

小麦粉の二次加工性に魅せられて

岡 田 憲 三*

I はじめに

この7年間、鯉淵学園農業栄養専門学校の農業経営科学科の2年生を対象として食品概論の講義を担当してきた。講義の内容は食品の品質改良に役立つと考えられるタンパク質、デンプン、脂質の基礎知識とこれらの基礎知識を活用して食品調理・加工のメカニズムを解説することを中心とした。

時間の関係上、小麦粉に関しては十分に講義することが出来なかったこともあり、この小冊を講義の補足としたい。

小麦粉はその特性により多くの食品に使用されているが、まだ活用されていない特性があると考えられる。これらを引出し、組合わせることで更に食品の改良および新製品の開発が期待できるのではないと思われる。

II 穀物化学者への要望

穀物化学の研究雑誌である Cereal Chemistry は 1924 年に創刊された。この発行元である American Association of Cereal Chemists, Inc. (現在は AACC International, Inc. である) の M. J. Blish 会長は創刊号の巻頭言で「Cereal Chemistry of Today」¹⁾と題して、穀物化学の現状を述べている。その中で、穀物化学者への要望事項として、次の項目をあげている。

- 分析法の標準化と新分析法の開発
- 小麦粉の製パン性に関する化学的因子の解明
- 二次加工に代わる測定法の開発
- グルテンの質の化学的測定法の開発
- 化学的方法によるミル工程管理
- 生化学的方法による製パン工程管理
- その他

以上の要望事項は 80 数年経った現在でもその内容は変わらない。上記の「二次加工に代わる測定法の開発」は小麦育種の初期選抜において最重要課題である。

小麦粉成分、特にタンパク質、デンプンに関する研究で、穀物化学者の最終目標は、それらの構造と機能性の関係を明らかにして育種、製粉、二次加工などへ応用することである。

III 小麦原料

我国で主に使われている原料小麦の銘柄、等級、品質を図 1 に示した²⁾。

図 1 には、示されていないが我国で使用されているものにオーストラリア・プライム・ハード小麦がある。このオーストラリア・プライム・ハード小麦³⁾はタンパク質の量が多く、グルテンの質も強靱である。オーストラリアの小麦の中では製パン適性が一番良く、輸出市場でもそれなりに評価されている。また、1 等粉クラス (灰分量が 0.3 % 台) の粉は、ややクリームがかったきれいな (明度が高い) 色相をしており、食感も良いので中華麺用としての適性が高い。

このように、我国では、各種小麦粉はそれに適した原料小麦を輸入して製造されていることが分かる。

平成 19 年度の食糧用小麦の輸入量は 491 万 t (アメリカ 60.3 %, カナダ 22.4 %, オーストラリア 17.3 %) であり、内麦の生産量は 91 万 t であった⁴⁾。平成 19 年度はオーストラリアの干ばつのため、アメリカの比率が高くなっている。平成 15～18 年度の平均値⁴⁾では、アメリカ 55.2 %, カナダ 21.9 %, オーストラリア 22.9 % となっている。

* 鯉淵学園農業栄養専門学校 非常勤講師

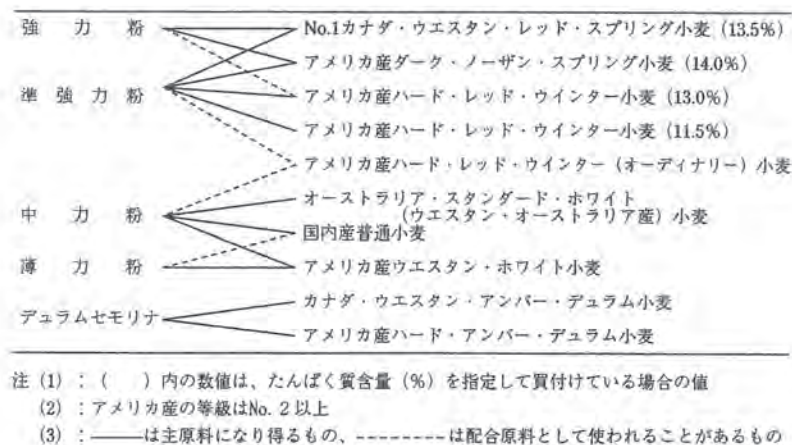


図 1 日本における小麦粉の種類と原料小麦の銘柄 (長尾²⁾)

Ⅳ 小麦粉の製造

小麦粉粒は胚乳(約 83%), 表皮(約 15%), 胚芽(約 2%) から構成されている。小麦製粉は表皮や胚芽の混入を最小限に抑えて胚乳部を採取出来るように工夫されている。小麦は外皮が厚く、硬い。更に、クリース(粒溝)が存在するため外皮だけを完全に除いて一度に粉砕することが出来ないの、段階的に粉砕する仕組みになっている。

その概要を次に示す。

①精選工程

小麦に混入している夾雑物を完全にに取り除く。

②調質工程

小麦に加水して、表皮を強靱にし(表皮の小麦粉への混入を抑える)、更に、胚乳を柔らかくし粉砕しやすくする。

③砕工程

数種類の目立ロール(ブレイキロール)で小麦粒を開剥してセモリナ(胚乳の破碎片)を取り出し、表皮と胚乳を剥離する。次に、数種類の滑面ロール(スムースロール)で、純化されたセモリナを粉砕する。このように一度に粉砕するのではなく段階的に粉砕する。

④篩分け工程

挽砕工程で生成したセモリナなどを篩(シフター)で粒度別に篩分ける。篩だけではセモリナと同じ大きさのふすま(表皮)は除去出来ないの風力と篩を組合わせたピュリファイヤーを用いてセモリナを純化する。この篩分け工程で、1粒の小麦より約 40～50 種類の上り粉(粉砕された胚乳部の一部)

が採り分けられる。

⑤仕上げ工程

約 40～50 種類の上り粉を目的に応じて混合し、3～4 種類の小麦粉製品を作る。これらの上り粉の性状についても研究されている^{5,6,7,8)}。

Ⅴ パン用粉

パン用粉は他の二次加工用粉よりグルテンの量や質に対する要求度は高い。ここでは、食パン用粉に絞り、求められる品質特性およびそれらに關与する因子について述べたい。

パン用粉に求められる品質⁹⁾

①吸水がよいこと。

②製パン工程での生地機械耐性があること。

③外観、内相のすだち、食味、食感の良いパンが出来ること。

以上のような要件が求められている。これらの条件を満足できるかどうかは、その小麦粉生地の性状で推定できる。この生地物性に大きく関わっている因子は小麦粉タンパク質である、特に、グルテンタンパク質を構成しているグルテニンとグリアジンである。

これらのタンパク質と生地物性の関係を解明するため、次のような方法で研究が進められてきた。

①小麦タンパク質の単離、分子レベルでの解明

②小麦品種間のタンパク質性状よりタンパク質の構造の推定

③小麦粉生地の物性よりタンパク質の構造の推定
これらの研究成果の一部を紹介したい。

1. 小麦タンパク質の単離、分子レベルでの解明

グルテンタンパク質の研究の歴史は古いが、その構成タンパク質が会合しやすく難溶性であるため研究の進展がなかった。その壁を破ったのが、米国イリノイ州ペオリアにある米国農務省北部研究所において、Jones ら¹⁰⁾が Tiselius 電気泳動装置を用いてグルテンタンパク質の電気泳動分析に成功したことである。この成功の要因は電気泳動に用いる緩衝液として、乳酸アルミニウムを見出したことにある。従来のものでは、グルテンタンパク質間の会合のために電気泳動の上昇図と下降図に対称的なパターンを得ることが困難であった。この乳酸アルミニウム緩衝液を用いることによりグリアジンを α 、 β 、 γ 、 ω の4区分に、またグルテニンは α -グリアジンと同速度で単一のピークをもって泳動する成分であることが分った。

この電気泳動分析の成功が引き金となって米国農務省北部研究所では、グルテンタンパク質の研究が活発化した。

Woychik ら¹¹⁾はデンプンゲル電気泳動法により α -グリアジンを α_1 、 α_2 に β -グリアジンを β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 に分離した。この成果は、グルテンタンパク質集団を個々の成分タンパク質のレベルで論じられるようになる第一歩といえる。

Nielsen ら¹²⁾はグルテニンの S-S 結合を開裂させることにより、高分子量の多分散系が低分子量の単分散系に変化することを見出し、これによりグルテニンがポリペプチドの S-S 結合によるポリマーで、グリアジンはモノマーであると報告した。

Beckwith ら^{13,14)}はグリアジンとグルテニンの還元再酸化の実験において、グリアジンは再酸化で易動度が増加するが、グルテニン成分の中には、再酸化により易動度を変化しないものが、かなり含まれていることを見出した。即ち、グルテニンとグリアジン間で共通成分があるという説は否定された。

Beckwith ら¹⁵⁾は中性 70% エタノール可溶区分として分離した粗グリアジンからゲルろ過により通常のグリアジンよりも分子量の大きい成分（平均分子量約 100,000）を分離した。この成分を Tiselius 電気泳動やデンプンゲル電気泳動ならびにアミノ酸分析より、これらがグリアジンよりもグルテニンに似ていることを指摘した。

Nielsen ら¹⁶⁾は上記の区分は重合度は低いがグルテニンと同様に S-S 結合による重合体であること

を明らかにし、低分子量グルテニンと名付けた。

Bietz ら¹⁷⁾と Hamauzu ら¹⁸⁾はほぼ同時に SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動 (SDS-PAGE) を用いて、グルテニン、グリアジンの分子量を測定し、小麦の品種などにより多少異なるが、大筋で一致した値を報告している。

金沢ら¹⁹⁾はグルテニンと低分子量グルテニンのポリペプチド構成の相違を明確にする目的で、一連の実験を行った。その結果、Sephadex G-100 によるゲルろ過で、グルテニンの成分ポリペプチドは F I、F II、F III の区分に分れ (図 2)、F III は低分子量グルテニンとよく対応したデンプンゲル電気泳動パターンを示した。また、グルテニン構成ポリペプチドの一部を欠いているに過ぎないことを明らかにした。更に、この欠けているポリペプチドは 70% エタノール溶液から室温で沈殿する性質を持っていることを見出した。低分子量グルテニンが中性 70% エタノール可溶のグリアジン区分に入っているのは、通常のグルテニンに比して、その分子量が低いためと考えられていた¹⁶⁾が、金沢ら¹⁹⁾の研究によりポリペプチド構成が主要な要因であり、中性 70% エタノールにより沈殿するポリペプチドを含まないことが、エタノール分別に際して、グリアジン区分に入り込む原因になっていると考えられる。金沢ら²⁰⁾はグルテニンを 0.01M 酢酸に分散させた時に生じるにごり部分について調べたところ、0.1M 酢酸に溶けにくい会合性ポリペプチドを多量に含むことを見出した。この成分は F I の主成分であり、サブユニットとしてグルテニン分子中に存在する時でも凝集性を示し、グルテニン分子を会合に導き、

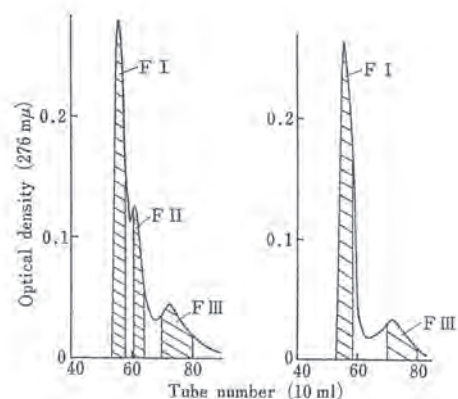


図 2 Gel Filtration Diagrams of Reduced and Cyanoethylated Proteins.

Left side: S-cyanoethyl glutenin, right side: S-cyanoethyl low molecular weight glutein. (金沢ら¹⁹⁾)

沈殿性のグルテニンを生じるのではないかと考えられる。

Hamauzu ら²¹⁾ は還元グルテニンのゲルろ過分画 F I, F II, F III の分子量を測定した。その結果は F I : MW 31,000, 36,000, 42,000, 44,000, 54,000, 58,000, F II : MW 47,000, 72,000, 77,000, 87,000, 104,000, F III : MW 31,000, 36,000, 42,000, 44,000 であった。F I のバンドの位置は F III と重なって低分子量領域に現れた。一方 F II はグルテニン成分ポリペプチドのうちの高分子量のもので占められていた。グリアジンの成分はグルテニンの F III と同じ領域に集中している。グルテニン構成の成分ポリペプチドを整理するとゲルろ過での F I 区分は凝集性ポリペプチド, F II 区分は高分子ポリペプチド, F III 区分は低分子量グルテニンを構成する成分で 70% エタノールに可溶である。

Khan ら²²⁾ も Sephadex G-200 を用いて還元—アルキル化グルテニンを同様に F I, F II, F III に分画した。その中で, F II が S-S 結合による共有結合ネットワークにより, 小麦粉生地構造の中心的役割を果し, F I, F III がグルテニン複合体を形成するための二次的役割を果していることを提唱した。

これら F I, F II, F III の性状が明らかになったところで, この分野の基礎的な研究は完了したと考えられる。

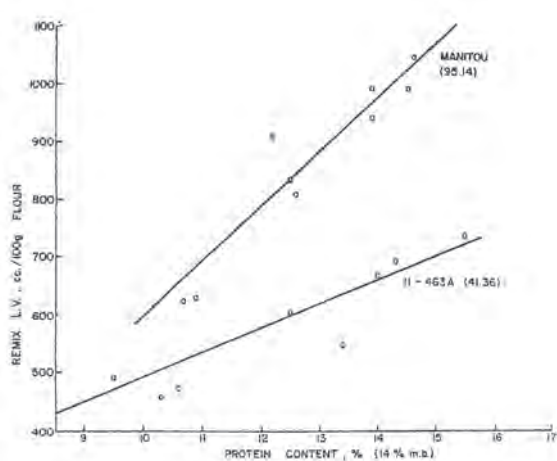


図 3 Remix loaf volume results for flour samples of two Canadian genotypes (Manitou and the un-named line 11-463A), with a range of protein contents. (Bushuk ら²⁴⁾)

2. 小麦品種間のタンパク質性状よりタンパク質の構造の推定

二次加工性の異なる小麦間のタンパク質性状を比較してグルテンタンパク質の構造を推定しようとする研究が数多く行われてきた。そのうちのいくつかを紹介したい。

Finney²³⁾ らはタンパク質含量の異なる 16 種の小麦品種の小麦粉タンパク質とパン体積の関係を求めた。その結果, タンパク質量とパン体積は正比例しているが, 品種によりその勾配は大きく異なっていることを見出した。これは, 即ち, タンパク質の質の差異を明確に示したものである。Bushuk ら²⁴⁾ も製パン性が大きく異なる代表的な 2 品種を選び, タンパク質量とパン体積の関係を求め, その勾配の差を見出している (図 3)。これらの結果より, タンパク質の質に対する関心が高まった。

Pomeranz²⁵⁾ は 3M 尿素に対する小麦粉タンパク質の溶解性とパン体積の関係を調べ, 製パン性の良い小麦粉タンパク質は製パン性の悪いそれよりも溶解性が低いことを見出した。これは不溶性タンパク質の製パン性への重要性を示唆しているものと思われる。

Tsen²⁶⁾ はドウ (生地) 物性の異なる小麦粉 (表 1, 図 4) をファリノグラフでミキシングして, 0.05M 酢酸に対する溶解性を比較した。その結果, ファリノグラフの生地形成時間が短い小麦粉 (薄力粉: Prairie Pride, White winter) はファリノグラフの

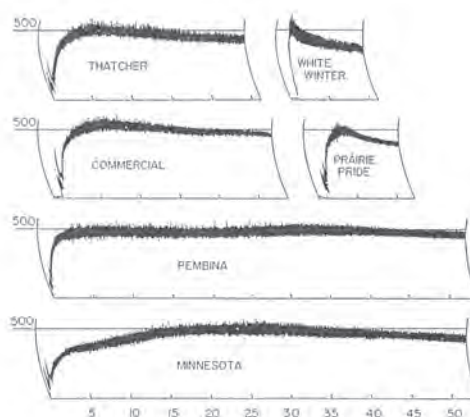
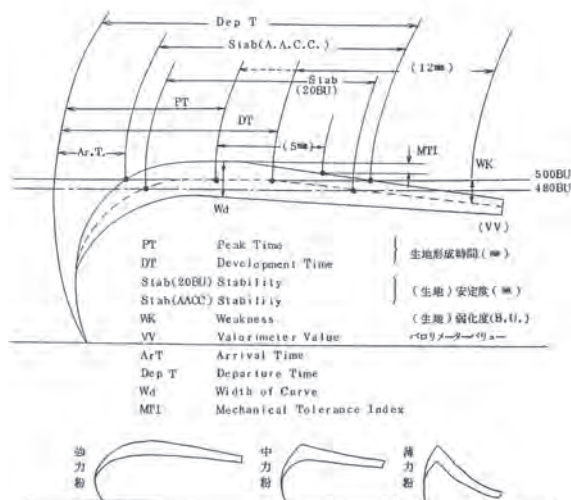


図 4 Farinogram of flour-water doughs. Absorptions for the commercial, Minnesota II-54-29, Pembina, Prairie Pride (which is not a licensed variety in Canada), Thatcher, and two C.E. white winter wheat flours were 63.2, 67.8, 62.0, 64.6, 65.4, and 50.8%, respectively. (Tsen²⁶⁾)

表 1 Description of Flours Used (Tsen²⁶⁾)

Flour	Origin	Ash	Protein	Strength Classification
		% (14% m.b.)	% (14% m.b.)	
(HRS) Commercial, No.3 Manitoba Northern	Western Canada	0.45	13.6	Strong
(HRS) Minnesota II-54-29	Minnesota	0.46	16.6	Very strong
(HRS) Pembina	Manitoba	0.48	13.1	Very strong
(HRS) Prairie Pride	Manitoba	0.43	11.3	Weak
(HRS) Thatcher	Manitoba	0.46	14.6	Strong
(SWW) White winter, 2 C.E.	Ontario	0.33	7.2	Very weak
(SWW) Genesee	Ontario	0.48	11.0	Weak
(SWW) Richmond	Ontario	0.49	12.6	Weak
(SWW) Talbot	Ontario	0.48	11.4	Weak

生地形成時間が長い小麦粉（強力粉：Commercial, Minnesota II-54-29, Pembina, Thatcher）よりタンパク質抽出速度が速いことを見出した。また、Bio-Gel P-150 を用いたゲルろ過分析で、ミキシングによる分子量変化を調べ、薄力粉はミキシングにより高分子区分が強力粉より増加することも見出した。これは、薄力粉はタンパク質間の凝集性が弱いことを示している。ここで、ファリノグラフについて説明する（図5）。小麦粉と水をミキサーでこねて、ミキサーの翼に加わる抵抗をダイナモメーターを用いて測定し、グラフに自記する装置で、小麦粉を一定の硬さになるようにこね上げ、更にこね続けるときの硬さの変化を測定する。これにより、小麦粉の吸水率、生地の形成速度、一定の硬さの持続性及び弱化の程度などが読み取れる²⁷⁾。

図5 ファリノグラムの各種の読み方（有山ら²⁷⁾）

Tsen ら²⁸⁾ は小麦粉のドウ物性の差異を SH 基、S-S 結合量の面から見出そうとした。尿素を含まない緩衝液中で測定した SH 基、S-S 結合を活性型として、尿素を含む場合の値を全 SH 基、S-S 結合量とした。その結果、活性型 SH 基は薄力粉ほど多い。活性型 SH 基／全 SH 基も高い値を示している。活性型 S-S 結合／全 S-S 結合は薄力粉の方が高くなる傾向を示した。薄力粉は活性型 SH 基、活性型 S-S 結合が多いために S-S 結合が開裂しやすくドウブレークダウン（ドウが弾力性を失って粘着性の強い状態になること）が起きやすいと考えられる。

Huebner²⁹⁾ は製パン性の異なる 5 種類的小麦品種のグルテニンを 2M 尿素 + 0.03M 酢酸に溶解させ NaCl を添加して、それらの凝集性を比較した。図 6 に示すように、製パン性の良い小麦；Ponca, Comanche (hard red winter), Selkirk, Lee (hard red spring) は、製パン性の悪い小麦；Red Chief (hard red winter) より凝集性が強いことを見出している。

Orth ら³⁰⁾ は小麦粉タンパク質中、どのタンパク質が製パン性に関与しているかを調べるため、カナダ西部の 4 地区で栽培した 26 品種から得た 104 種類的小麦粉について、Osborne の改良法³¹⁾ で、水溶性、塩溶性、アルコール可溶性、酢酸可溶性、残渣の 5 区分に分画し、これらの量とパン体積の関係を調べた。その結果、アルブミン、グロブリン、グリアジン量とパン体積には相関関係はなく、グルテニンとは負の相関関係 ($R=-0.86$, $p<0.01$) が、酢酸不溶性タンパク質とは正の相関関係 ($R=0.85$, $p<0.01$) があることを見出した。この研究により、

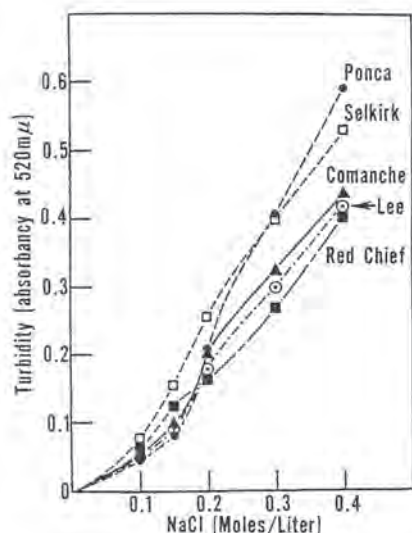


図6 Effect of sodium chloride concentration on absorbance of glutenins dissolved in 2M urea, 0.03M acetic acid.

HRS: Selkirk and Lee. HRW: Comanche, Ponca, and Red Chief (Huebner²⁹⁾)

製パン性との関係についてはグルテニン、酢酸不溶性タンパク質に絞られてきた。

Chung ら³²⁾ は製パン性の悪い小麦粉から抽出したグルテニンは、製パン性の良い小麦粉のそれよりも疎水性セファロースゲルとの結合性が弱いことを報告している。彼等は、グルテニンのドウ物性への寄与は疎水結合によるものであると提唱している。

Sapirstein ら³³⁾ はドウ物性の異なる7品種の小麦粉を50% 1-propanolを用いる新しい分画法により、単量体タンパク質、可溶性グルテニン、不溶性グルテニン、残渣タンパク質に分画した。ミキシング時間の長い小麦粉は不溶性グルテニンが多いことを見出している。

以上の多くの研究の結果、製パン性の良い又は、ドウミキシング時間の長い小麦粉は不溶性タンパク質多く、凝集性が強いといえる。

3. 小麦粉ドウの物性よりタンパク質の構造の推定

小麦粉ドウのミキシング特性は製パンにおける重要な因子の一つである。小麦粉ドウに酸化剤、還元剤、SH基修飾試薬などを添加して、小麦粉ドウ物性を調べ、グルテンタンパク質の構造を推定する研究は1930年代から始まり、ミキシング中におけるドウブレイクダウンのメカニズム解明については、主として1957年以降行われてきた^{34, 35, 36, 37)}。このテーマは、ほとんどの穀物化学者が試みた重要なも

のである。

Meredith ら³⁸⁾ は、ドウブレイクダウンは二種類の異なったメカニズムによって起ると推定した。その一つは物理的作用による共有結合と他の結合の開裂、他方は還元的、酸化的あるいは加水分解のような化学的反応による開裂によるものと考えられた。

Dronzek ら³⁹⁾ は¹⁴C-methacrylateを用いて、ドウミキシング中に、遊離ラジカルが生じることを確認した。

Schroeder ら⁴⁰⁾ は、フマル酸やフェルラ酸のような α , β 位に二重結合を持つカルボニル化合物は-SH基封鎖剤であるN-ethylmaleimide (NEMI)と同様な効果をドウ物性に与えることに注目し、そのメカニズムの解明を試みた。まず、小麦粉を水抽出して、グルテン+デンプン区分と水溶性区分に分画し、更に水溶性区分を透析物、非透析物などに分画して、ドウブレイクダウンに効果のある区分を調べた。その結果、非透析物に一番効果があることを見出した。この区分はFaush ら⁴¹⁾、Geissmann ら⁴²⁾が報告しているフェルラ酸を含んでいた。

Sidhu ら⁴³⁾ は、引き続きフマル酸によるドウブレイクダウンのメカニズムの解明を進めた。¹⁴C-フマル酸を用いて、ドウミキシング中での¹⁴C-フマル酸のグルテンタンパク質への取り込まれ方を調べた。その結果、高分子区分に¹⁴C-フマル酸が結合していることを見出した。この事実は、フマル酸は遊離のSH基とは反応しない⁴⁰⁾ので、ミキシング中に開裂したSS結合により生じた・S(ラジカル)とフマル酸が結合したことを示しているものと考えられ、これによりドウブレイクダウンが起る。フマル酸と結合したタンパク質を加水分解し、ペーパークロマトグラフィー、濾紙電気泳動、カラムクロマトグラフィーにより、S-succinyl-L-cysteineが形成されていることを確認している。更に、Hoseney ら⁴⁴⁾ は、リポキシゲナーゼのドウ物性への効果についての研究の中で、リポキシゲナーゼにより脂質に生じる遊離ラジカルは活性二重結合化合物と反応してドウ物性を安定化させること、また抗酸化剤が存在する場合はミキシングにより生じた・Sは抗酸化剤により消去されるので、活性二重結合化合物による反応はなくなり、ドウ物性は安定化すること、即ち、・Sと活性二重結合化合物を結合させないことによりドウブレイクダウンを抑えることが出来ることを報告している。これらの

研究により、グルテンタンパク質のSS結合はミキシングにより開裂して・S（ラジカル）が生じ、もし活性二重結合化合物が存在すれば、これと反応してドウブレイクダウンが起こるという考え方が一般的となってきた。

筆者ら⁴⁵⁾はドウのミキシング中で、NEMIと反応するキーSS結合（低分子化するのではなく、開裂することにより大きく構造変化を起こすSS結合）が存在すると考えた。ドウミキシングにより生じた・SラジカルはNEMIと反応する。この反応物を加水分解するとS-succinyl-L-cysteineが生じる。これらの反応を応用して、酢酸不溶性タンパク質とグルテン中のNEMIと反応するSS結合を有するサブユニット区分をS-succinyl-L-cysteineの分布により追究した。その結果、S-succinyl-L-cysteineは酢酸不溶性タンパク質、グルテンのそれぞれのF I 区分に、特に多く含まれていることが分り、これらの会合性サブユニットがドウ物性に重要な役割を果たしていると考えられる。

Gao ら⁴⁶⁾は還元剤Dithiothreitol (DTT) の添加量によりファリノグラフにおけるドウ物性変化とSDS-PAGE変化を調べた。図7に示すように、DTT (20 μ mol/小麦粉 50g) の添加で、ブレイクダウンが生じるが、SDS-PAGEでは、高分子サブユニットは変化しない。しかし、DTT (80~3,000 μ mol/小麦粉 50g) の添加では、量が多くなるにつれて、高分子サブユニットが明確に現れてくる。そこで、彼等は図8に示すようなグルテンのblockモデルを発表した。ドウブレイクダウンに深く関与するSS結合があり、これらが開裂すればドウブレイクダウンが起こるが分子量的には電気泳動分析では変化しない程度のものである。この説により、ドウブレイクダウン現象の諸々の疑問点が解明したように思われる。

VI 中華麵用粉

行列が出来るラーメン店などが、毎日のようにテレビで放映されている。このようにラーメンは人気のある食べ物である。これらの主役である中華麵を製造するには小麦粉の特性が重要となる。

その中華麵用粉に求められる品質特性⁴⁷⁾は、

- ①麵の食感が適度の弾力に富み、茹で伸びが遅いこと。

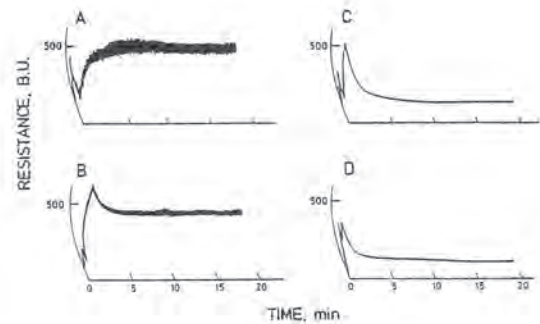


図7 Farinograph curves for partially reduced doughs.

A, Flour (50g) and water (control); B, control + 20 μ mol of dithiothreitol (DTT); C, control + 80 μ mol of DTT; D, control + 3,000 μ mol of DTT (Gao ら⁴⁶⁾)

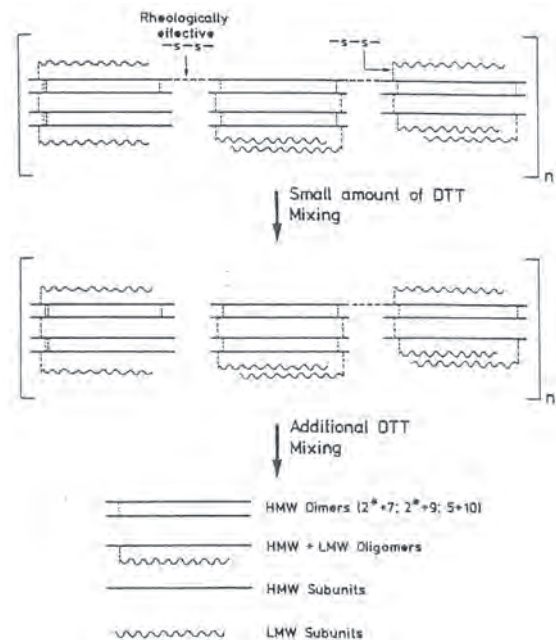


図8 A hypothetical model for the polymeric structure of glutenin and its breakdown upon exposure to increasing amounts of dithiothreitol (DTT).

HMW and LMW = High and low molecular weights, respectively. (Gao ら⁴⁶⁾)

- ②生麵が冴えた色合で、ホシが少なく、経時的な変色が少ないことである。ホシは小麦の粒溝の近くに存在する「色素繊維」と呼ばれる物質がアルカリ性のものと反応して発色する。

小麦の輸出国である米国、カナダ、オーストラリアでは、輸出拡大のため輸入国の要望に適うように小麦粉の品質特性と二次加工性との関係を解明し、小麦の品質改良に努めている。

1. 中華麵用粉の物理化学的性状

(1) オーストラリア小麦の中華麵特性

Ross ら⁴⁸⁾ はオーストラリアの 25 品種小麦からの小麦粉特性とアルカリ性麵（中華麵）特性との関係を調べた。アルカリ溶液（炭酸ナトリウム溶液）を用いたラピッドビスコアナライザー（RVA）と中華麵特性の関係については、麵の滑らかさと最終粘度とは負の相関（ $R=-0.69$, $p\leq 0.001$ ）、ブレイクダウンとは正の相関（ $R=0.53$, $p\leq 0.001$ ）があり、麵の硬さと最終粘度とは正の相関（ $R=0.65$, $p\leq 0.001$ ）、ブレイクダウンとは負の相関（ $R=-0.54$, $p\leq 0.001$ ）があり、麵の弾性と最終粘度とは正の相関（ $R=0.59$, $p\leq 0.001$ ）、ブレイクダウンとは負の相関（ $R=-0.56$, $p\leq 0.001$ ）があることを見出した。アルカリ溶液を用いた小麦粉膨潤度（小麦粉を炭酸ナトリウム溶液中に分散させ、92.5℃で糊化させた後、遠心分離して沈殿物の容積で表す）と麵物性との関係は、RVA のブレイクダウンと同様な関係を示すことを見出した。また、麵の滑らかさとタンパク質含量とは負の相関（ $R=-0.65$, $p\leq 0.001$ ）、麵の硬さとタンパク質含量とは正の相関（ $R=0.71$, $p\leq 0.001$ ）、麵の弾性とタンパク質含量とは正の相関（ $R=0.68$, $p\leq 0.001$ ）があることを報告している。

(2) 北海道産小麦の中華麵特性

中津ら⁴⁹⁾ は北海道内の主要な小麦 8 品種（秋まき小麦では、ホクシン、タイセツコムギ、ホロシリコムギ、キタノカオリ、きたもえ、チホクコムギ、春まき小麦では、春よ恋、ハルユタカ）について、麵帯の明るさ（ L^* ）とゆで麵の硬さ（切断抵抗値）の面から、中華麵への加工適性を評価した。麵帯の明るさ（ L^* ）は色彩色差計（ミノルタ社 CR-300）により測定した。麵帯の L^* は品種間差が大きく、タンパク質含量の高い春まき小麦では製麵後の L^* の低下が大きく、タンパク質含量の低いホクシン、タイセツコムギ、ホロシリコムギ、きたもえ、チホクコムギは L^* の低下程度は小さかった。一方、キタノカオリと市販中華麵用粉は春まき小麦と同程度のタンパク質含量にもかかわらず L^* の低下程度は小さい特徴を有していた。小麦粉の灰分量は L^* と有意な負の相関（ $R=-0.634$, $p<0.05$ ）が認められ、ゆで麵の抵抗値と小麦粉のタンパク質含量との間には高い正の相関（ $R=0.820$, $p<0.01$ ）が認められた。

(3) 温暖地向け中華麵用品種育成のための指標

藤田ら⁵⁰⁾ は、今後の温暖地向け中華麵用品種育成の基礎資料とするため、生地物性に影響を与える高分子グルテニンサブユニット組成やアミロース含量の異なる温暖地向け硬質小麦品種・系統を供試材料として、官能試験による中華麵適性の評価を行うとともに、タンパク質含量やファリノグラフ特性などの小麦粉特性を調査し、それらの関係から中華麵に適した小麦粉特性を検討した。

この報告は中華麵用品種育成の代表的研究の一つと思われるので、その一部を紹介したい。

表 2 に供試品種・系統のテストミル 60% 粉の特性を示した。PH はオーストラリア産プライムハード小麦で、比較材料として使用した。HMW-GS 5 + 10 は Payne ら⁵¹⁾ が報告している製パン性に関与する高分子グルテニンサブユニットである。

表 3 に色関連形質の相関係数を示した。中華麵の官能評価は、10 名の専門スタッフで行った。各項目（色、ホシ、食味、ゆで直後及び 8 分後の硬さ・粘弾性・なめらかさ）を 10 点満点（標準品を 7.0 点とする）で評価した。標準品の材料は市販の中華麵用粉（タンパク質含量 11.3%, 灰分 0.35%）を用いた。

表 3 に示すように、粉色 L^* と麵の色やホシとの間には有意な正の相関が認められた。

中華麵の色は小麦粉の色と同様にタンパク質含量と負の相関関係があるが、白粒種は同一のタンパク質含量でも明らかに色がよい傾向が認められた（図 9）。

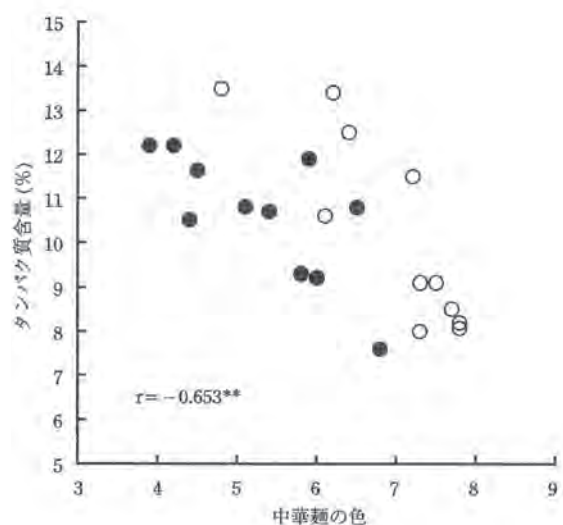


図 9 中華麵の色とタンパク質含有量の関係
○は白粒種, ●は赤粒種

(藤田ら⁵⁰⁾)

表2 供試品種・系統の60%粉の特性(藤田ら⁵⁰⁾)

年産	品種・系統名	産地	HMW-GS 5+10	粒色	タンパク 質含量 (%)	灰分 (%)	アミロース 含量 (%)	粉色 L*	ファリノグラム		
									Ab	DT	VV
2004年産	PH	輸入麦	—	白	13.4	0.48	28.4	88.8	66.0	7.8	73
	タマイズミ	茨城	無	白	11.5	0.42	28.6	87.7	62.0	3.2	53
	関東128号	茨城	無	褐	10.8	0.46	27.4	87.3	66.4	3.9	54
	関東130号	茨城	有	褐	11.9	0.46	28.8	87.4	64.0	9.2	75
	関東134号	茨城	有	白	12.5	0.44	20.9	87.6	66.8	8.9	77
	谷系RA4960	茨城	有	褐	12.2	0.51	19.0	85.1	70.3	3.4	51
	ニシノカオリ	三重	無	褐	9.3	0.53	28.4	87.5	65.8	3.3	50
	関東128号	三重	無	褐	7.6	0.50	27.7	88.5	61.7	1.9	44
	タマイズミ 化成肥料標肥	三重	無	白	8.0	0.47	29.8	88.6	60.9	2.7	42
	タマイズミ 化成肥料多肥	三重	無	白	9.1	0.45	29.7	88.3	61.8	2.4	48
2005年産	タマイズミ 石灰窒素	三重	無	白	9.1	0.44	29.5	88.4	61.7	2.5	51
	PH	輸入麦	—	白	13.5	0.53	28.3	88.4	69.8	7.5	70
	東山40号	茨城	有	褐	10.7	0.51	27.3	87.3	64.6	3.3	58
	谷系RA4959-2-1	茨城	無	褐	12.2	0.53	23.3	86.3	72.9	4.2	54
	谷系RA4959-2-2	茨城	有	褐	11.6	0.52	22.5	86.6	71.1	5.7	62
	ニシノカオリ	三重	無	褐	9.2	0.62	28.2	87.1	73.4	3.5	49
	関東128号	三重	無	褐	10.8	0.58	27.3	87.8	69.8	2.7	45
	関東130号	三重	有	褐	10.5	0.57	29.6	87.3	69.7	2.3	50
	関東134号	三重	有	白	10.6	0.61	20.2	87.5	74.2	2.5	46
	タマイズミ 化成肥料	三重	無	白	8.1	0.56	30.1	88.8	63.3	1.5	37
	タマイズミ 石灰窒素標肥	三重	無	白	8.2	0.58	30.4	88.5	65.7	1.8	42
	タマイズミ 石灰窒素多肥	三重	無	白	8.5	0.57	28.5	88.3	66.0	2.3	44
	平均				10.4	0.52	27.0	87.7	66.7	3.9	53
	標準偏差				1.80	0.06	3.43	0.90	4.12	2.34	11.32

表3 色関連形質の相関係数(藤田ら⁵⁰⁾)

	タンパク 質含量	灰分	粉色L*	中華麵 評価①色
灰分	−0.247			
粉色L*	−0.364	0.062		
中華麵 評価①色	−0.653**	−0.207	0.556**	
中華麵 評価②ホシ	−0.543**	−0.072	0.476*	0.878**

* は5%, ** は1%水準で有意。

表4 食感関連形質の相関係数(藤田ら⁵⁰⁾)

	タンパク質 含量	アミロース 含量	ファリノグラム			切断応力	
			Ab	DT	VV	ゆで直後	ゆで8分後
アミロース含量	−0.489*						
ファリノグラム Ab	0.445*	−0.603**					
ファリノグラム DT	0.766**	−0.255	0.143				
ファリノグラム VV	0.814**	−0.258	0.117	0.963**			
切断応力ゆで直後	0.711**	−0.671**	0.298	0.472*	0.558**		
切断応力ゆで8分後	0.725**	−0.482*	0.211	0.605**	0.702**	0.935**	
③食味	0.302	0.151	−0.439*	0.590**	0.650**	0.315	0.493*
④ゆで直後硬さ	0.366	0.257	−0.284	0.463*	0.549**	0.384	0.559**
⑤ゆで直後粘弾性	0.453*	−0.208	−0.143	0.495*	0.547**	0.433*	0.417*
⑥ゆで直後なめらかさ	0.265	−0.477*	−0.200	0.228	0.239	0.399	0.272
⑦ゆで8分後硬さ	0.473*	0.014	−0.191	0.519*	0.614**	0.508*	0.652**
⑧ゆで8分後粘弾性	0.566**	−0.317	−0.021	0.536**	0.638**	0.677**	0.736**
⑨ゆで8分後なめらかさ	0.420*	−0.227	−0.353	0.467*	0.528**	0.558**	0.572**
食感合計 (③~⑨)	0.502*	−0.094	−0.261	0.576**	0.665**	0.571**	0.670**

* は5%, ** は1%水準で有意。

表 4 に中華麺の食感関連形質と小麦粉特性の相関関係を示した。中華麺評価で重要な「ゆでのび」の指標とされるゆで 8 分後の硬さ、粘弾性および食感総合（色とホシを除く合計）はタンパク質含量、ファリノグラムの DT（生地形成時間）、VV²⁷⁾（パロリメーターバリュー：装置に付属する測定板を用いて読み取る数値で、大体の目安としては強力粉は 70 以上、薄力粉は 30 以下といわれている）、ゆで 8 分後の切断応力と高い正の相関関係が認められた。アミロース含量は、ファリノグラムの Ab（吸水率）、切断応力と相関が認められたが、食感ではゆで直後のなめらかさとのみ相関があった。

図 10 にファリノグラムの VV と中華麺の硬さ（ゆで 8 分後）の関係を示した。VV が大きくなると、ゆで 8 分後の麺は硬く、ゆでのびしにくくなる傾向が認められ、VV が 50 以上では 8 分後の硬さが 5.3 以上と高かった。また、生地物性を強くする HMW-GS 5 + 10 を持つ品種・系統は、その効果により VV が高い傾向が認められ、ゆで 8 分後の硬さも高い傾向があった。

(4) 中華麺の変色とポリフェノールオキシダーゼ

Zhao ら⁵²⁾ は 24 種類 の Kansas Hard Winter 小麦を用いて、小麦粉特性と中華麺特性の関係を調べた。生麺の明るさは、タンパク質含有量とポリフェ

ノールオキシダーゼ（PPO）活性が増加すると減少することを確認した。小麦粉のタンパク質含有量は 11 ～ 12% 位が、麺の色、滑らかさの面から見て適当であると報告している。

Marsh ら⁵³⁾ は一般ミルとテストミルの全粒粉、ふすま、胚芽、市販粉中の PPO 活性を測定した。ふすまの活性が一番強く、次に全粒粉で、市販粉は比較的低く、胚芽には活性が見られなかった。PPO の最適 pH は 6 ～ 7 であり、また 60℃、5 分間で活性の 50% は失活することを見出した。

Hatcher ら⁵⁴⁾ は 5 品種のカナダ産小麦をパイロットミルで製粉して、それぞれの上り粉中の PPO 活性を測定した。その結果、PPO 活性は灰分含量、CV（カラーバリュー：小麦粉のペーストを 530nm の単波長で反射率を測定した値、数値が低いほど色がよい）と正の相関があることを見出した。例えば、前者については、Katepwa 品種では $R=0.96$ ($p<0.001$)、後者については、 $R=0.93$ ($p<0.001$) であった。

伊藤ら⁵⁵⁾ は北海道の硬質小麦の品種・系統について中華麺色と PPO 活性の関係を調査するとともに、海外においてすでに利用されている PPO 活性の簡易評価法が国内での硬質系統選抜に適用できるかどうかを検討した。供試材料は北海道で育成された硬質小麦品種 2 点（キタノカオリ、ホロシリコムギ）、北海道農業研究センター育成の硬質小麦系統 12 点、外国産小麦銘柄 3 点（No.1 カナダ・ウエスタン・レッドスプリング小麦、アメリカ産ハード・レッド・ウインター小麦、オーストラリア・スタンダード・ホワイト小麦）、分譲・購入により小麦粉として入手した 3 点（ホクシン、アメリカ産ダーク・ノーザン・スプリング小麦、中華麺用市販粉）の計 20 点を用いた。その結果の一部を紹介する。

表 5 に小麦粉の成分と 0 時間、72 時間後の中華麺生地色及び 72 時間後の変化量との相関関係を示した。生地作成直後の中華麺生地色はいずれの成分とも有意な相関は認められなかった。一方、生地作成 72 時間後の中華麺生地色を見ると、 L^* (72 h) はタンパク質含量及び酸素電極法による PPO 活性値との間に高い負の相関が認められ、 a^* (72 h) はこれらの 2 成分との間に正の相関が認められた。これらの結果から、タンパク質含量が多く、PPO 活性が高い小麦粉の生地は、72 時間保存後の色が暗く赤みがかっていることが示された。 L^* (72 h) 及び a^* (72 h) は灰分含量とも相関が認められたが、

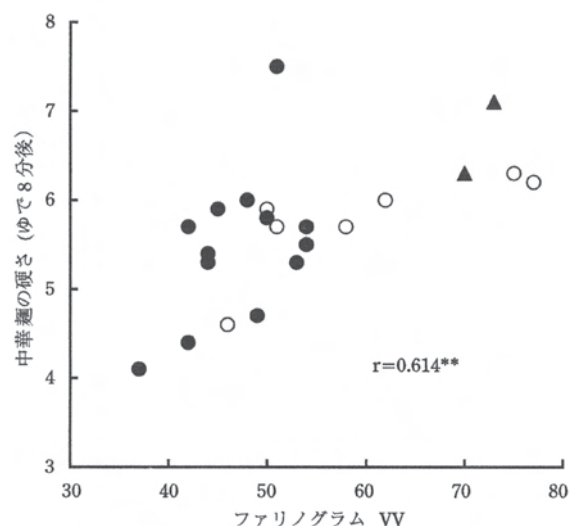


図 10 ファリノグラム VV と中華麺の硬さ（ゆで 8 分後）の関係

▲：PH

○：HMW-GS5+10 を持つ品種・系統

●：HMW-GS5+10 を持たない品種・系統

(藤田ら⁵⁰⁾)

表 5 小麦粉の成分と生地作成直後 (0h), 72 時間後 (72h) の中華麺生地色及び 0 ~ 72 時間後の変化量と相関係数 (n=20) (伊藤ら⁵⁵⁾)

	灰分 (%)	タンパク質含量 (%)	PPO活性 (nmolO ₂ min ⁻¹ g ⁻¹)
L* (0hr)	-0.31	-0.35	-0.24
a* (0hr)	-0.37	-0.09	-0.30
b* (0hr)	0.22	-0.13	0.06
L* (72hr)	-0.54*	-0.79***	-0.69***
a* (72hr)	0.49*	0.67**	0.71***
b* (72hr)	-0.18	-0.46*	-0.29
Δ L* (0-72hr)	0.55*	0.84***	0.76***
Δ a* (72-0hr)	0.67**	0.64**	0.81***
Δ b* (72-0hr)	-0.53*	-0.43	-0.46*

*, **, *** は各々 5, 1, 0.1% 水準で有意であることを示す。以下の図表も同様。

L*, a*, b*, は各々明るさ, 赤み, 黄色みを示す。

L* (0h), a* (0h), b* (0h) : 作成直後の生地の明るさ, 赤み, 黄色み

L* (72h), a* (72h), b* (72h) : 作成 72 時間後の生地の明るさ, 赤み, 黄色み

Δ L* (0-72h) : 72 時間後の L* の減少量

Δ a* (72-0h), Δ b* (72-0h) : 72 時間後の a*, b* の増加量

他の 2 成分に比べ、相関関係は低かった。生地色の 72 時間後の変化量についてみると、Δ L* (0-72 h) タンパク質含量及び PPO 活性値との間に高い正の相関が認められたが、灰分含量との相関関係は低かった。Δ a* (72-0 h) はいずれの成分との間にも高い正の相関が認められたが、特に PPO 活性との相関関係が高かった。このことから、タンパク質含量が高く、特に PPO 活性が高い小麦粉の生地は、明るさの低下の程度及び赤みの増加の程度が大きいことが示された。Δ b* (72-0 h) はいずれの成分との間にも高い相関は認められず、PPO 活性は保存中の中華麺色の変化に最も大きく影響していた。(L* は数値が高いほど生地色が明るいことを、a* は数値が高いほど赤みが強いことを、b* は数値が高いほど黄色みが強いことを示す)。

PPO 活性については、酸素電極法による PPO 活性値 (従来法) と L-DOPA (3,4-Dihydroxy-L-phenylalanine) 法による PPO 活性値の間には高い正の相関 (R=0.82, p<0.001) が認められ、L-DOPA 法により、小麦種子の PPO 活性を簡便に評価できることが明らかになり、中華麺の変色が少ない系統の選抜が可能になったと考えられる。

PPO の最適 pH は、Interesse ら⁵⁶⁾ の研究では

5.3, 6.9 であり、Kihara ら⁵⁷⁾ の報告では 4.5 であり、精製酵素は pH 8 では 30% 程度の活性を示した。

中華麺生地は炭酸ナトリウム、炭酸カリウムの組合せによるカン水を使用した場合、その pH は 7.7 ~ 10.3⁵⁸⁾ である。このアルカリ状態で、PPO 活性はかなり減少していると考えられる。

2. カン水の役割

一般的に、中華麺製造時にはカン水を用いる。これにより特有の食感、色、香り (アルカリ臭) のある中華麺を作ることが出来る。市販のカン水は炭酸ナトリウム、炭酸カリウム、リン酸ナトリウム、リン酸カリウムの組合せで作られている。

3. 食感への影響

小麦粉生地中では、グルタミン酸、アスパラギン酸の大部分はアミド態となっているので、カルボキシル基は解離せずタンパク質間には水素結合で結ばれている。しかし、中華麺生地では、アルカリ性となるので脱アミド化されてカルボキシル基は解離して -COO⁻ となる。これらが生地中の Ca²⁺, Mg²⁺ と架橋構造を形成して弾力性が増すと考えられる。齋藤ら⁵⁹⁾ はカン水などのアルカリ塩を添加してパン生地を pH8 以上にし、酵母の発酵作用により生じる炭酸ガスなどの中和作用で、pH が 6 ~ 7 程度の中性となるまで発酵させた後、焼成することで薄力粉、中力粉などの製パン性を高める方法を見出した。

Terada ら⁶⁰⁾ はアルカリ性でグロブリンが重合することを見出した。

4. 色

小麦粉に含まれるフラボノイド色素がカン水のアルカリ性で黄色に発色したものである⁵⁸⁾。

5. アルカリ臭

グルテン (グルテニン, グリアジン) のグルタミン酸、アスパラギン酸の大部分はアミド態となっている。これらのアミド態窒素がアルカリ性下で脱アミドされ、遊離したアンモニアによるものと思われる。

VII うどん用小麦粉

我国の小麦生産量は昭和 36 年 (1961 年) の 180 万 t を最高にして減少し始め昭和 48 年 (1973 年)

の約20万tまでに減少した。その後、水田利用再編対策等の施策が講じられ2006年では約80万tまでに回復した。この間、うどん用粉の需要を満たすために外国産の原料小麦の探索が行われ、オーストラリア産のオーストラリアン・スタンダード・ホワイト小麦（ASW）がうどん用に最適であることが見出された。うどんの色はクリーミーホワイトで食感はモチモチ性であり、日本人のうどんに関する評価基準を変えてしまったように思われる。

おいしい“うどん”の一般的な特性⁶¹⁾としては、

- ①めんの色調が明るく冴えたもの。
- ②ソフトで適度の歯ごたえがある。
- ③表面がなめらかでざらつかない。
- ④ボソつかず切れにくい。

の条件が満たされていることである。

1. うどん用粉の物理化学的性状

ゆでめんの食感は官能検査の最重要項目である。“ソフトで適度の歯ごたえ”とは粘弾性があることで、モチモチ性とも表現されるものである。これにはグルテンの性質も関与しているが、デンプンの性質が重要な因子であることが明らかになってきた。

Nagao ら⁶²⁾は種々なソフト小麦の性状を調べ、ASWのアミログラフでの糊化開始温度が他の小麦より相対的に低いことを見出した。これがうどんの粘弾性に寄与している因子の一つであると推定した。

Oda ら⁶³⁾はうどん適性のよい小麦の評価法を検

討し、アミログラフのD値（ブレイクダウン）が高く、T値（最高粘度到達時間）が低く、またアミロース含量が少ない（アミロペクチン含量が多い）小麦はうどん用に適していることを見出した（図11、表6）。

Toyokawa ら⁶⁴⁾はうどんの品質に最も大きな影響を与えていると考えられる小麦粉成分と、またASWとSW（soft white winter）、Club（white club）のうどん特性における成分機能差異を見出すことを試みた。ASWに比べSWのうどんは色では優れていたが、粘弾性や硬さにおいては劣っていた。SWのうどんは弾力のない硬さ（もろさ、さくさく感）であった。Clubのうどんは、食感が最も劣っていた。

そこで、市販うどん用粉とASW、SW、Clubのテストミル60%粉を各成分に分画し、市販うどん粉をベースにして、ASW、SW、Clubの各成分と入れ替え再構成粉を調製して製麺テストを行った。その結果、ASWのプライマリースターチとテーリングスターチの入れ替えで、粘弾性が改良された。また、プライマリースターチはテーリングスターチよりも食感に大きく影響していることが分った。プライマリースターチとはデンプン乳を遠心分離した時の下層の白色部をいい、テーリングスターチは上層の灰褐色部をいう。次に、Toyokawa ら⁶⁵⁾は各小麦のデンプンの物理化学的性状（粒度分布、保水力、アミロース量）とうどんの品質の関係を調べた。各小麦のデンプンの粒度分布には差は見られなかつ

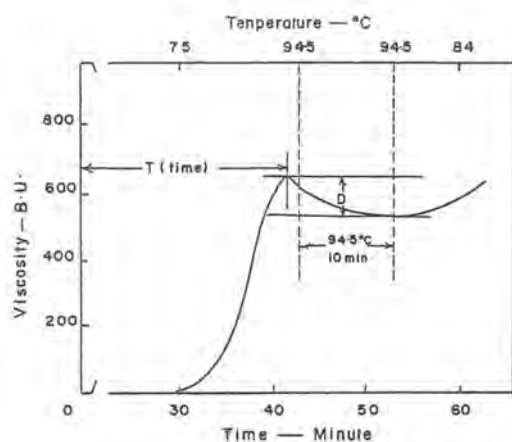


図11 Illustration of measurements taken from a typical amylograph chart.

T=time (min) to peak height of the curve,
D=difference (BU) between peak viscosity and viscosity after holding at 94.5°C for 10 min.

(Oda ら⁶³⁾)

表6 Correlation Coefficients Among Variables
(Oda ら⁶³⁾)

	Starch Amylogram Values		Flour Content	
	D ^a	T ^b	Amylose	Protein
T	-0.839** ^c	...	...	...
Amylose content	-0.870**	+0.825* ^d	...	...
Protein content	-0.406	+0.556*	+0.686	...
Eating quality	0.851**	-0.844**	-0.854**	-0.448

^aD=Difference between peak viscosity (BU) and viscosity after holding at 94.5°C for 10 min.

^bT=Time (min) to peak height of curve.

^c**=Significant at 1% level.

^d*=Significant at 5% level.

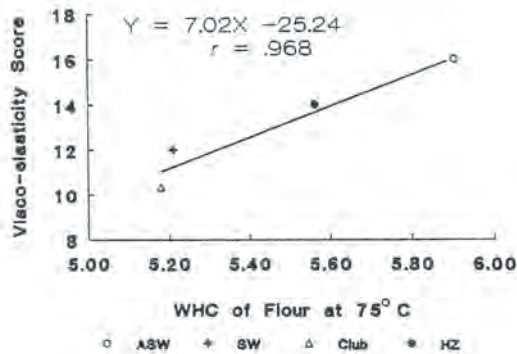


図12 Plot of the viscoelasticity score of cooked noodles vs. water-holding capacity (WHC) at 75°C.

Statistically significant at $P < 0.001$. Hoshizora (HZ), Australian standard white (ASW), soft white (SW), and white club (Culb). (Toyokawa ら⁶⁴⁾)

た。これにより、食感の差は粒度以外にあると思われる。図12に示すように、保水力とうどんの粘弾性の食感とは高い相関があり、また、アミロース量が増えると保水力が減少し（図13）、食感は弾力のない硬さが増加した。

以上のように、75°Cにおけるデンプン保水力がうどんの食感に大きく影響していることが分る。Crossbie ら^{66, 67)} もデンプンの保水力がうどんの食感に関係していることを確認している。

Shibanuma ら⁶⁸⁾ はデンプンの構造面から麺適性について研究した。内麦のチホク、ホロシリ、農林61号とASW, WW（アメリカ産ウエスタン・ホワイト小麦）を用いて、それらのアミロース含量、アミロース、アミロペクチンの構造等の差異について調べた。その結果、麺適性に優れているASW、チホクはアミロース含量が低く、又それらのアミロースの分子は短い側鎖を多く有する構造をしていることを見出した。

2. アミロペクチン含量とモチモチ性

ASWを原料としたうどんの食感はモチモチ性があり、日本人の嗜好性に一致したので、現在のうどん用原料として定着したことは前述の通りである。ASWのモチモチ性の主要な発現要因はアミロペクチン含量であることも前述した。

アミロペクチン含量の比率が高いデンプン粒は、糊化温度が低く、粘度（膨潤度）は高く、保水力も高く、老化しにくい性質がある。

老化速度の遅い順は、ワキシーコーンスターチ>

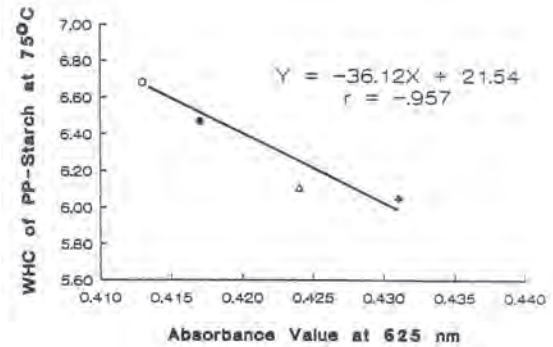


図13 Plot of the water-holding capacity (WHC) of the purified primary starch vs. the amylose content expressed as absorbance at 625 nm.

Statistically significant at $P < 0.05$. Hoshizora (HZ), Australian standard white (ASW), soft white (SW), and white club (Culb). (Toyokawa ら⁶⁴⁾)

タピオカデンプン>ジャガイモデンプン>小麦デンプンであることが知られている。これらの一部はうどんの食感改良材として使用されている。例えば⁶⁹⁾、ワキシーコーンスターチは最もソフト感があり、のどこし、つるつる感に優れている。また、タピオカデンプンはワキシーコーンスターチに似ているがゴム感のある強い弾力性を呈する。ジャガイモデンプンも硬さのあるプリプリしたテクスチャーを示す。

鈴木ら⁷⁰⁾ はタピオカデンプン、ジャガイモデンプン、クズデンプンの分子構造と老化性の関係を調べた。その結果、老化性が低い順はタピオカ>ジャガイモ>クズであった。それらのアミロースの老化性の低い順もタピオカ>ジャガイモ>クズであった。アミロペクチンについては、老化性の低い順はクズ>タピオカ>ジャガイモであった。

3種のデンプン中では、最も老化しにくいと評価されているタピオカデンプンは老化性を支配するアミロースの老化性が低いことと、アミロペクチンも老化しにくいクズデンプンのものに近い性質を示すこと、即ち、デンプンを構成する2成分とも老化性の低いことに起因すると結論づけている。クズデンプンは3種のうちでは、アミロースの老化性が他の2種に比べて顕著に大きい、アミロペクチンの老化性は逆に最も小さいことが特徴である。ジャガイモデンプンは、アミロペクチンの老化性が高いことが特徴であった。

そこで、それぞれの構成分子の分子構造と老化性を調べている。

アミロースの老化性を比較すると、クズ>ジャガイモ>タピオカの順に老化性が高い。この順位は重量平均重合度の小さい順と一致し、重合度が数千の高分子のアミロースでは、重合度の大きい分子ほど老化性が低いことを示唆している。長鎖状の分子が不規則コイルのような状態にあると規則的に配向して結晶構造をとることが小さい分子より困難なためであると考えられる。

タピオカデンプンのアミロースの老化性が低い理由に、分岐度がジャガイモのそれより大きいことも考えられる。

アミロペクチンについては、ジャガイモのアミロペクチンの平均鎖長がクズとタピオカのものより、2.8 残基長いことが見出された。アミロペクチン分子では、単位鎖長の長いものほど老化しやすいと考えられる。最も老化性の低いタピオカデンプンはアミロース、アミロペクチンともに老化性の低い分子であった。

3. うどん用小麦の育種

内麦の育種面では、うどんの色、食感に重点が置かれ研究が進められている。

(1) めんの色調を中心に

めんの色調が明るく冴えるという特性値はめんの官能検査の重要な評価項目の一つである。

ASW から調製したうどんの色（明るく冴えたクリーム色）が標準的なうどんの色と考えられている。うどんの色に関する研究はあまり進展していないが、胚乳および種皮の色、種皮の脆弱性の程度、ポリフェノール・オキシダーゼ（PPO）活性の強弱、PPO の基質の多少などが関与していると考えられる⁷¹⁾。

めんの色調を色差計の L 値、a 値、b 値で表すことが出来る。辻ら⁷²⁾ は小麦粉ペースト色の L 値が高く（明度が高い）、a 値が低く（くすみが少ない）、b 値が高い（黄色みがある）ものを選抜することで、色調が明るい冴えた小麦の育種選抜が出来る可能性を見出した。

瀬古⁷³⁾ は色差計の L 値により白粒種の ASW、赤粒種の農林 61 号、農研センター育種の白粒系統の小麦粉の色相を比較した。その結果、ASW、白粒系統小麦は農林 61 号に比べて明らかに L 値が高く、小麦粉の色が明るいことを確認した。また、小麦粉

からデンプンを洗い出したあとのグルテンの色相も農林 61 号は ASW に比べて、くすんでおり色相が劣ることを見出している。このことから小麦粉およびめんの色相の改良には ASW のような白粒品種を育成することが近道であると考えられるが、白粒品種は赤粒品種に比べて穂発芽耐性が明らかに劣ることから我国では問題が多い。

(2) めんの食感を中心に

前述したように、めんのモチモチ性はアミロペクチン含量に大きく影響される。

ここでは、もち小麦の作出について述べる。

山口⁷⁴⁾ のもち小麦の開発に関する解説の一部を紹介する。農研センターで育成（昭和 59 年）された「関東 107 号」はめんの食感が優れた系統として注目されていた。その後、「関東 107 号」のアミロース含量が低いことが分り、食感の優れた品種改良の母本として各育成地で利用された。

九州農業試験場ではチクゴイズミ、ニシホナミが育成された。農研センターではアミロース含量のさらなる変異拡大をめざして、「関東 107 号」に突然変異処理（EMS）を行い、アミロース含量がさらに低い系統「谷系 A6099」を選抜した。これに食感が優れている「西海 168 号」（後の「きぬいろは」）と交配し、これに半数体育種法を適用して得た遺伝的固定系統より「もち谷系 H1881」（後の「あけぼのもち」）と「もち系 H1884」（後の「いぶきもち」）の 2 系統を選抜した。一方、東北農試では 3 種類のゲノムのもち性遺伝子により生産される Wx タンパク質（アミロースを合成する酵素）を識別する方法を開発し、「関東 107 号」は、そのうちの 2 種のタンパク質 Wx-A1 および Wx-B1 を欠き、そのためにアミロース含量が低いことを明らかにした。もう 1 種のタンパク質 Wx-D1 を欠く品種を農業生物資源研究所に保存中の 2000 点近い小麦品種、系統から「白火」という中国の品種を見出した。これを「関東 107 号」と交配して、もち性個体「もち盛系 C-D1478」（後の「はつもち」）と「もち盛系 C-D1479」（後の「もち乙女」）の 2 系統を選抜した。農研センターと東北農試は手法は異なるが、いずれも「関東 107 号」を用い、平成 7 年に世界に先駆けてもち性小麦系統を選抜した。

このように、もち性小麦系統が作出されたことにより、これらを母体とすることにより、アミロース

含量の種々な小麦の作出が可能となる。また、各地に適した品種の作出も可能になり、従来の小麦粉とは異なった特徴ある小麦粉の製造も可能になる。例えば、「もち姫」^{75, 76)}は「はつもち」の寒雪害に弱くて、収量が低く、製粉歩留が低いなどの欠点を改善し、東北地域での栽培に適するもち性小麦として作出された。

4. 登熟温度による小麦アミロペクチンの構造変化

農研センター⁷⁷⁾では、春小麦品種である農林3号、農林29号、ハルヒカリ、ハルユタカを用いて登熟温度の変化によるアミロペクチンの側鎖長の変化を調べた。その結果、登熟温度が低い場合にアミロペクチンの側鎖の短いもの（グルコース重合度：DP 6-12）が多くなり、糊化温度が低く、糊化時の吸熱エネルギー量も小さくなることを明らかにした。

5. ゆでめん表面の微細構造

佐藤ら⁷⁸⁾は、米で認められた関係がゆでめんでも認められるを明らかにするため、国産小麦7品種・系統およびASWを供試して、ゆでめん表面の微細構造をSEMで観察した。その結果、ゆでめん表面の網目状構造のきめ細かさが粘弾性と関係している可能性が示唆された。

VIII ケーキ用粉

ケーキ用粉に求められる品質特性⁷⁹⁾は、ケーキの体積が大きく、きめ細かくてソフトな内相になるために、

- ①タンパク質量が少なく、その質がソフトであること。
- ②デンプンの糊化特性が菓子に向いていること。
- ③ α -アミラーゼ活性が低くアミログラム粘度が正常であることである。

1. ケーキ用粉の物理化学的性状

Nagaoら⁶²⁾は、米国（Soft white, White club, Soft red winter）、オーストラリア（Victoria soft, Victoria F.A.Q., Western Australia F.A.Q.）、フランス、日本産のソフト系小麦について、スポンジケーキ、クッキー、うどんの加工適性などを調べた。その結果、スポンジケーキ品質はWhite club = Soft red winter > Soft white > フランス = 日本 > Victoria

soft > Victoria F.A.Q. > Western Australia F.A.Q. であった。

クッキー品質はSoft red winter > White club > Soft white > フランス = 日本 > Victoria soft > Victoria F.A.Q. > Western Australia F.A.Q. であった。うどん品質はWestern Australia F.A.Q. = 日本 > Soft white = White club = Victoria F.A.Q. = フランス > Soft red winter = Victoria soft であった。糊化開始温度はWestern Australia F.A.Q. > Victoria F.A.Q. > Soft white の順に低かった。なお、1974 / 75 穀物年度からF.A.Q. (Fair Average Quality) 小麦という名称を「オーストラリア・スタンダード・ホワイト (Australian standard white, 略称 A.S.W.) 小麦」に変わった⁸⁰⁾。

Odaら⁶³⁾もASW (WA) > No.61 > WW の順に糊化開始温度が低いことを報告している。WAはウエスタン・オーストラリア産の略称である。Toyokawaら⁶⁵⁾は保水力 (75℃) について、ASW > Soft white > White club の順に大きいことを見出しいる。これらの糊化性状が二次加工に大きく影響していると考えられる。

2. スポンジケーキの組織形成

水越⁸¹⁾はケーキ製造をコロイド科学的に研究した。その中で、スポンジケーキの組織形成に関しては光学顕微鏡、偏光顕微鏡、走査型電子顕微鏡観察を行った。ケーキ生地には数十から数百 μ mの直径を有する無数の気泡が存在する。その気泡間のすき間に数十 μ mの大きさの偏光十字を示すデンプン粒子に起因する小麦粉粒子がびっしりと存在し、さらに油脂や卵黄の乳化粒子も存在することを認めている。このスポンジケーキ生地は焼成工程で、糊化デンプンと熱凝固タンパク質により個体泡に変換されてスポンジ状構造になる。25℃の加熱前のケーキ生地中には、小麦粉中に存在するデンプン粒の特徴を示す偏光十字が明確に観察される。ケーキ生地が加熱されて、約79℃まではほとんど変化が認められないが、79～88℃の範囲で偏光十字が急激に消失した。これは小麦粉中に含有されるデンプンの糊化現象である。その後、ケーキ生地中に存在する卵タンパク質、小麦タンパク質の熱変性による不溶化、凝集現象が引き続き誘発されてケーキ組織が形成されていくことを明らかにした。

川染⁸²⁾はパタースポンジケーキのテクスチャー

に関する研究で、卵黄がバタースポンジケーキの気泡形成に寄与していることを透過型電子顕微鏡観察により組織学的に解明した。

藤井ら⁸³⁾は小麦デンプンで調製したスポンジケーキの特性について検討した。小麦デンプンのケーキは小麦粉ケーキに比べ、ケーキの内相のきめの均一性と細かさおよびスポンジの柔らかさの点で勝り、表面の色調とフレーバの点で劣るという結果を示した。また、デンプンケーキは弾性に乏しく、脆い性質を示した。

スポンジケーキバターはオープン内で膨張し、焼成後期で若干収縮し、気泡が固定されるがオープンから取り出すとスポンジケーキは大きく収縮する。藤井ら⁸⁴⁾は、この膨張と収縮のメカニズムをデンプンの糊化性状から解明することを試みた。図 14 に示すように、小麦粉スポンジケーキは平で、そのケーキ体積は 1145ml、小麦デンプンスポンジケーキの形状はほぼ平で体積は大きく 1423ml、タピオカデンプンスポンジケーキは中央部がかなり落ち込んだケーキとなり体積は小さく 1099ml となった。

小麦デンプンとタピオカデンプンの糊化性状は表 7 に示すように、タピオカデンプンは小麦デンプンに比べて糊化開始温度と最高粘度時の温度が低く、最高粘度が著しく高く、ブレイクダウン値が高いことが分る。これらの糊化性状がケーキバター中で、どのような特徴ある挙動を示すかを観察している。小麦デンプンの糊化性状は、ブレイクダウン値が小

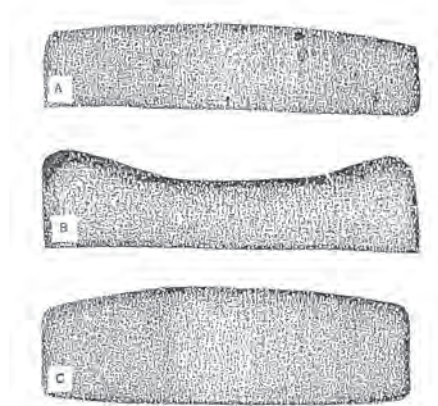


図 14 Section of the sponge cakes made from wheat flour or various starches.

A: wheat flour cake
B: tapioca starch cake
C: wheat starch cake

(藤井ら⁸⁴⁾)

表 7 Data of Amylogram (藤井ら⁸⁴⁾)

	T_1 (°C)	maximum viscosity (BU)	T_2 (°C)	Break down (BU)
Wheat starch	76.5 ⁽¹⁾	240	93.5 ⁽²⁾	—
Tapioka starch	61.5 ⁽¹⁾	935	72.5 ⁽²⁾	465

8% Tapioka starch or wheat starch suspension

(1) Temperature at which gelatinization begins

(2) Temperature maximum viscosity

さく、従って粒子構造が強く、しかも比較的粘度の低い糊化状態であるために、固定化しやすいと考えられる。しかし、タピオカデンプン粒子は糊化が比較的低温で起り、粒子の壊れやすい状態で強い粘性を持つため強固な固定化が望めないと考えられる。そのためタピオカデンプンケーキ内において、気泡膜の周囲に分散しているタピオカデンプンの糊化状態が粘質であるために、気密性が高くなり気孔壁に包まれているガスが膨張するのに伴って気泡は大きく膨張する。この気密性が保たれた状態で冷却されるので、ケーキは収縮すると考えられる。

Ohtsubo ら⁸⁵⁾はスポンジケーキの窯落ち防止法として、窯だし直後に 10cm 位の高さからスポンジケーキを落としてショックを与える方法を見出した。これはスポンジケーキの気泡膜に亀裂を起こさせスポンジケーキ内圧と外圧を等しくすることで、窯落ちが防止出来るのである。この方法は食パンにも有効で、広く実用化されている。

水越⁸¹⁾はスポンジケーキの砂糖含量が 160% 以上において、明らかに窯落ち現象が起こることを見出した。スポンジケーキ生地 of 剛性率と窯落ち量には負の相関 ($R = -0.972$) があった。即ち、剛性率が小さい程、窯落ちしやすいという結論に達している。剛性率が小さいことは、ゲル構造が弱いことを反映するので、窯落ちが発生しやすい。窯落ち防止策として、剛性率を上昇させるケーキ原料である小麦粉、固形脂、乳化剤を増量するか、あるいは剛性率を低下させるケーキ原料である砂糖、液体油、水量を減少することが有効な方法であると報告している。

Ⅹ クッキー用粉

クッキー用粉に求められる品質特性⁸⁶⁾は、食べ口がソフトなクッキーになるために、

①厚さが適当で広がりが大きくなること。

②表面のひび割れがある程度大きくたくさん出来ること。

Wada ら⁸⁷⁾ はデンプン糊化特性がクッキーの品質におよぼす影響を調べるため、糊化特性の異なるワキシーコーンスターチとハイアミロースコーンスターチを用いて単純化した配合でモデルクッキーを調製し、物性測定と官能検査により評価した。その結果、ワキシーコーンスターチクッキーはハイアミロースコーンスターチクッキーに比べ、垂直方向に大きく膨化し、スプレッド（広がり）性は悪く、硬かった。ハイアミロースコーンスターチクッキーは顕著なショートネス（サクサク感）を示した。示差熱分析と走査型電子顕微鏡観察からワキシーコーンスターチの粒子はクッキー中で一部糊化し、これによる連続構造がクッキーを膨化させ、最終製品を硬いものにしてしていると推察している。

スプレッド性が高く、ショートネスのあるクッキーを作るには糊化温度が高いデンプンあるいはデンプンの糊化を抑制させる添加物を使用することが重要であると考えられる。

Yamazaki⁸⁸⁾ は小麦粉のアルカリ水保持力（小麦粉の炭酸水素ナトリウム溶液保持力、即ちデンプンの膨潤度を表す）とクッキーの直径との間に負の相関 ($R=-0.847$, $p<0.001$) を見出している。これは上記の Wada ら⁸⁷⁾ の研究を裏付けるものである。

X あとがき

小麦粉に関する文献の一部の紹介であったが、各人が抱えている品質改良、新製品開発の何かのヒントが隠されているのではないと思われる。素朴な疑問の解決への緒になれば幸である。

引用文献

- 1) Blish, M. J. (1924): Cereal chemistry of today, Cereal Chem. **1**, 1-6
- 2) 長尾精一 (1998) : 世界の小麦の生産と品質—上巻—小麦の魅力, 輸入食糧協議会事務局 pp. 65
- 3) 長尾精一 (1998) : 世界の小麦の生産と品質—下巻—各国の小麦, 輸入食糧協議会事務局 pp. 147-149
- 4) 食糧統計年報 (平成19年度) : 農林水産省総合食料局資料
- 5) Noguchi, G. *et al.* (1976): Correlation of dough stickiness with texturometer reading and with various quality parameters, Cereal Chem. **53**, 72-77
- 6) Holas, J. *et al.* (1978): Factors affecting farinograph and baking absorption. I. Quality characteristics of flour streams, Cereal Chem. **55**, 637-652
- 7) 豊島英親ら (1987) : テストミルで製粉した際の上り粉の製めん適性, 食総研報 No. 50, 30-36
- 8) Okada, K. *et al.* (1986) : Studies on heavily ground flour using roller mills. I. Alteration in flour characteristics through overgrinding, Cereal Chem. **63**, 187-193
- 9) 長尾精一 (1998) : 世界の小麦の生産と品質—上巻—, 小麦の魅力, 輸入食糧協議会事務局 pp. 180-181
- 10) Jones, R.W. *et al.* (1959): Electrophoresis and fractionation of wheat gluten, Arch. Biochem. Biophys. **84**, 363-376
- 11) Woychik, J.H. *et al.* (1961): Starch gel electrophoresis of wheat gluten proteins with concentrated urea, Arch. Biochem. Biophys. **94**, 477-482
- 12) Nielsen, H.C. *et al.* (1962): Molecular weight studies on glutenin before and after disulfide-bond splitting, Arch. Biochem. Biophys. **96**, 252-258
- 13) Beckwith, A.C. *et al.* (1965): Reversible Reduction and Reoxidation of the Disulfide Bonds in Wheat Gliadin, Arch. Biochem. Biophys. **112**, 16-12
- 14) Beckwith, A.C. *et al.* (1966): Reduction and Reoxidation of Wheat Glutenin, Biochim. Biophys. Acta. **130**, 155-162
- 15) Beckwith, A.C. *et al.* (1966): Isolation and characterization of a high-molecular-weight protein from wheat gliadin, Cereal Chem. **43**, 14-28
- 16) Nielsen, H.C. *et al.* (1968): Effect of disulfide bond cleavage on wheat gliadin fractions obtained by gel filtration, Cereal Chem. **45**, 37-47
- 17) Bietz, J. A. *et al.* (1972): Wheat gluten subunits:

- Molecular weights determined by sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis, *Cereal Chem.* **49**, 416-430
- 18) Hamauzu, Z. *et al.* (1972): Molecular Weights of Glutenin- and Gliadin-polypeptides Estimated by SDS-polyacrylamide Gel Electrophoresis, *Agric. Boil. Chem.* **36**, 1829-1830
- 19) 金沢宏和ら (1973) : いわゆる低分子量グルテニンのポリペプチド構成について, *農化*, **47**, 17-22
- 20) 金沢宏和ら (1974) : 小麦グルテニンに含まれる会合性ポリペプチドについて, *農化*, **48**, 113-117
- 21) Hamauzu, Z. *et al.* (1975): Molecular Weights Determination of Component Polypeptides of Glutenin after Fractionation by Gel Filtration, *Agric. Boil. Chem.* **39**, 1527-1531
- 22) Khan, K. *et al.* (1979): Studies of glutenin. XIII. Gel filtration, isoelectric focusing, and amino acid composition studies, *Cereal Chem.* **56**, 505-512
- 23) Finney, K.F. *et al.* (1948): Loaf volume and protein content of hard winter and spring wheats, *Cereal Chem.* **25**, 291-312
- 24) Bushuk, W. *et al.* (1969): Protein quantity and quality as factors in the evaluation of bread wheats, *Can. J. Plant Sci.* **49**, 113-122
- 25) Pomeranz, Y. (1965): Dispersibility of wheat proteins in aqueous urea solutions. New parameter to evaluate bread-making potentialities of wheat flour, *J. Sci. Food Agric.* **16**, 586-593
- 26) Tsen, C.C. (1967): Changes in Flour Proteins during Dough Mixing, *Cereal Chem.* **44**, 308-317
- 27) 有山尚夫ら (1994) : 小麦粉—その原料と加工品—改訂第三版 [山口隆右・増田甚平総編集], 日本麦類研究会 pp. 906-908
- 28) Tsen, C.C. *et al.* (1968): Reactive and total sulfhydryl and disulfide contents of flours of different mixing properties, *Cereal Chem.* **45**, 58-62
- 29) Huebner, F.R. (1970): Comparative Studies on Glutenins from Different Classes of Wheat, *J. Agr. Food Chem.* **18**, 256-259
- 30) Orth, R.A. *et al.* (1972): A Comparative Study of the Proteins of Wheats of Diverse Baking Qualities, *Cereal Chem.* **49**, 268-275
- 31) Chen, C.H. *et al.* (1970): Nature of proteins in Triticale and its parental species. I. Solubility characteristics and amino acid composition of endosperm proteins, *Can. J. Plant Sci.*, **50**, 9-14
- 32) Chung, K.H. *et al.* (1979): Acid-Soluble proteins of wheat Flour. II. Binding to Hydrophobic Gels, *Cereal Chem.* **56**, 196-201
- 33) Sapirstein, H.D. *et al.* (1998): Intercultural Variation in the Quantity of Monomeric Proteins, Soluble and insoluble glutenin, and residue Protein in wheat Flour and Relationships to Breadmaking Quality, *Cereal Chem.* **75**, 500-507
- 34) Goldstein, G. (1957): Sulfhydryl- und Disulfidgruppen der Klebereiweisse und ihre Beziehung zur Backfähigkeit der Brotmehle, *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **48**, 87-93
- 35) Mecham, D.K. (1959): Effects of sulfhydryl-blocking reagents on the mixing characteristics of doughs, *Cereal Chem.* **36**, 134-145
- 36) Sokol, H.A. *et al.* (1960): Sulfhydryl losses during mixing of dough: Comparison of flours having various mixing characteristics, *Cereal Chem.* **37**, 739-748
- 37) Sullivan, B. *et al.* (1961): The oxidation of wheat flour. II. Effect of sulfhydryl-blocking agents, *Cereal Chem.* **38**, 281-291
- 38) Meredith, P. *et al.* (1962): The effects of iodate, N-ethylmaleimide and oxygen on the mixing tolerance of doughs, *Cereal Chem.* **39**, 411-426
- 39) Dronzek, B. *et al.* (1968): A note on the formation of free radicals in dough during mixing, *Cereal Chem.* **45**, 286
- 40) Schroeder, L.F. *et al.* (1978): Mixograph studies. II. Effect of activated double-bond compounds on dough-mixing properties, *Cereal Chem.* **55**, 348-360
- 41) Faush, H. *et al.* (1963): Ferulic acid as a component of a glycoprotein from wheat flour, *Nature* **199**, 287
- 42) Geissmann, T. *et al.* (1973): Composition of the water soluble wheat flour pentosans and their oxidative gelation, *Lebensm. Wiss. Technol.* **6**, 59-62

- 43) Sidhu, J.S. *et al.* (1980): Mixograph studies. III. Reaction of fumaric acid with gluten proteins during dough mixing, *Cereal Chem.* **57**, 159-163
- 44) Hosney, R.C. *et al.* (1980): Mixograph studies. IV. The mechanism by which lipoxygenase increases mixing tolerance, *Cereal Chem.* **57**, 163-166
- 45) Okada, K. *et al.* (1987): Factors affecting dough breakdown during overmixing, *Cereal Chem.* **64**, 428-434
- 46) Gao, L. *et al.* (1992): Structure of glutenin based on farinograph and electrophoretic results, *Cereal Chem.* **69**, 452-455
- 47) 長尾精一 (1998) : 世界の小麦の生産と品質—上巻—小麦の魅力, 輸入食糧協議会事務局 pp. 181-183
- 48) Ross, A. S. *et al.* (1997): Physicochemical properties of Australian flours influencing the texture of yellow alkaline noodles, *Cereal Chem.* **74**, 814-820
- 49) 中津智史ら (2007) : 北海道産コムギ品種における中華麺適性の評価, *日作紀* **76**, 416-422
- 50) 藤田雅也ら (2008) : 温暖地向け硬質コムギ品種における中華麺適性と小麦粉特性との関係, *日作紀* **77**, 449-456
- 51) Payne, P. I. *et al.* (1987): The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties, *J. Sci. Food Agric.* **40**, 51-65
- 52) Zhao, L. F. *et al.* (2005): Alkaline-carbonate noodles from hard winter wheat flours varying in protein, swelling power, and polyphenol oxidase activity, *Cereal Chem.* **82**, 504-516
- 53) Marsh, D. R. *et al.* (1986): Measurement of polyphenol oxidase activity in wheat-milling fractions, *J. Cereal Sci.* **4**, 241-248
- 54) Hatcher, D. W. *et al.* (1993): Distribution of polyphenol oxidase in flour millstreams of Canadian common wheat classes milled to three extraction rates, *Cereal Chem.* **70**, 51-55
- 55) 伊藤美環子ら (2008) : 小麦粉のポリフェノールオキシダーゼ活性の簡易評価法の開発, *日作紀* **77**, 159-166
- 56) Interesse, F. S. *et al.* (1980): Partial purification and some properties of wheat (*Triticum aestivus*) *o*-diphenolase, *J. Sci. Food Agric.* **31**, 459-466
- 57) Kihara, T. *et al.* (2005): Purification and characterization of wheat (*Triticum aestivum*) polyphenol oxidase, *Food Sci. Technol. Res.* **11**, 87-94
- 58) 有山尚夫ら (1994) : 小麦粉—その原料と加工品—改訂第三版 [山口隆右・増田甚平総括編集], 日本麦類研究会 pp. 696-697
- 59) 齋藤勝一ら (2005) : アルカリ発酵小麦粉製品及びその製造法, 公開特許公報 (A) 特開 2005-210961 (P 2005-210961A)
- 60) Terada, M. *et al.* (1978): A component of wheat flour globulin polymerized at alkaline sides and depolymerized by reduction reversibly, *Agric. Biol. Chem.* **42**, 1397-1402
- 61) 神尾正義 (1991) : うどんの官能検査法の諸問題, *研究ジャーナル* **14** (12), 23-28
- 62) S. Nagao. *et al.* (1977): 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
- 63) Oda, M. *et al.* (1980): A Method of Flour Quality Assessment for Japanese Noodles., *Cereal Chem.* **57**, 253-254
- 64) Toyokawa, H. *et al.* (1989): Japanese Noodle Qualities. I. Flour Components., *Cereal Chem.* **66**, 382-386
- 65) Toyokawa, H. *et al.* (1989): Japanese Noodle Qualities. II. Starch Components., *Cereal Chem.* **66**, 387-391
- 66) Crosbie, G. B. (1991): The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours, *J. Cereal Sci.* **13**, 145-150
- 67) Crosbie, G. B. *et al.* (1992): Further evaluation of the flour swelling volume test for identifying wheats potentially suitable for Japanese noodles, *J. Cereal Sci.* **15**, 271-280
- 68) Shibamura, K. *et al.* (1994): Molecular structures of some wheat starches, *Carbohydrate Polymers* **25**, 111-116
- 69) 高橋禮治 (2002) : でん粉製品の知識, 幸書房 pp. 156

- 70) 鈴木綾子ら (1985) : タピオカ, ジャガイモ,
クズ澱粉の分子構造と老化性の関係, 澱粉科学
32, 205-212
- 71) 安井 健 (1997) : 小麦の品質 (加工適性) に
関与する成分の解明と育種戦略, 研究ジャーナ
ル **20** (4), 12-17
- 72) 辻 孝子ら (2005) : 小麦粉ペースト色の経時
変化と品種間差異, 愛知農総研報, **37**, 1-4
- 73) 瀬古秀文 (1991) : 小麦の品種改良育種の現状
と展望, 研究ジャーナル **14** (1), 53-61
- 74) 山口勲夫 (1997) : もち小麦の開発と今後の品
種育種の展開方向, 研究ジャーナル **20** (4),
18-22
- 75) 東北農業研究センター 平成19年1月29日 プ
レスリリース
- 76) 農水省農水研究情報センター 命名登録品種
データベース
- 77) 登熟温度が小麦澱粉の特性および構造に及ぼす
影響, 平成7年度総合農業研究成果情報, (独) 農研
機構農業研究センター
- 78) 佐藤暁子ら (1992) : ゆでめん表面の微細構造
の品種間差異, 日作紀 **61**, 174-175
- 79) 長尾精一 (1998) : 世界の小麦の生産と品質
—上巻—小麦魅力, 輸入食糧協議会事務局 pp.
184-185
- 80) 長尾精一 (1998) : 世界の小麦の生産と品質—
下巻—各国の小麦, 輸入食糧協議会事務局 pp.
118
- 81) 水越正彦 (1993) : ケーキ製造に関するコロイ
ド科学的研究, 博士論文 (大阪府立大学大学院
生命環境科学研究科)
- 82) 川染節江 (1993) : バタースポンジケーキのテ
クスチャーに関する研究, 博士論文 (愛媛大学
大学院連合農学)
- 83) 藤井淑子ら (1988) : 小麦デンプンで調製した
スポンジケーキの特性について, 日本食品工業
学会誌 **35**, 684-690
- 84) 藤井淑子ら (1993) : タピオカ澱粉スポンジケ
ーキの膨張と収縮に関する研究, 調理科学 **26**,
282-289
- 85) Ohtsubo, H. *et al.* (1978): Prevention of Shrink-
age after Baking, Cereal Foods World, **23**, 361,
376
- 86) 長尾精一 (1998) : 世界の小麦の生産と品質
—上巻—小麦魅力, 輸入食糧協議会事務局 pp.
249-250
- 87) Wada, Y. *et al.* (1991): Effect of Starch Charac-
teristics on the Physical Properties of Cookies, J.
Home Econ. Jpn. **42**, 711-717
- 88) Yamazaki, W. (1953): An alkaline water reten-
tion capacity test for the evaluation of cookie
baking potentialies of soft winter wheat flours,
Cereal Chem. **30**, 242-246