の関係があるので、早生で多収をねらっていくことによりバランスがとれるのではないかと考えられる。現実の問題として早

生・多収を結びつけることは非常に難しい。

千粒重との関係は高蛋白—小粒の傾向にあり、食味的にみると、アミロースとは逆の関係にあり、中粒程度にとどめるべきであろう。

㊦、㊧の集団でみると、短稈—高蛋白の傾向であった。弱いながらも長稈—高アミロースの傾向があるので、稈長も中庸とすべきであろう。

耐冷性との関係では、㊧の集団でのみ、低蛋白—耐冷性強という好ましい傾向にある。ただし㊦のような集団で、耐冷性がやや強以上の系統の確率は供試系統の1%未満であろう。このような集団においては、まず、道内に定着できるような形質をもつ系統を揃えることが先決となる。

3) アミログラム特性

農林省食糧研究所（現農水省食品総合研究所）で開発した6要素による食味評価法において、アミログラム特性の糊化温度とブレイクダウンの値が使われている²⁾。

道産米と府県産米の比較では、明らかに最高粘度(MV)は低くブレイクダウン(BD)は小さい⁴⁾。

糊化温度は、米でん粉のアミログラムでは読みとりやすいが、米粉の場合、徐々に上昇するため読みとりにくいことと再現性が低いため使用しなかった。

道内種の変異は、MVはBDよりはるかに小さくまた蛋白含量よりも小さく千粒重より若干大きい程度である。しかしMVの遺伝力は蛋白より高く検査等級、収量並であった。BDの遺伝力は蛋白より低く調査した食味特性のなかでは1番低い値であった。

実用形質との関係では、両方とも出穂期との遺伝相関が強く、早生になるほどアミログラム特

表5 実用形質と食味形質の遺伝相関および遺伝偏相関(佐々木ら, 1977)

変数 1	変数 2	r _{G1,2}	変数 3 および r _{G12,3}						
			出穂期	稈重	収量	千粒重	灰分	蛋白	
稈重	BV	.50	.29						
収量	"	.29	.07	.14			.16	-.04	.15
千粒重	"	.74	.66	.63	.72				
灰分	"	-.37	-.16	-.02	-.24	-.21			
蛋白	"	-.26	.17	-.07	.06	-.05		.20	
稈重	MV	-.34	.02						
千粒重	"	-.46	-.31						
千粒重	BD	-.52	-.47						
蛋白	"	-.28	-.76			-.54			
稈重	H	.48	.42			-.20			
千粒重	"	.90	.91	.87					
収量	H-1	.25	.13					.03	
灰分	"	-.28	-.16						
蛋白	"	-.43	-.35						
千粒重	H/H-1	.42		.28					
蛋白	"	.27		.97		.46			
もみ/わら	"	-.45		-.35					

性が良好になる傾向にある。

千粒重とは関係が密接であり、小粒ほどアミログラム特性が良くなる傾向にあった。

㊦、㊧の試験によれば、1976年のような出穂遅延年では、両者とも早生一高アミログラムの傾向であったが、1977、1978年といった比較的登熟条件が良かったような年は、そのような傾向は認められなかった。

耐冷性との関係では、㊧でのみ2ヵ年共、耐冷性が強いほどアミログラム特性としては悪くなるといった、アミロース含量との関係と同様の傾向が認められた。

4) テクスチュログラム特性

炊飯した米飯の硬さや粘りを直接測定した値で、官能試験の物理的な調査項目とは、非常に相関が高い¹³⁾。さきの食味評価6要素の平行板プラストメーターによる粘性、弾性にとってかわり得るといわれている。

今のところ測定に数反復を要し、1日に数点しかできないので、多数の材料を扱えないのが難点である。

硬さ(H)と粘り(H₋₁)の比をとったH/H₋₁の道内種における変異や遺伝力は玄米収量程度であった。それは千粒重との遺伝相関が高く、小粒ほどH/H₋₁は小さな値、つまり食味的には良くなる傾向にあった。

5) 食味形質相互の関係

今までは、個々の形質をとりあげ論じてきたが、食味形質は相互に密接な関係がある。

表6によればH₋₁とMVおよびH₋₁とBVの間で表現型的にも遺伝的にも関係が弱かったがそれ以外は相互に関連しあっている。

表6 食味特性値間の表現型相関(γ_P)と遺伝相関(γ_G)(佐々木ら, 1977)

γ_G	γ_P	アミログラム		テクスチュログラム			BV
		MV	BD	H	H ₋₁	H/H ₋₁	
MV			49 ^{***}	-5	10	12	-1
BD		78		-31 ^{**}	7	-21	-26 [*]
H		35	-48		-10	57 ^{***}	42 ^{***}
H ₋₁		15	49	-34		-86 ^{***}	1
H/H ₋₁		-28	-59	74	-88		19
BV		-73	-83	59	-4	33	

今までも述べてきたように食味形質は実用形質とも関係があるが、それらと独立に、MVとアミロース含量、BDとH₋₁とは密接な関係を示した。

米飯の光沢(ツヤ)は倉沢⁹⁾の指適および藤巻、榊湖¹⁾や松永等¹⁰⁾が行なったように食味特性とは密接な関係が認められた。道内種を使った1年だけの成績であるが、蛋白と負の、H₋₁と正の関係が認められた。つまり光沢の良いものほど、蛋白が低く粘る傾向にあった。

㊦、㊧の集団においても、1976年のみの結果であったが、同様の傾向であった。

アミロースと蛋白の関係は遺伝相関は比較的高かったが表現型的には認められなかった。しかし㊦、㊧の集団では3ヵ年とも低アミロース—高蛋白の関係にあった。

「農林20号」の低蛋白化をはかる試験においても、低蛋白系統は高アミロースになりがちであ

る。

選抜にとって望ましい関係にあるのは、アミログラム特性とアミロース含量との関係で、後者と蛋白含量とは不利な関係にある。

米飯のツヤや H_L は、蛋白含量とは望ましい関係にある。

2. 新たに想定した品質選抜の手順

以上のような今まで得られなかった食味特性の知見や、新たに導入された分析機器の処理能力等を考慮し、われわれ¹⁴⁾が以前に想定した実行可能な品質選抜の手順の手直しを行なってみた。

1) 交配

試験年次の少ない交配親の食味特性は年次を揃えた形で比較しておきたい。例えば、空育 A 号と空育 B 号とを親に使いたい場合、年次の異なった過去のデータはあるにせよ、直接比較していずれが上位かみておく必要がある。できるだけ詳細な分析が望ましいが、最低、アミロース含量、蛋白含量、アミログラム特性については十分把握しておく。

2) 集団養成（世代促進）

$F_1 \sim F_4$ または F_5 程度までは、食味特性に関する選抜は行わない。

但し、当部で1981年より行なっている方法であるが、穂別系統試験に圃場面積等の制約で全穂供試できない場合、1穂単位に半分の梗を使って玄米の腹白程度で選抜したものを供試している。まだ1年のみの結果だけであるがかなり有効であり、圃場には、品質的にレベルアップされた集団が供試されることになる。

3) 個体選抜試験

供試集団の世代は F_4 が主体をなす。

アミロース含量に関する知見では、個体の環境変異が意外と大きく積極的な選抜は無理と思われる。蛋白に関しても同様に考える。余裕があるなら、外見品質で選抜された個体（次年度系統選抜）について、アミロース、蛋白のデータをとっておくのが望ましい。ただし、突然変異をねらったものとか、両親の特性から集団にかなりの変異が予想される場合、有効な方法である。

玄米の外見についてはこの試験以降行われる。外見品質に関しては、個人差は大きくないが、どのようなウェイトづけ、あるいは方向へ選抜するかで集団がかたよる恐れがある。

道産米は府県産米と比較して1番目につくのは玄米の色の濃いことである。「キタヒカリ」や「ユ一カラ」等の良質のものでもこのために見劣りがする。

現在、腹白や心白の程度、粒形といった形質は殆んど府県産米に見劣りしないまでに、向上してきている。今後更に玄米の色の淡い品種、あるいは光沢、透明感のある品種の育成が急務となろう。

玄米の大きさについては、大粒にするほど蛋白は低下するものの高アミロース、低アミログラムの傾向にあり食味特性はおちる。しかし小粒にすぎると消流面の評価を低めるばかりでなく、減収要因となりかねないので中粒にとどめる。

4) 系統選抜試験

集団からいきなり系統に展開した穂別系統と、個体選抜試験を経た系統とがある。

系統になると、数個体のサンプルをもとにした分析ができるのでデータの信頼性が高まる。アミロースの遺伝力は比較的高く、この世代の親子相関も高いので、外見品質を考慮しながらかなりきつい選抜を行なう。

次年度の種子も必要となるので、アミログラムを測定するまでのサンプルはとれない。それに

代りうる少量でも熱糊化性を測定できるフォトペーストグラフの利用をはかりつつある。

アミロース含量に蛋白含量を加味して選抜すべきと思うが、そこまど手が回らない場合でも、選抜した系統の蛋白はおさえておく。

府県品種との交雑後代は殆んど耐冷性がついてこない。通常の方法で生産力検定予備試験にあけていってもおとされるだけである。この段階までに工夫が必要となる。

さきにも述べたように、このような組合せにおいては耐冷性の弱いものに低アミロース、高アミログラムの傾向があるので、道内に定着できうるほどの耐冷性をもたせながら、更に良食味をくつつけるためにはどのような手段が必要か今後の大きな課題である。

5) 生産力検定予備試験

この段階では、収量のほか、耐冷性、耐病性等の特性が検定される。理化学性としてはアミロース含量、蛋白含量はもちろんのことアミログラム特性が測定される。

最終的に10%程度の系統が選抜されるが、前年のアミロース含量が20%をきるような系統は、他の特性いかんにかかわらず、アミログラム等の特性も検定する必要がある。

諸特性がすべて希望以上という系統は、まずない。どのような基準で生本へあがるかが1番のキーポイントである。現在最優先しているのが外見品質である「キタヒカリ」、「ともゆたか」クラスを下回るものは、他によほど、すぐれた特性をもたなければ、まず生本へは進めないほど、きびしくなっている。

次に食味特性と耐冷性が同じウェイトで続きその次に耐病性、稈質が続く。

6) 生産力検定本試験

この段階に入ると選抜というよりは、特性の確認が主となり、反復をとってより精度を高める。食味特性においても標肥区、多肥区、あるいは晩植区のサンプルを測定することにより反復とし系統評価を間違いないようにする。

有望系統がしばられるとそれらのテクスチュログラムを測定したり、官能試験の結果で新配付系統が決定される。

以上、縦の関係で手順の流れを示したが、これもいずれ手直しされるのは時間の問題であろう。

オートアナライザーやインフラライザーの導入により分析点数は飛躍的に増大し、それに比例してサンプルを作るための労力も増大したが、選抜の効果は徐々にではあるがあらわれつつある。

「巴まさり」や「農林20号」を上回るであろう「しまひかり」の育成は今後の良食味品種育成の足掛りになる。更に向上するための戦略は何か…。それは、これからの無駄と思われる試行錯誤のなかから生まれてくるのではないだろうか。

引用文献

- 1) 竹生新治郎, 遠藤勲, 谷達雄。"米の炊飯嗜好性に関する研究, (第3報), 北海道産米の特性について", 食研報, 25,77-81 (1970)。
- 2) 竹生新治郎, "米の食味改善に関する研究"。"米の食味評価法に関する研究"。農林水産技術会議事務局編, 1974。p.92-103, (研究成果77)。
- 3) 檜作進, 伊藤恵子, 前田巖, 二國二郎。"でんぶん糊の老化の温度依存性"。澱粉科学, 19, 70 (1972)。
- 4) 藤巻宏, 節瀨欽也。"炊飯米の光沢による食味選抜の可能性"。農及園, 50, 253-257(1975)。
- 5) 稲津脩, 渡辺公吉, 前田巖, 伊藤恵子, 長内俊一。"北海道産米の品質改善に関する研究, 第1報, 米澱粉アミロース含有率の差異"。澱粉科学, 21, 115-119 (1974)。
- 6) 稲津脩。"北海道産米の品質改善に関する研究"。澱粉科学, 26(3), 191-197, (1979)。

- 7) 小山八十八, 渡辺公吉, 稲津脩, 今野一男, “北海道産米に対する米質検定方法の適用について”, 北農, 38(5), 10-41 (1971).
- 8) 倉沢文夫, “コメの味, (1)コメの味と精白米の理化学的研究”, 遺伝, 22(8), 73-78 (1969).
- 9) 倉沢文夫, “同上, (2)コメの味と精白米の構成成分”, 遺伝, 23(9), 42-47 (1970)
- 10) 松永和久, 佐々木武彦, 鈴木啓司, “水稻品種の品質食味改善に関する育種的研究II 米の食味簡易検定法—炊飯米の光沢と粘りの関係について”, 日作東北支部会報, 17, 18~19 (1975).
- 11) 南松雄, 土居晃郎, “北海道産米の品質に関する物理化学的研究, 第1報, 米の食味特性値と栽培環境要因との関係”, 北海道立農試集報, 24, 43-55 (1971).
- 12) 南松雄, 土居晃郎, “同上, 第2報, 米の食味特性と蛋白質含量との関係”, 北海道立農試集報, 26, 49-58 (1973).
- 13) 佐々木忠雄, 前田博, 江部康成, 長内俊一, “米の食味と Texturometer の特性値”, 日育日作北海道談話会会報, 14, 13 (1974).
- 14) 佐々木忠雄, 長内俊一, 稲津脩, 江部康成, “北海道水稻品種の理化学的食味形質についての育種的一考察”, 北海道立農試集報, 37, 1-10 (1977).
- 15) 佐々木忠雄, 新井利直, 稲津脩, “水稻品種系統ならびに雑種集団におけるアミロース含有率の変異と選抜上の知見”, 北海道立農試集報, 44, 72-78 (1980).
- 16) 山下鏡一, 藤本堯夫, “肥料と品質に関する研究, 2, 窒素肥料が米の食味, 炊飯特性, テンプンの理化学的性質等に及ぼす影響”, 東北農試報告, 48, 65-79 (1974).

III-3-2 水稻品種「しおかり」より誘発された 低アミロース突然変異体の育種の利用

菊 地 治 己*

米の食味はでんぷん中のアミロース含量と密接な関連があり, 一般に低アミロースのものほど炊飯米の粘りが強くおいしいとされている^{8,9,10,13)}。

北海道品種のアミロース含量は20.5~24.3%で, 平均して3%前後府県品種より高く(稲津ら1974)²⁰⁾, 低アミロース化に重点を置いた品種育成の重要性が指適されている(佐々木ら, 1977)¹⁷⁾。アミロース含量は比較的少数の主働遺伝子に支配されているものと思われる(Somrith et al. 1979)²⁰⁾, また, これに対する変更遺伝子の関与も知られているが(Bolich and Webb, 1973)³⁾, アミロース含量は登熟温度や栽培条件による影響を強く受けるので²⁾, 北海道品種の高いアミロース含量の遺伝的な実態については不明の点が多い。いずれにしても, オートアナライザーの導入によって, アミロース含量の測定が容易となったので, 現在, 道内の各育成地ではアミロース含量による選抜が実際に行なわれている(佐々木ら, 1980)¹⁸⁾。

一方, 最近, EMS (エチルメタンサルフォネイト), MNU (メチルニトロソウレア) などの化学薬品を変異源として, イネでもトウモロコシの sugary や shrunken などに相当する胚乳突然変

*北海道立中央農業試験場稲作部,
069-03 岩見沢市上幌向町

異が得られており (Sato and Omura 1981)¹⁰⁾, アミロース含量を低下せしめる突然変異もいくつか誘発されている (Okuno 1976¹⁴⁾, 天津, 1977¹¹⁾, Sato and Omura, 1981¹⁰⁾, 菊地ら, 1981¹¹⁾). このような突然変異は, 強力な低アミロース遺伝子源として期待されている。ここでは, 水稻品種「しおかり」より誘発した低アミロース突然変異を中心に, 良食味育種における変異体の利用とその問題点について述べる。

1. 低アミロース変異体 (Ⓒ20117) の誘発

これまでイネではモチ性及び低アミロース突然変異は, γ 線, EMS, EI, MNU などによって誘発されているが, 我々は品種「しおかり」の γ 線照射後代 (M_2 正常種子) を EMS 処理 (0.5%, 30°C, 6h) して得られた M_2 集団を用いた。成熟期に外見が比較的正常的な1,000個体を選抜し, 個体毎に脱殻, 搦摺, 精白および粉碎して得られた米粉のアミロース含量をオートアナライザーで定量した。なおアミロース含量は標準品種の定量値に対する100分比 (ACR, Amylose Content Ratio) として表示した。

図1に調査563個体の測定結果を示す。大部分の個体は ACR100%を中心に90~110%の間に正規分布した。原品種の個体間変異の大きさから見て, これらの変異のほとんどは, 環境変異と思われるが, 90%未満のものが4個体生じた。うち3個体は胚乳が乳白色で, いわゆる dull 様突然変異 (Sato and Omura, 1981)¹⁰⁾と思われたが, 残る1個体は, ACRが80%で, 玄米外見は通常のウルチと大差なかった。これが今回報告する変異体で, サンプルNoにちなみ系統名をⒸ20117とした。

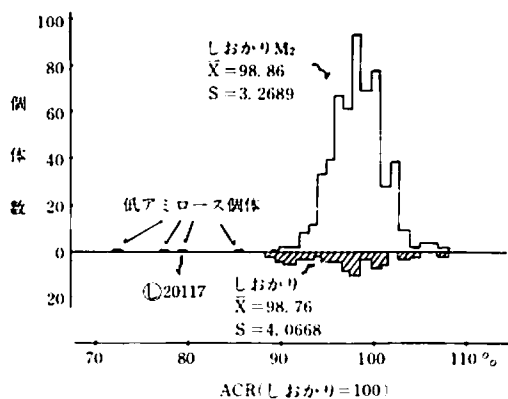


図1 EMS処理 M_2 集団におけるACRの変異

高アミロース方向への極単な変異を示す個体はなかったが, ACRが110%前後のものからは, いくつかの固定系統が得られた。トウモロコシでは *ae* 遺伝子 (amylose extender) のようにアミロース含量を約60%まで高める遺伝子や, 同じく40%まで高める *du* 遺伝子 (dull) があるが, イネではまだ知られていないので, 今後も探索の必要がある。

今回,モチ性は誘発されなかったが, 乳白など, 米質に関連した変異体が多数得られた (表1)。中でも乳白, 心白, 大粒などの出現率が高かった。大粒の中には千粒重が28gのものがあり, 収量構成要素に対する影響が調べ

られている (菊地, 木下, 1981)¹²⁾。また千粒重が17g程度の小粒突然変異も得られた。これらを用いることにより, 粒大と収量性, 品質, 成分などの関係が, isogenic な遺伝背景の中で解析可能となる。

2. 変異体 (Ⓒ20117) の成分と遺伝

表2に M_2 以降の ACR, アミログラム (M, V) および白米蛋白質含量を示す。これによると変異体の ACRは原品種の約80%に低下していた。稲津 (1979)⁹⁾の方法による抽出でんぷんの Blue value も同様の傾向にあった。

蛋白質含量は, 玄米, 白米とも原品種より1%ほど高かった。後述するように変異体では早生, 短稈, 小粒化していたので, 高蛋白質化は早生, 小粒化によるものかも知れない。なお変異体の白

表1 EMS M₂代における変異体の種類と出現率(米質関連のみ)

変異の種類		個体数*	出現率(%)
粒形	大粒	6	0.56
	長粒	2	0.19
	山粒	5	0.47
胚乳	乳白	12	1.13
	心白	7	0.66
	腹白	4	0.38
	扁平乳白	3	0.28
	低アミロース*	4	0.71
計		43	0.44

* 総観察個体数=1065, ただしアミロース含量のみ563, 低アミロース4個体のうち3個体は乳白。

米蛋白質のアミノ酸組成は原品種と差がなかった。

アミログラムの最高粘度は年次による変動が大きく1979年は原品種より50単位ほど高かったが、1980, 1981の両年は原品種より低かった。アミロース含量の低下に見合うアミログラム特性値の向上が認められないのは、蛋白含量の増加によるものかも知れない。現在、変異体の後代より蛋白含量とアミロース含量の種々の組合せをもつ系統を育成中である。

図2と図3に変異体×北海241号(交雑A)と変異体×空育110号*(交雑B, *1981年より「みちこがね」)のF₂集団におけるACRの変異を示した。交雑Aでは両親の中間型が多く、また交雑Bでは高アミロース親型の分離が多かった。何れの交雑組合せでもACRの変異は連続的であり、ACRによってF₂個体を明確に群別することができなかった。

表2 低アミロース変異体(◎20117)の食味関連形質

調査年次	形質 Blue value (@10mm)	ACR (%)			アミログラム最高粘度(B.U.)			白米粗タンパク含量(%)*		
		'79	'79	'80	'81	'79	'80	'81	'79	'80
◎ 20117	279×10 ³	76	83	85	423	290	443	9.3	10.7	10.9
しおかり	334 "	106	101	105	380	310	457	8.4	10.0	9.5
農林20号	325 "	100	100	100	410	353	485	8.2	9.8	19.8

* インフラライザーによる測定値

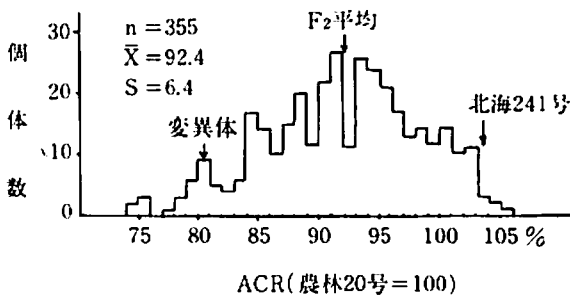


図2 交雑A ◎20117×北海241号(F₂)におけるACRの変異

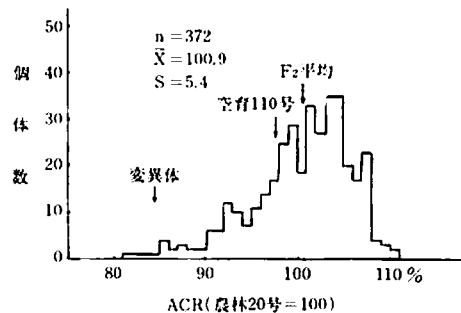


図3 交雑B ◎20117×空育110号(F₂)におけるACRの変異

これは本突然変異の場合、低アミロース化の程度が比較的小さい(アミロース含有率で3~4%)なので、他の遺伝子の影響や環境変動を受けやすいためと思われた。また、胚乳形質のうち特にでんぷん組成はキセニア現象が見られることから、こうしたことも変異の連続性をもたらしたと考えられる。予備的に行なった実験によると、変異体のF₁植物体に捻ったF₂種子の胚乳のACRは、粒間で顕著に異なり、その変異巾は両親のそれを含むものであり、キセニアの存在が示唆された。

なお、これまで得られた他の低アミロース突然変異は、3:1のF₂分離に適合する単純劣性遺伝子の関与するものが多く¹⁶⁾、農技研で「農林8号」より誘発された低アミロース突然変異や、九州大学で誘発された dull 突然変異は wx 座（第1連鎖群）とは独立で、dull に関しては少なくとも3つの遺伝子座が存在するという（大村、佐藤、1981¹⁵⁾。◎20117の場合も交雑Aのパタンは、1つの劣性、若しくは不完全優性遺伝子の関与を示唆するものと考えられるが、この点に関しては現在検討中である。

3. 変異体の交雑後代における ACR と他形質の関係

表3に変異体の成分以外の諸形質を示した。これによると変異体では原品種に比べ、明らかに早生、短稈、小粒化しており、くびれ米の発生が多く、このため玄米品位は原品種に比べ劣った。これらの同時変異は早生化を除きいずれも好ましくない。

そこで先の F₂集団を用いて、ACR と他の形質との関係を見た（表4）。交雑Aでは、穂長、穂数以外のすべての形質と ACR との間に有意な相関係数が得られ、また交雑Bでも出穂日、穂長、穂数以外の形質が有意となり、交雑Aと同様の傾向を示した。即ち、いずれの交雑でも、ACR が低いほど、短稈で、千粒重が小さく、くびれ米の発生が多く、品質が悪い傾向にあった。ただし、相関係数の絶対値は小さく、低 ACR でも長稈や大粒のものが分離しており、仮にこれらの好ましくない同時変異が、本変異体に関与する突然変異遺伝子の多面発現としても、その作用はそ

表3 低アミロース変異体(◎20117)の農業形質('80 M₁ 系統)

品 種	出穂期 (主稈)	成 熟 期			玄 米				品 質
		稈 長	穂 長	穂 数	千粒重	粒 形	品 位	くびれ米歩合	
◎20117	7月27日	51cm	14.3cm	20.6本/株	19.6g	5.09mm	2.99mm	1.70	中中
しおかり	8月4日	61	16.0	17.5	20.6	5.11	3.16	1.62	上下下

表4 F₂集団におけるACRと他形質の相関係数

交 配 組 合 せ	出穂日	成 熟 期			玄 米				個体数	試 験 年 次
		稈 長	穂 長	穂 数	千粒重	粒 形	品 位	くびれ米歩合		
◎20117×北海241号	-	0.180*	0.023	0.031	0.365**	0.118*	0.156**	-0.323**	355	1980
〃 ×空育110号	0.087	0.343**	0.164*	0.124	0.323**	0.128	0.358**	-0.455**	230	1981

う強いものではないと思われた。

また、ACR とくびれ米歩合の間に見られた負の相関関係は、「農林8号」から誘発された変異体の後代においても認められ（図4）、新たにアミロース含量とくびれ米の発生の関係が示され、穎と子房の発育的アンバランスによってくびれ米が発生するという考え（武田、高橋、1972²¹⁾との関連性が注目された。

4. ◎20117以外の変異体の利用と今後の問題点

現在、我々が保有する低アミロース変異体としては◎20117以外に、前述した「農林8号」からの低アミロース変異体（稲作部保存 No. ES58、農技研の奥野博士より分譲を受けた）、及び「ニホンマサリ」からγ線によって誘発された NM391（放育場で誘発後、古川農試を経て分譲を受けた）などがある。稲作部では1978年より、こうした変異体を母本として低アミロース育種を行って来たが、ES58の後代は1982年現在 F₆世代であり一部は生産力検定試験に供試されている。これらの

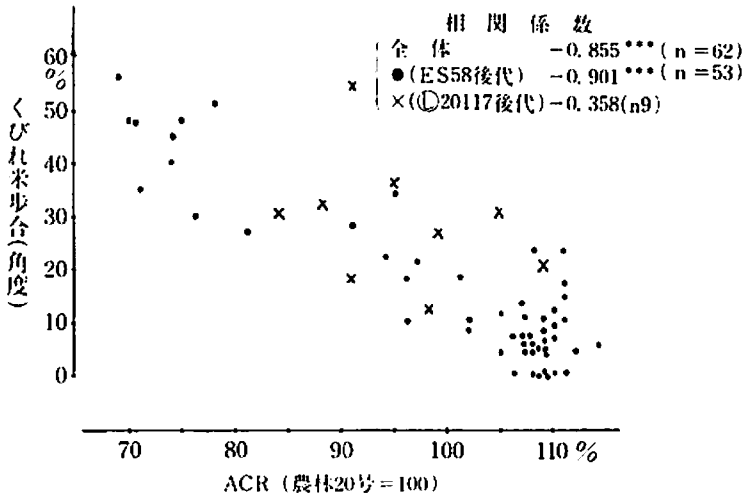


図4 系統選抜系統(ほ場)におけるACRとくびれ米の関係

中にはACRが80%以下のものが多数あるが、前述したように何れもくびれ米の発生が多く(図4)、また登熟性に劣るので、1981年には、これら育成系統の特性強化を目標とした交配を行なった。

NM391は1981年に交配に供試されたばかりであるので、諸特性については不明な点が多いが、玄米の外見は乳白状で、モチとウルチの中間であり通常の糯と同様つくともチ状になるという。

でんぷん合成に関与する酵素や、でんぷんの分子構造を研究する上で、こうした変異体は好適な材料と思われる、今後新たな変異体の誘発をはかるとともに、既存の変異体もふくめ関与遺伝子を明らかにすることが重要と思われる。

近年、低アミロース遺伝子源として、変異体とともに外国稲の利用も高まり、総組合せ中に占める両者の割合はそれぞれ10%前後に達しておこなお増加傾向にある(表5)。成分育種においては特に成分の質や量が顕著に異なる変異体や近縁種の利用の有効性が指摘されているので(後藤, 1975)²⁾、今後もこうした特殊な材料に関する研究をすすめる必要がある。

表5 事業育種における交配内容の変遷(中央農試稲作部)

交配組合せの内容	交 配 組 合 せ 数 (%)				
	'77	'78	'79	'80	'81
一方の親が府県品種	5(10)	0	6(8)	29(38)	44(40)
" 外国稲	0	0	2(3)	6(8)	10(9)
" mutant	1(2)	2(4)	3(5)	4(5)	12(11)
両親とも道内品種	44(88)	48(96)	47(81)	37(49)	44(40)
合 計	50(100)	50(100)	58(100)	76(100)	110(100)

引用文献

- 1) 天野悦夫, "イネのEMS誘発モチ変異体の形質表現". 育種, 28 (別2), 4~5 (1977).
- 2) 新井利直, 佐々木忠雄, 稲津脩, 菊地治己.
"水稲における低アミロース品種の探索. 第1報. 道内種および北陸, 古川両農試の最近の系統について" 日育・日作北海道談話会報, 20, 23. (1980).
- 3) Bolish, C.N.; Webb, B.D. "Inheritance of amylose in two hybrid populations of rice". Cereal Chemistry, 50, 620-636 (1973).
- 4) Chang, T.T.; Somrith, B. "Genetic studies on the grain quality of rice". Chemical aspects of grain quality workshop. IRRI. 1978.
- 5) Dwivedi, J.V.; Nanda, J.S. "Inheritance of amylose content in three crosses of rice". Indian J. Agric. Sci. 49, 735 (1979).
- 6) Hajra, N. G.; Bairagi, P.; Dasgupta, P. "Rice improvement by means of induced mutations". SABRAO J.12, 125-138(1980).
- 7) 後藤寛治, "成分育種と収量性". 育種学最近の進歩, 15, 40-50. (1975).
- 8) 稲津脩, 渡辺公吉, 前田巖, 伊藤恵子, 長内俊一. "北海道産米の品質改善に関する研究, 第1報, 米澱粉のアミロース含有率の差異". 澱粉科学, 21, 115-119. (1974).
- 9) 稲津脩
"北海道産米の品質改善に関する研究". 澱粉科学, 26, 191-197. (1979).
- 10) フリアーノ, B.O. "コメのデンプンの物理化学的性質とその生合成に関する研究". 澱粉工業学会誌, 18, 35-47. (1970).
- 11) 菊地治己, 佐々木忠雄, 新井利直, 稲津脩.
"水稲品種「しおかり」より誘発された低アミロース突然変異について". 育種, 31(別2), 190-191 (1981).
- 12) 菊地治己, 木下俊郎, "稲の粒大に関する変異体の特性". 日育, 日作北海道談話会報, 22, 24 (1982).
- 13) 倉沢文夫, "コメの味 (II), コメの味と精白米の構成成分". 遺伝, 23, 42~47 (1969).
- 14) Okuno, K. "A low amylose mutant of rice". Div. Genet. Natl. Inst. Agric. Sci. Ann. Rep. 1, 28-29 (1976).
- 15) 大村武, 佐藤光 "米の成分育種の可能性". 育種学最近の進歩, 22, 10-19 (1981).
- 16) 奥野員敏, 大村武編, "VII. 粒成分に関する研究". イネ遺伝子分析の現状, イネ遺伝子研究班, p.46-53 (1981).
- 17) 佐々木忠雄, 長内俊一, 稲津脩, 江部康成.
"北海道水稲品種の理化学的食味形質についての育種的一考察". 北海道立農試集報, 37, 1-10 (1977).
- 18) 佐々木忠雄, 新井利直, 稲津脩, "水稲品種系統ならびに雑種集団におけるアミロース含有率の変異と選抜上の知見". 北海道立農試集報, 44, 72-78 (1980).
- 19) Satoh, H.; Omura, T. "New endosperm mutations induced by chemical mutagens in rice, *Oryza sativa*, L.". Jpn. J. Breed. 31 (3), 316-326 (1981).
- 20) Somrith, B.; Chang, T.T.; Jackson, B.R. "Genetic analysis of traits related to grain characteristics and quality in two crosses of rice". IRRI (.1979 (Research paper series No.35)
- 21) 武田和義, 高橋萬右衛門, "イネの穎と子房の大きさの相対的關係, III. 分離集団で観察された遺伝的關係, (稲の交雑に関する研究, 第LI報)". 育種, 22, 67-74 (1972).

III-4 小麦における品質育種の知見

佐々木 宏*

緒 言

「良質小麦の早期開発試験」では、春播、秋播小麦について、それぞれ具体的に品質の育種目標が設定された。春播小麦については、これまで通り「パン適性の向上」、秋播小麦は、新たに「製めん適性の向上」を目指すことになった。現在、育種事業の推進と併行して、新しい分析器機を含めた品質検定の体系化が急務となっている。このため、小麦品質に関する育種的知見を概括的に整理し、新しく加わった「製めん適性」についての育種試験における選抜、検定方法について検討した。

小麦の品質については、その流通、加工の多様性からきわめて広い内容を含んでいる。

昭和43年に作成された「小麦品質検定方法」⁴⁶⁾では、①加工段階によって ②用途によって ③先天的品質と後天的品質に分けている。

①の加工段階による分類は、一次加工適性（製粉性）と二次加工適性（パン、めん等の製品加工）に分けられるが、一次加工適性は各用途に共通して求められる品質であり、二次加工適性は②の用途による分類と概略一致する。

したがってここでは、1.一次加工適性 2.用途別適性（(1) 春播小麦のパン適性、(2) 秋播小麦の製めん適性）に分類して稿を進めることにする。

1. 製粉適性

小麦の一次加工適性とは、要するに二次加工の原料である小麦粉をどの程度得られるかということにつきる。

一次加工適性の検定方法はテストミルを用いて実際に製粉試験を行うものと、製粉の結果と関連の深い項目を検定して、それによって製粉適性を推定する方法に2大別される。後者には、整粒歩合、容積重(g/l)、千粒重、胚乳歩合、硝子率などがある。いずれも粒の充実度に関係するが、整粒歩合では粒揃い、容積重では粒の比重と粒形、表面の滑らかさが影響する。

Yamazaki and Briggles⁴⁰⁾によれば、容積重の成分のうち、粒の密度は環境に関係し、粒のつまり方 (packing efficiency) に関与する粒形とくに粒の表面の性状は品種に関係するから、容積重の増加を目的とする選抜は、後者の形質を対象にすべきであるとしている。

容積重の品種と環境の交互作用は大きい^{15,19,40)}、遺伝力は収量より高い方に属する^{10,55)}。また、製粉性との相関も、 $0.33\sim 0.75^{15)}$ 、 $0.55^{*55)}$ 、 $0.72^{**61)}$ とかなり高く、製粉性の予備選抜の対象となり得ると考えられる⁴⁰⁾。

硝子率については、粒の硬さとの関係は無視できず、製粉性との関連で見れば、硬い粒、つまり硝子率の高い粒では、皮部の混入や粉の粒度の粗さからくる粉色への影響は、白い粉を要求される製めん適性にとって不利になる^{45,46)}。この遺伝性については、単性、重複、多数同義などの報告³⁰⁾もあるが、中川、渡辺⁴⁴⁾によれば、硝子率と粉質(粉状質)を支配する3個の対立遺伝子によって連続的に見える硝子率の変異をよく説明し得るとしている。

*北海道立北見農業試験場、099 14 常呂郡訓子府町

原粉灰分含量の多少は、粉の灰分への影響を考えれば少ない方がよい。小麦粒の灰分は皮部に5.5%、胚乳部に0.28~0.39%と含有率のレンジは狭く、生育土壌、降雨その他の気象条件に左右され易い⁴⁵⁾。このため、灰分の遺伝力は低く、選抜の対象とはなりにくい⁴⁶⁾。

製粉性；試験用製粉機は、ビューラーテストミル（1~4 kg）、ブラベンダーテストミル（50~200g）の2機種が一般的である。前者は、製粉性の検定と2次加工適性を見るための小麦粉試料の作成の2つの目的に利用できるが、後者は、少量の試料から小麦粉試料を得ることを主目的に使用される場合が多い。

我々は、硬質春播小麦の3交雑の後代系統を用いて、一次加工適性の選抜方法の検討を行った⁴¹⁾。ビューラーテストミルを用いた4ヵ年の結果から製粉性に関与する7形質の遺伝力を比較すると下記のようになり、容積重がやや低く推定された。

製粉歩留 > 灰分 > 千粒重 > 容積重 > 粉灰分 > 収量
 ミリングスコア > 移行率 > 原粒灰分

しかし、表2のように、容積重と製粉性との間には遺伝的にもかなり密接な関係が見られた。また表1、表2から言えることは、一つには、小麦粉の品位（低灰分が上位等級）を考える場合、灰分含量による選抜は、その遺伝力から見て困難であること、他の一つはそれにもかかわらず、製粉歩留のほかに粉の品位ないしは皮離れの良否を考慮したミリングスコアや灰分移行率の遺伝

表1 分散分析(h²)と親子回帰(b)による遺伝力(佐々木、長内、1974)

Characters	h ²				b		
	'64, '65	'65, '66	'66, '67	'64-'67	F ₈ , F ₉	F ₉ , F ₁₀	F ₁₀ , F ₁₁
Test weight	48	32	23	38	57	17	25
1,000 kernel weight	49	42	46	33	80	57	66
Flour yield	69	68	64	60	73	54	69
Milling score	60	61	54	62	90	46	86
Transferred ash	45	60	52	54	73	49	66
Grain ash	62	32	22	28	58	30	48
Flour ash	22	20	34	21	23	18	36
Crumb color of bread	61	31	56	41	56	22	39
Grain yield	-0.2	54	39	22	-0.2	59	40
Grain yield × Sedimentation value	47	76	82	62	51	60	99

表2 製粉性に関与する形質間の表現型および遺伝子型相関(佐々木、長内、1974)

r _g	r _p	Test weight	1,000 kernel weight	Flour yield	Milling score	Transferred ash	Grain ash	Flour ash	Crumb color
Test weight		0.61***	0.49***	0.72***	0.59***	-0.56***	-0.56***	-0.00	
1,000 kernel weight	-0.66		0.17	0.38***	0.30**	-0.48***	-0.51***	0.03	
Flour yield	0.62	-0.03		0.80***	0.78***	-0.12	0.01	-0.25*	
Milling score	0.60	-0.10	0.92		0.93***	-0.43***	-0.56***	-0.11	
Transferred ash	0.45	0.03	0.91	0.97		-0.15	-0.46***	-0.14	
Grain ash	-0.24	0.20	-0.20	-0.30	-0.04		0.54***	-0.04	
Flour ash	-0.35	0.25	-0.48	-0.83	-0.79	0.37		-0.19	
Crumb color	0.33	0.15	0.65	-0.10	-0.08	0.18	0.14		

*, **, *** Significant at the 5%, 1% and 0.1% level of probability, respectively.
 Phenotypic correlations above the diagonal and genotypic correlations below the diagonal.

力が高いために、製粉性に関する選抜は容易と考えられたことである。

製粉性の選抜効果について検討した結果、原粒性状の容積重、千粒重、原粒灰分では明らかに容積重の選抜効果が高い。実際の製粉によるミリングスコアの選抜効果が高いことは当然であるが、サンプル量と労力の関係から、ビューラーテストミルによる選抜は、育成段階の後期からの適用にならざるを得ない。

一次加工適性向上のため、初期世代からの選抜を行うとすれば、容積重またはこれと関連する粒の形状と表面の特性による製粉性の予備選抜や集団養成に比重選⁵⁷⁾を適用して容積重の高い個体の頻度を高める方法も有効であろう。またブラベンダーテストミルの製粉歩留についてもかなり高い遺伝力の報告¹⁰⁾もあり、Seeborg and Barmore (1957)⁶²⁾は5 g サンプルによる5連式のマイクロテストミルを雑種F₂代の製粉性の選抜に適用している。この度、ワシントン州立大学に依頼製作したマイクロミルは上記と同様に5 g以下のサンプルで一度に4点を1~2分で処理できるが、当然精度の高い製粉性の評価は無理で、逐の量と状態によって判定するものである。

このマイクロミルによる製粉と硬質結晶粒子(後述)の検鏡を組合わせて、一連の流れ作業として実施すれば、省力的に初期世代における製粉性と用途別適性の予備選抜を同時に行い得る可能性が期待される。

2. 用途別品質の条件

小麦の二次加工品は、パン、めん、菓子の3種類に大別されるが、それぞれの品目数はきわめて多く、品目別の適性については、品種的対応は困難で、プレミックスのように他の穀粉を含めた配合や、各種特性の小麦粉の配合によって対応がはかられている。そのため、産出国・銘柄別に原料小麦の特性が規格化され、用途に応じた配合の目安が与えられている。

しかし、一般的に、原料小麦の用途別適性の評価は、それぞれ、パン=食パン、めん=(生)、茹めん、菓子=スポンヂケーキ、クッキーを対象に行っている。

これらの用途に要求される品質特性を拾って見たのが表3であるが、これまで我々が実施してきた品質検定方法と用途別適性との対応が十分なされていないものについては、あくまで目安と

表3 狭義の品質(用途別)の条件

	パ ン	め ん	菓 子
蛋白質含有率%	11.7~13.3	8.3~9.5	7.0~8.3
硬質結晶粒子の多少	卅	廿~十	—
グルテンの量%	34~52	24~36	14~26
グルテンの質	強力	中力	薄力
セディメンテーション値ml	70以上	30~70	30以下
ファリノグラムのVV	70以上	30~70	30以下
エキステンソグラムの面積cm ²	140~160	60~80	50~50
アミログラムの最高粘度BU	350~600	600~800	600~800
	最低250以上	350以上	350以上
小麦粉の色	○	○	◎
小麦粉の粒度	粗	細	細
でん粉含量	少	中	多
小麦粉の灰分%	0.38~0.60	0.38~0.55	0.35~0.55

注) めんには中華めんを含む

して推定した。

二次加工適性の検定は、直接製品を作って評価する方法が最良であるが、育種試験においては、これらと関連の高い、少量サンプルで、迅速に大量検定できる、遺伝性の高い測定項目（形質）であることが望ましい。

3. 春播小麦のパン適性

小麦の蛋白質はその80%がグルテンを形成する。このグルテンの量と質が小麦粉の品質（加工適性）を決定する大きな要因である。パン用粉として要求されるグルテンは量的に多いことはもとより、その質が強じんてなければならない。これら蛋白質、グルテンを製パン適性の選抜手段とした研究は、これまで数多く実施され、その遺伝情報も蓄積されてきた。蛋白質の量に関しては、環境要因による変動、品種と環境の交互作用、遺伝力および遺伝様式等について報告されている。

環境要因については、個体間と個体内の粒蛋白質の変動が開花期と穂重に関連し⁷⁴⁾、施肥窒素により直線的に増加する²⁸⁾が、成熟期前の降水量 ($r = -0.70^{**}$) と最高気温 ($r = 0.74^{**}$)、1.2~1.8 m 内の地下水水位 ($r = -0.79^{**}$)、土中の全窒素 ($r = 0.82^{**}$) によって変動する⁷²⁾との報告がある。また、これらの環境要因に対する変動は品種によってその程度に差があり、品種と環境との交互作用の大きいことが認められている^{12,16,28,77)}。

蛋白質含量の遺伝力については、狭義の遺伝力で68%~83%⁷⁵⁾との報告もあるが、広義の遺伝力では15~86%^{9,10,16,18,22,32,55,76)}、と実験材料、年次、場所、栽培条件の違いによって大きく変動する。

蛋白質含量の遺伝様式についても、諸説があり、ポリジーンに支配^{23,75)}、優性効果が存在しない²⁹⁾とするものから、低蛋白質の部分優性^{6,8,32)}とするものまである。さらに Cowley and Wells (1980)⁷⁾は、高蛋白質品種「Hand」と低蛋白質の「Centurk」と「TX62A2522-8-2」との間の蛋白質レベルの差は、高蛋白質に働く1つの dominant gene によるとし、これを「pr Hand」と名付けている。

ネブラスカ大学においては、高蛋白質、高リジンを目標とした実際育種を系統的に進め、具体的な成果(粒蛋白質20.6%、リジン2.9%)をあげている^{12,28,74,79)}。また、選抜方法では、循環選抜法の適用が効果的であったと報告されている³⁹⁾。

蛋白質の質（製パン適性）の評価方法としては、原粒性状、粉の粒度、生地物物理性、化学的評価法等間接的に評価する方法と直接製パンテストによるものがある。

原粒性状には、硝子率、粒の硬質度、硬質結晶粒子の多少等があり、粉の粒度もこれらに近い特性値と見られる。

粒の硬質度は硬質小麦と軟質小麦の粉砕に対する反応の差を見るもので、willy mill (28mesh screen)⁹⁾や Brafender SM 1 (5 g サンプル)³¹⁾等を用いて粉砕に要する時間 (sec) によって測定する。これは、図1に示すように硬質粒と軟質粒の混合割合と直線関係にあり³¹⁾、蛋白質含量、パン体積 (loaf volume)、クッキーの大きさ (width) と密接に関連し、製粉性の予測にも役立つとされている^{18,31)}。

この測定値は再現性⁹⁾、広義の遺伝力(73%)¹⁰⁾とも高く、染色体置換系統を用いた研究では、これに関与する遺伝子が3 B, 1 D, 5 D, 7 Dの染色体上にあると推定された¹¹⁾。

硬質結晶粒子の存在は、池田²⁵⁾によって発見され、低倍率の顕微鏡下で粉粒子の結晶性²⁶⁾を観察する方法である。硬質粉は、大部分角ばった硝子の破片状(透明で不定形)の結晶体で占められ、軟質粉では、この結晶はほとんど見られず、大部分が遊離した不透明な小粒(澱粉粒)となる。硬質粉は、一般に良いパンを作り、この性質は品種固有の遺伝的特性である^{27,36)}。遺伝様式は明らかでないが、遺伝力は50%程度で主動遺伝子によるものと考えられている⁵⁸⁾。

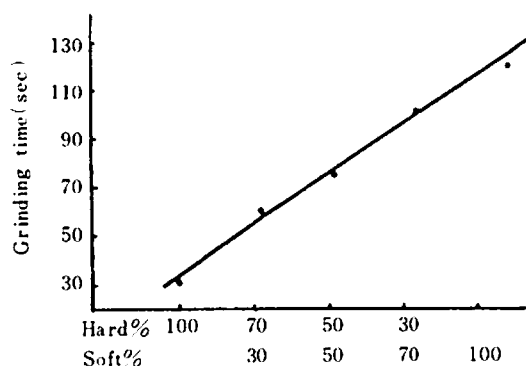


図1 硬質と軟質小麦の混合割合と Grinding time
(粒の硬質度) (Kosmolak, 1978)

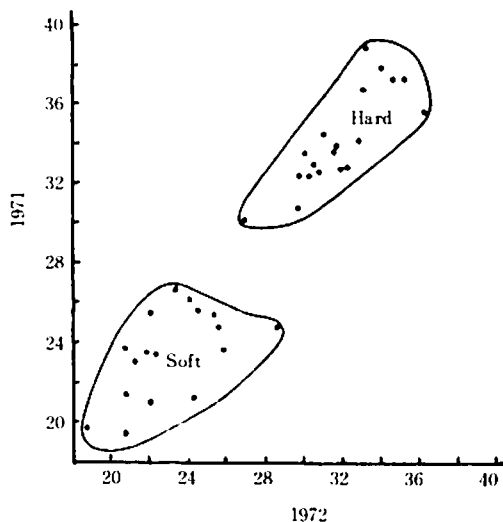


図2 春播小麦36系統の1971年と1972年の粒度の比較
(Baker and Dyck, 1974)

粉の粒度は、段別篩やサイクロンセパレーターによっても測定できるが、簡便な方法としてはブレン空気透過粉末度測定器による比表面積の測定がある⁴³⁾。これは、図2に示されるように小麦粉の硬・軟質の判別に有用で、粉蛋白、mixographの生地形成時間、パン体積と相関が高い²⁾。

以上の原粒性状の加工適性との関連は、軟質～硬質の広いレンジの中で大まかに用途を判定する上ではかなり有効と考えられるが、同一用途を持つサンプルの優劣(加工適性)を知るには不十分である。したがって、育種への適用にあたっては、パンやめんの加工適性との関連の強さやサンプル量と測定時間を考慮していずれか1つを実施すれば良いと考えられる。

化学的な蛋白(グルテン)の質の評価法には pelshenke test (Wheat meal fermentation test), EXpansion test^{37,45)}, 電気泳動による分析^{4,5)}, Sedimentation Value^{56,82)}, 水分保持力 (water-retention)³⁸⁾等がある。これらは、小麦粉生地の醗酵力、ガス発生力、蛋白質の帯電性や酸に対する膨潤度、および、粉の吸水性の差をとらえてパン適性の評価を行うものである。Sedimentation value (SV)は、その少量サンプルと迅速さもあって最も広く研究されている。SVと製パン適性に関連して、パン体積との相関は0.53-0.87^{1,15)}、ファリノグラムの mixing toleranceと0.61-0.74³²⁾、flour evaluation score (パンと生地の総合点)と0.74-0.93⁸⁴⁾と比較的高い関連を認める報告が多い⁸³⁾。しかし、パン適性の指標としてはSVより蛋白の方がよいか少なくとも同程度とする報告もある⁶³⁾。SVの遺伝力 (h^2)については、狭義の h^2 で50-92%^{29,73)}、広義の h^2 で44-92%^{15,32,55,76)}と比較的高く、環境と品種の交互作用の小さい形質である³⁾。

小型の遠心分離機を用いた粉の水分保持力 (Water-retention) の test では、粉サンプル4g、1点5分程度の測定時間である³⁸⁾。これによって品質評価を行った結果では、春播小麦では、高い遺伝力が得られたが秋播小麦では低く、粒の硬度 (seed hardness) と蛋白含量によって推定し得ると考えられた^{15,16)}。

グルテンの組成分析とパン適性との関連では、アルブミン、グロブリン、グリアジン、グルテニンおよび残りの蛋白質で見ると前4者の中ではグルテニンが最も関連が高いが、残りの蛋白の方がさらに高い関連を持っていた⁵⁵⁾。しかし、製パン適性良の Neepawa と劣る pitic62のグリアジン蛋白を電気泳動法により比較すると、26バンド中19バンドが2品種間で異なり、それぞれが

1~2のgeneによってコントロールされているとした報告⁴⁾やグルテニンの一粒分析の育種への適用を提唱した報告⁵⁾がある。

生地⁶⁾の物理性から製パン適性の評価を行おうとする試みは古くからなされ、多くの測定器機が考案された。Shuey⁶⁷⁾は流動学的な原理にとずく実用的な分析器機についてまとめて報告している。20機種以上がとりあげられているが、大別して、生地のミキシング特性と経時変化(醗酵力、ガスの発生と保持力)を測定するものと澱粉の粘性を測定するものである。これらの中で、育種の選抜に適用し得るものは、サンプル量や労力の面からかなり限定される。最も使用例が多いのは、mixsographで、サンプル量は30g~10g¹⁴⁾である。この機械のspringのセットと吸水率を変えてパン試験との関係を検討した結果や品種と環境の交互作用が大きいとする報告がある^{66,3)}。また、パン適性との相関がpeak timeで0.61**と最も高くpeak heightでは0.35と低く、春播小麦で得られた広義の遺伝力は63%-83%と高いが、秋播小麦では2%-27%と低い結果が報告されている¹⁶⁾。実際育種への有用性については、製パン適性の選抜効果がSVより劣るとする報告³²⁾とF₂世代の選抜に適用してパン評点やSVと良く相関したとする報告²⁴⁾の両者がある。

この他、マックマイケルがパン体積と0.66**、SVと0.92**と比較的密接な関連を示した結果¹⁵⁾やFarinographのpeak timeがdough mixing timeやdough typeとの相関が最も密接(0.822**、0.848**)であったとの報告がある⁷⁶⁾。

しかし、これらの関連の程度は供試材料の種類や環境条件によって異なることが指摘されている²²⁾。直接製パン試験による方法としては、マイクロパン8gによる試験が行なわれ、標準法との間で0.86の相関を得ている⁶⁴⁾。

我々もこれまでの20余年の育種試験の中で蛋白の量と質の遺伝性^{48,49,52)}環境との交互作用^{51,53)}製パン適性との関連^{50,58,59,60)}を検討し、概略、次のような結果を得ている。

蛋白含量の遺伝力は比較的高いが変動がやや大きい(35, 58, 60, 44-79%)。また、収量との負の遺伝相関が強いが、SV×収量のIndexを用うれば、良質、多収両方に正の相関を持たせ得ること、また、収量と蛋白の環境変異を利用して多窒素、灌水条件での選抜によって、これらの負の関連をほぼ無の遺伝相関とし、多収、高蛋白の選抜の場としての有効性を提唱した^{51,53,54)}。最近の報告でも収量と蛋白含量との間の負の関係は問題とされているが、遺伝的結びつきはそれ程強くないとしている²¹⁾。蛋白の量と質の関連で、蛋白量1%を蛋白の質(Mixogram area 8 cm²)に対応させているが³⁴⁾、現在も蛋白量の増加が品質育種の1つの柱であることに変わりはない。

春播小麦を用いた4カ年の品質検定(パン試験含む)の結果から、初期世代の選抜に硬質結晶粒子の多少(個体選抜)とSV×収量(系統選抜)を適用した一連の春播硬質小麦における良質(パン用)、多収育種のモデルを提唱した。

表4に新しく加わった耐変質性の検定(ネフェロメーター)やアルベオグラフ(ガス包蔵力測定)を追加した品質検定体制によって十分対応し得るものと考えられる。

4. 秋播小麦の製めん適性

この度、秋播小麦育種の当面の品質目標を「府県産の農林61号」程度以上の製めん適性におくこととなった。

北海道においては、少なくともこの20年間製めん適性を品質目標としたことがない。

したがって、秋播小麦における製めん適性の育種素材、検定方法、育種の知見は乏しい。また、全国的に見ても小麦の品質育種は、一次加工適性や生地の物理性の試験の段階で止まっている例が多く、初期世代からの選抜試験の報告はほとんどない。福永¹⁸⁾は、育成系統の製めん試験の結果

表4 硬質春播小麦のパン用良質多収育種のモデル(佐々木, 長内, 1970)

Year	Gene-ration	Trial	Planted			Selected	Method of selection and selecting traits
			No. of fami-lies	No. of lines	No. of plants	No. of plants or lines	
1	cross						a good hard spring wheat variety should be used as a parent
2	F ₁				20	20	
3	F ₂	Growing population			2,000		mass selection for specific gravity
4	F ₃	ditto			5,000		ditto
5	F ₄	ditto			10,000		ditto
6	F ₅	Individual selection			10,000	200	quality of visual kernel, much crystalloidal particles selection based on sedimentation value, if possible
7	F ₆	Line selection		200		100	yield test of small-scale like hill-plots, low intensity of selection for yield × sedimentation value
8	F ₇	Preliminary Performance test	100	400		40	high intensity of selection for yield × sedimentation value
9	F ₈	ditto	40	200		20	chemical analysis, flour color, milling quality, and farinograph analysis
10	F ₉	Performance test	20	100		10	ditto, Brabender test, and bread baking test
11	F ₁₀	ditto	10	100		5	ditto
12	F ₁₁	ditto	5	50		1-2	ditto

から、農林61号以上の製めん適性を持つ関東98, 99, 100号の3系統をあげている。江口、後藤¹³⁾は、生地のアリノグラムとエキステンソグラム特性やアミログラム、粉色、製めんテストの相互関係を検討し、シラサギコムギ、新中長のめんの食味試験の各評点が高いことを報告している。

めんに関する研究報告は食総研や製粉、食品業界からのものが多いが、これらのほとんどは、製めんの製造と物性や評価方法に関するものが多い。おいしいめんの条件として提唱されているもの^{43,64,68,69,70,71)}、をまとめると次のとおりである。

- (1) めんの色調が明るくてきれいなこと
- (2) めんの表面がなめらかでザラつかない。
- (3) めんにノビがあって切れ易くないこと。
- (4) 食べた感じがソフトで適度の歯ごたえのあること。

Nagao *et al*^{41,42)} は、日本で使用されている内外のソフト小麦の加工的性の評価を表5のようにまとめている。また、小田⁴⁷⁾は、加工適性と小麦粉の化学、物理的適性についてのべ、澱粉の硬軟の差をビスコグラフの図形によってとらえている(図3)。硬質澱粉ではアミロース含量が高く、軟質澱粉ではアミロペクチンの含量が高いとしている。また蛋白の値については、めん加工の目的からグルテンの質は軟らかく、展開性(グルテンの網膜構造をつくる能力)のすぐれてい

表5 わが国で使われる外国小麦銘柄および国内産小麦の品質比較(Nagao et al. 1977)

Test	U. S. Wheat			Australian Wheat			French	Japanese
	Soft white	White club	Soft red winter	Victoria soft	Victoria F. A. Q.	W. Aust F. A. Q.		
Wheat								
Test wt(kg/hl)	80.0	78.5	77.5	80.5	79.0	80.0	77.0	78.5
Moisture(%)	9.5	10.4	11.7	11.4	10.1	9.4	11.5	12.4
Ash(%) ^a	1.28	1.36	1.64	1.26	1.35	1.34	1.53	1.64
Protein(%) ^a	10.8	10.0	10.7	9.0	10.4	10.0	10.0	10.5
Vitreous kernels(%)	40	32	22	46	48	56	27	10
Flour extraction(%)	72.5	73.9	74.6	71.3	71.8	71.9	74.5	69.2
Flour								
Ash(%) ^a	0.36	0.38	0.40	0.37	0.41	0.41	0.38	0.37
Color	0.9	0.1	1.3	0.6	1.0	0.9	2.1	2.3
Protein(%) ^a	8.6	8.0	8.6	7.5	8.8	8.6	8.2	8.8
Maltose value(mg/10g)	155	115	105	130	190	230	130	85
Specific surface(cm ² /g)	2620	2680	3510	3070	2370	2340	2590	3590
MacMichael viscosity	87	32	55	39	64	81	61	82
Sponge-cake quality ^b	5	7	7	3	2	1	4	4
Cookie quality ^b	5	6	7	3	2	1	4	4
Noodle quality ^b	4	4	3	3	4	5	4	5

^aAs-is moisture basis.

^bScores are assigned over a 9-point range;1=much less preferable than a standard;5=standard(equal to a control); and 9=much better than the standard.

ること、水との親和性の良いことをあげている。ここでの澱粉の硬軟やグルテンの水との親和性について、「ハルヒカリ」の澱粉は軟質的であると言われていたこと、また、フアリノグラフの生地形成時間が早い(水との親和性がよい)ことなどは、製めん適性特有の品質項目に属すると考えられる。また、業界からの要望や Nagao⁴⁰⁾の日本におけるソフト小麦の加工適性の評価法として、スポンジケーキと製めんテストの組合せによるのが良いとしていることから、グルテンの質は「かなり軟質的性格の強い中間質」と判断される。

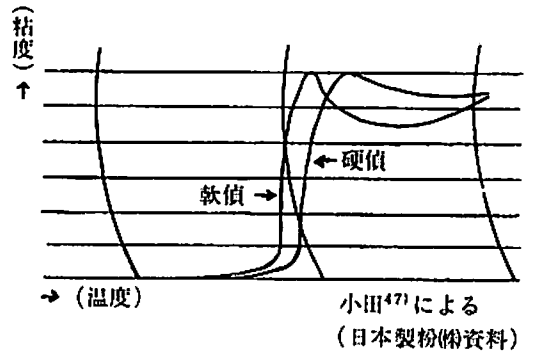


図3 澱粉アミロ硬軟比較図

クッキーの製品テストでは、粉の粒度の細かいことが要求され⁸¹⁾、スポンジケーキと共通の品質特性と考えられる。しかし、茹めんに対する粒度(粉)の影響は、これらクッキーやスポンジケーキの場合とやや異なり、内麦の粒度が Western white と同程度に細かいのに、Western white は製めん適性が低く、オーストラリア小麦(ASW)は、粒度がやや粗いが、良好な製めん適性を示している。したがって粉の粒度は、硬質結晶粒子の多少と共に1つの必要条件ではあるが、十分条件になり得ないものと考えられる。

江口、後藤¹³⁾は、各種の化学、物理的特性と製めんテストのデータを主成分分析にかけ、やや薄力的な品種と中力品種の比較を行って、第一主成分に食味試験の評点 (+)、湿麩含量 (+)、エキステンソグラムの面積 (+)、生めんの粗脂肪含量 (-) の結果を得ているが、これは、蛋白含量やグルテンの量が菓子用よりは多いことが望ましいことを示している。

茹めんの物性の測定法として、テクロスコロメーターの有用性が認められ^{17,18)}、うどんに特有の“こし”の評価や茹のびの状態をとらえ得るとも見られている¹⁹⁾。

また、長井¹⁹⁾は、うどん用の小麦の条件として、①グルテンは28%あれば十分 ②グルテンの伸展性が中庸であること③ファリノグラフの吸水率50%台で生地形成時間3分程度④エキステンソグラムのあし (E) とこし (R) のバランス⑤テクスチュロメーター特性⑦澱粉の質 ⑧小麦粉の色等について詳しくのべている。

小麦粉の色については、胚乳の黄色味とふすまの混入による色づきが問題となるが、黄色味の遺伝力は高いが、ふすまの混入による色づきは低い¹⁹⁾との結果が得られている。また最も粉の色が白いことで知られるウエスタンホワイトを福山で栽培すると米国産のウエスタンホワイトの比較は言うに及ばず、国内品種系統より劣ったとの報告がある²⁰⁾。これは粉の色の栽培条件・環境による影響の大きいことを示している。このため、降雨等の気象条件に影響されにくい性質に注目すると同時に、良好な条件での品種、系統本来の粉色を検定する努力が必要と考えられる。

具体的な検定、選抜方法は、総合討論にゆずるとして、基本的な進め方は、製めん適性の高い品種の特性を1つ1つ必要条件を積み重ねることによって、製めん適性の改善をはかることとする。

引用文献

- 1) Atkins, I.M.; Gilmore, E.C.; Scottino, P.; Merkle, O.G.; Porter, K.B.; "Evaluation of the sedimentation test in a wheat breeding program." *Crop Sci.* 5, 381-385 (1965).
- 2) Baker, R.J.; Dyck, P.L. "Relation of several quality characteristics to hardness in two spring wheat crosses". *Can. J. plant sci.* 55, 625-627 (1975).
- 3) Baker, R.J.; Kosmolak, F.G. "Effects of genotype-environment interaction on bread wheat quality in Western Canada". *Can. J. Plant Sci.* 57, 185-191 (1977).
- 4) Baker, R.J.; Bushuk, W. "Inheritance of differences in gliadin electro-phoregrams in the progeny of Neepawa and Pitic62 wheats". *Can. J. Plant Sci.* 58, 325-329 (1978).
- 5) Bietz, R.A.; Shepherd, K.W.; Wall, J.S. "Single kernel analysis of glutenin: Use in wheat genetics and breeding". *Cereal Chem.* 52, 513-532 (1976).
- 6) Chapman, S.R.; McNeel, F.R. "Gene effects for grain protein in five spring crosses". *Crop Sci.* 10, 45-46 (1970).
- 7) Cowley, C.R.; Wells, D.G. "Inheritance of seed protein in crosses involving 'Hand', a hard red winter wheat". *Crop Sci.* 20, 55-58 (1980).
- 8) Davis, W.H.; Middleton, G.K.; Hebert, T.T. "Inheritance of protein, texture, and yield in wheat". *Crop Sci.* 1, 235-238 (1961).
- 9) DeLa Roche, I.A.; Fowler, D.B. "Wheat quality evaluation, 1. Accuracy and precision of prediction tests". *Can. J. Plant Sci.* 55, 241-249 (1975).
- 10) DeLa Roche, I.A.; Fowler, D.B. "Wheat quality evaluation, 4. Variability in gross energy content". *Can. J. Plant Sci.* 56, 257-261 (1976).
- 11) Doekes, G.J.; Belderok, B. "Kernel hardness and baking quality of wheat: A genetic analysis using chromosome sub-

- stitution lines". *Euphytica* 25,565-576 (1976).
- 12) Diehl,A.L.; Johnson,V.A.; Mattern,P.J. "Inheritance of protein and lysin in three wheat crosses". *Crop Sci.* 18,391-395 (1978).
- 13) 江口昭彦, 後藤虎男. "暖地産小麦品種のめん加工適性について, ゆめめんの食味と小麦粉の物理, 化学性"中国農試報, A 29,33-70 (1981).
- 14) Finney,K.F.; Shogren,M.D. "A ten-gram mixograph for determining and predicting functional properties of wheat flours". *Bakers Digest* 46 (2), 32-35, 38-42, 77(1972).
- 15) Fowler,D.B.; DeLa Roche,I.A. "Wheat quality evaluation, 2. Relationships among prediction tests". *Can.J. Plant Sci.* 55,251-262 (1975).
- 16) Fowler,D.B.; DeLa Roche,I.A. "Wheat quality evaluation, 3. Influence of genotype and environment". *Can.J.Plant Sci.* 55,263-269 (1975).
- 17) 福井義明, 時井幸男, 中土井正史, 三木英三. "麺類に関する研究 I 茹麺の特性試験について"香川大学農学部学術報告, 24,221-227 (1973).
- 18) 福永公平. "小麦育種の現場から一早生と品質について一米麦改良, 11, 2-10 (1981).
- 19) Ghaderi,A.; Euerson,E.H.; Cress,C.E. "Classification of environments and genotypes in wheat". *Crop Sci.* 20,707-710 (1980).
- 20) Gotoh,T.; Kainuma,N.; Eguchi,A.; Kashio,T. "Quality and agronomic characteristics of western wheat varieties grown in south-west Japan". *Jpn.J. Breed.* 19 (5), 32-38 (1969).
- 21) Halloran,G.M. "Grain yield and protein relationships in a wheat cross". *Crop Sci.* 21,699-701 (1981).
- 22) Haunold,A.; Johnson,V.A.; Schmidt,J.W. "Variation in protein content of the grain in four varieties of *Triticum aestivum* L". *Agron.J.* 54,121-125 (1962).
- 23) Haunold,A.; Johnson,V.A.; Schmidt,J.W. "Genetic measurements of protein in the grain of *Triticum aestivum* L". *Agron.J.* 54, 203-206 (1962).
- 24) Heyne,E.G.; Finney,K.F. "F₂ progeny test for studying agronomic and quality characteristics in hard red winter wheat". *Crop Sci.* 5,129-132 (1965).
- 25) 池田利良. "麴麵用小麦の簡易鑑定". 農及園, 10,2605-2608 (1935).
- 26) 池田利良. "硬質小麦胚乳の結晶性について". 日作紀, 25,88-89 (1956).
- 27) 池田利用. "日本における硬質小麦の研究"東海近畿農試特別報告, 2, (1961).
- 28) Johnson,V.A.; Dreier,A.E.; Grabouski,P. H. "Yield and protein responses to nitrogen fertilizer of two winter wheat varieties differing in inherent protein content of their grain".*Agron.J.*65,259~263(1973).
- 29) Kaul,A.K.; Sosulski,F.W. "Inheritance of flour protein content in a selkirk x Gabo cross". *Can.J.Genet.Cytol.* 7,12-17 (1965).
- 30) 木原均. "小麦の研究". 養賢堂, 1954, 753p
- 31) Kosmolak,F.G. "Grining time-A screening test for kernel hardness in wheat". *Can.J. Plant Sci.* 58,415-420 (1978).
- 32) Lebsack,U.L.; Fifield,C.C.; Gurney,G.M.; Greenaway,W.T. "Variation and evaluation of mixing tolerance, protein content, and sedimentation value in early generations of spring wheat, *Triticum aestivum* L". *Crop Sci.* 4,171-174 (1964).
- 33) McNeel,F.H.; Mcguire,C.F.; Berg,M.A. "Recurrent selection for grain protein in spring wheat". *Crop Sci.* 18,779-782 (1978).
- 34) Middleton,G.K.; Bode,C.E.; Bayles,B.B. "A comparison of the quantity of protein in certain varieties of soft wheat". *Agron.J.* 46,500-502 (1954).
- 35) 三木英三, 福井義明. "めんに関する研究, II. テクスチュロメーターによるめんの物性測定". 香川大学農学部学術報告, 26 (2), 142-149 (1975).
- 36) 三宅瑞穂, 末次勲. "暖地栽培小麦品種の品質

- 並びに製麩試験成績”農事試験報, 4 (2), 77-90 (1950).
- 37) Miller, H.; Edgar, J.E.; Whiteside, A.G.O. “An improved small-scale dough expansion test for the estimation of wheat quality”. *Cereal Chem.* 31, 433-438 (1964).
- 38) Miller, H. “A micro centrifuge to determine water retention properties of wheat flour”. *Cereal Chem.* 45, 109-114 (1967).
- 39) 長井 恒. “うどんの技術”. 食品出版社, 1980.
- 40) Nagao, S.; Imai, S.; Sato, T.; Kaneko, Y.; Otsubo, H. “Quality characteristics of soft wheats and their use in Japan, I. Methods of assessing suitability for Japanese products”. *Cereal Chem.* 53, 988-997 (1976).
- 41) Nagao, S.; Ishibashi, S.; Imai, S.; Sato, T.; Kanbe, T.; Kaneko, Y.; Otsubo, H. “Quality characteristics of soft wheats and their utilization in Japan, II. Evaluation of wheats from the United States, Australia, France, and Japan”. *Cereal Chem.* 54, 198-204 (1977).
- 42) Nagao, S.; Ishibashi, S.; Sato, T.; Kanbe, T.; Kaneko, Y.; Otsubo, H. “Quality characteristics of wheats and their utilization in Japan, III. Effects of crop year and protein content on product quality”. *Cereal Chem.* 54, 300-306 (1977).
- 43) 長尾精一. “国内産小麦の品質に期待するもの”. 製粉振興会叢書, 20, (1980)
- 44) 中川元興, 渡辺進二. “小麦品種の粒質に関する研究, 第1報, 小麦の粉質と硝子質を支配する遺伝子”. 育種学雑, 6 (4), 56-60 (1957).
- 45) 日本麦類研究会編. “小麦粉—その原料と加工品—”. 1976.
- 46) 農林水産技術会議事務局編. “小麦品質検定法—小麦育種試験における—”. 1968, 70p. (研究成果35)
- 47) 小田開多. “めんの本”株式会社食品産業新聞社, 1980.
- 48) 長内俊一. “小麦の蛋白含量と実用形質との関係”. 北農, 28 (4), 1-3 (1961).
- 49) 長内俊一. “パン用品種育成の問題点” Proceedings of the fourth wheat genetics symposium, Japan. *Seiken zihou.* 16, 49-54 (1964).
- 50) 長内俊一. “春播小麦の製パン適性”. 育種, 14, 203 (1964).
- 51) 長内俊一, 佐々木宏. “Nと灌水処理が秋播小麦の収量と蛋白に及ぼす影響”. 北農, 32 (7), 3-5 (1965).
- 52) 長内俊一, 伊藤平一. “小麦の製粉性とフェリノグラム特性の遺伝力”. 北農, 32 (7), 1-2 (1965).
- 53) 長内俊一, 佐々木宏. “遺伝相関の栽培条件による変化——多窒素, 灌水処理による小麦の収量と蛋白”. 育種, 15 (3), 215 (1965).
- 54) Osanai, S.I.; Sasaki, H.; Gotoh, K. “Selection experiment for combining high quality and yield in hard red spring wheat”. 3rd International Congress of SABRAO, Plant Breeding Papers: 2, 5 (a) 43-46 (1977).
- 55) Orth, R.A.; Baker, R.J.; Bushuk, W. “Statistical evaluation of techniques for predicting baking quality of wheat cultivars”. *Can. J. Plant Sci.* 52, 139-146 (1972).
- 56) Pickney, A.J.; Greenaway, W.T.; Zeleny, L. “Further development in the sedimentation test for wheat quality”. *Cereal Chem.* 34, 16-25 (1957).
- 57) 佐々木正剛, 長内俊一, 尾関幸男, 野呂耕造, 荒木博, 米谷道保. “良質小麦の育成方法, とくに育成環境と比重選の効果, 第2報, 原粒性状と小麦粉の品質”. 北海道農事試験報, 91, 14-25 (1967).
- 58) 佐々木宏, 長内俊一. “硬質春播小麦のパン適性と収量の選抜実験, 第1報, 選抜形質とパン適性”. 北海道立農事試験報, 19, 21-35 (1969).
- 59) 佐々木宏, 長内俊一. “パン適性と収量の選抜実験, II, 統計量と選抜効率”. 北農, 36 (2), 49-52 (1969).
- 60) 佐々木宏, 長内俊一. “硬質春播小麦のパン適性と収量の選抜実験, 第II報, 選抜形質の統計量と選抜効果”. 北海道立農事試験報, 20, 59-72 (1970).
- 61) 佐々木宏, 長内俊一. “硬質春播小麦における製粉性の遺伝的統計量と選抜方法”. 北海道立

- 農試集報, 30, 1-8 (1974).
- 62) Seeborg, E.F.; Barmore, M.A. "A new five-gram milling quality test and its use in wheat breeding". *Cereal Chem.* 34, 299-303 (1957).
- 63) Schlesinger, J. "Sedimentation studies". *Northwestern Miller* 268 (6), 41-48 (1963).
- 64) 製粉協会, "国内産小麦の特性と品質上の問題点". 製粉振興, 187, 15-17 (1982).
- 65) Shellenberger, J.A.; Shogren, M.; Laude, H. H. "Microtechnics applied to wheat quality evaluation". *Agron. J.* 50, 151-153 (1958).
- 66) Shuey, W.C.; Gills, K.A. "Effect of spring setting and absorption on mixogram for measuring dough characteristics". *Cereal Chem.* 43, 94-103 (1966).
- 67) Shuey, W.C. "Practical instruments for reological measurements on wheat products". *Cereal Chem.* 52, 42r-81r (1975).
- 68) 紫田茂久, "めん品質と食味および最近の製造技術". 食糧—その科学と技術—, 18号別刷 (1976).
- 69) 紫田茂久, "最近の国内産小麦の生産の現状と品質について". *New Food industry.* 23 (2), (1981).
- 70) 紫田茂久, 今井徹, 豊島英親, 梅田圭司, 石間紀男, "照射小麦の製めん適性". *日本食品工業学会誌.* 21 (4), 161-167 (1974).
- 71) 紫田茂久, "日本の小麦の品質". 食糧—その科学と技術—, 第22号別冊, (1982).
- 72) Smika, D.E.; Greb, B.W. "Protein content of winter wheat grain as related to soil and climatic factors in semiarid central great plains". *Agron. J.* 65, 433-436 (1973).
- 73) Sosulski, F.W.; Kaul, A.K. "A note on the inheritance of sedimentation value in tow wheat crosses". *Cereal Chem.* 43, 623-625 (1966).
- 74) Stuber, C.W.; Johnson, V.A.; Schmidt, J.W. "Intraplant and interplant variation of grain protein content in the parents and F1 of a cross of *Triticum aestivum* L.". *Crop Sci.* 2, 286-289 (1962).
- 75) Stuber, C.W.; Johnson, V.A.; Schmidt, J.W. "Grain protein content and its relationship to other plant and seed characters in the parents and progeny of a cross of *Triticum aestivum* L.". *Crop Sci.* 2, 506-508 (1962).
- 76) Sunderman, D.W.; Wise, M.; Sneed, E.M. "Interrelationships of wheat protein content, flour sedimentation value, farinograph peak time, and dough mixing and baking characteristics in the F₂ and F₃ generations of winter wheat, *Triticum aestivum* L.". *Crop Sci.* 5, 537-540 (1965).
- 77) Terman, G.L. "Yield and protein content of wheat grain as affected by cultivar, N, and environmental growth factors". *Agron. J.* 71, 437-440 (1979).
- 78) Tipples, K.H.; Kilborn, R.H. "Baking strength index and the relation of protein content to loaf volume". *Can. J. Plant Sci.* 54, 231-234 (1974).
- 79) Vogel, K.P.; Johnson, V.A.; Mattern, P.J. "Protein and lysine contents of endosperm and bran of the parents, and progenies of crosses of wheat". *Crop Sci.* 18, 751-754 (1978).
- 80) Yamazaki, W.T.; Briggles, L.W. "Components of test weight in soft wheat". *Crop Sci.* 9, 457-459 (1969).
- 81) Yamazaki, W.T.; Donelson, D.H. "The relationship between flour particle size and cake-volume potential among eastern soft wheats". *Cereal Chem.* 49, 649-653 (1972).
- 82) Zeleny, L. "A simple sedimentation test for estimating the bread baking and gluten qualities of wheat flour". *Cereal Chem.* 24, 465-475 (1947).
- 83) Zeleny, L.; Greenaway, W.T.; Gurney, M. G.; Fifield, C.C.; Lebsack, K. "Sedimentation value as an index of dough mixing characters in early-generation wheat selections". *Cereal Chem.* 37, 673-678 (1960).
- 84) Zeleny, L.; Doty, J.M.; Kibler, W.E. "Sedimentation as a measure of wheat quality". *Northwestern Miller.* 268 (2), 19-25 (1963).