[*Nippon Nōgeikagaku Kaishi* Vol.63, No.2, pp.175~180, 1989]

小麦粉ドウ物性に対する脂質の影響 ——デュラム小麦粉と普通小麦粉の比較——

稲熊隆博, 相原茂夫*, 森田雄平*

(カゴメ株式会社総合研究所, *京都大学食糧科学研究所)

昭和63年7月15日受理

Effect of Lipids on Physical Properties of Wheat Flour Dough : Farinograph Properties of Durum and Bread Wheat Flours

Takahiro INAKUMA, Shigeo AIBARA* and Yuhei MORITA*

Research Institute, Kagome Co., 17, Nishitomiya, Nishinasuno-cho,
Nasu-gun, Tochigi 329-27

*The Research Institute for Food Science, Kyoto University, Gokasho, Uji-shi, Kyoto 611

The physical dough properties of durum, hard, and soft wheat flour of defatted and non-defatted were examined by the inflection point obtained from plots of dough mobility (the reciprocal of the maximum consistency) against their water content. For durum wheat flour, the inflection point values of both dough mobility and water content decreased after defatting with *n*-butanol. However, only dough mobility decreased in defatted bread wheat flour, and almost no change in water content was observed at the inflection point. The slope of the dough mobility curve of the defatted durum wheat flour was steeper in the lower range of water content at the inflection point than that of the non-defatted sample. However, the slope of the bread wheat flour was lower in the absence of lipids. These results indicate that lipids had little effect on the water content of the dough matrix of the bread wheat flours, and that the capacity of the water content in the dough matrix was constant with or without lipids until dough mobility reached the inflection point. On the other hand, non-defatted durum wheat doughs were soft and their dough mobility was easily altered with or without lipids; the water capacity of the dough matrix with lipids could be increased by the interaction of proteins with lipids.

When lipids, such as extracted lipid fraction, soybean lecithin or triolein, were added to the defatted wheat flours, the inflection point of the dough moved from that of defatted flour to that of non-defatted along lines through these points. However, the degree of dough mobility recovery at the inflection point was altered by the type of lipid added. The polar lipid fraction or soybean lecithin caused a full recovery, although the total lipid fraction and triolein did not show much effect. The results showed that dough mobility would be affected by the interaction of proteins with polar lipids, and that the influence of lipids on dough properties of durum and bread wheat flours differed.

(Received July 15, 1988)

緒 言

小麦粉ドウの脂質-タンパク質の相互作用に関する研究は基礎および応用面にわたって膨大な報告があり、とくに普通小麦粉では主として製パン特性と関連して多くの研究がなされており⁽¹⁻⁵⁾、これまでに数種のドウ構造モデルが提出されている⁽⁶⁻⁹⁾。しかし、脂質とタンパク

質の相互作用の詳細についてはまだ明確な結論は得られていない。一方、デュラム小麦粉についてはカロチノイド系色素やリボキシゲナーゼに関する研究が主体で脂質の役割について言及している報告は非常に少ない⁽⁹⁻¹³⁾。近年、小麦粉のような複雑な実験系においても物理的測定法による脂質-タンパク質の相互作用の研究が行われるようになってきた⁽¹⁴⁻¹⁸⁾。グルテンマトリックスの脂

質の存在状態についてはこれまで多くの研究者による多大の努力にもかかわらず明確な知見は得られていない。最近, ^{31}P -NMR によるタンパク質とリン脂質の相互作用に関する研究成果に基づき脂質が物理的にグルテンタンパク質の網目構造の中に埋まって安定なマイクロエマルジョンのかたちで存在することが示唆された⁽¹⁷⁾。

本報告ではファリノグラフによるモビリティーを利用してドウ物性を解析することにより普通小麦粉とデュラム小麦粉のドウ物性に対する脂質の役割を検討した。

実験方法

1. 小麦粉 小麦粉は日清製粉よりデュラム小麦粉と普通小麦粉(強力小麦粉と薄力小麦粉)の3種類を購入した。

脱脂小麦粉は前報⁽¹⁹⁾と同様に10倍量(W/V)の*n*-ブタノールを用いて20°Cで3時間攪拌, 脱脂した後, 吸引濾過により抽出溶媒を除去し, 自然乾燥することにより調製した。

2. 試薬 ダイズレンチンおよびトリオレインは半井化学から購入した。

3. 脂質画分の調製と分析 *n*-ブタノールを用いて上記の脱脂条件で3種の小麦粉から脂質を抽出し, エバポレータで*n*-ブタノールを除去した。抽出した脂質をクロロホルム:メタノール(2:1, V/V)に溶解し, 5倍量(V/V)の0.1M KClで数回洗浄した後, 再度エバポレータで濃縮して真空デシケータ中に放置し, 完全に溶媒を除去したものを全脂質画分とした。極性脂質画分は全脂質画分を薄層クロマトグラフィー(展開溶媒, 石油エーテル:ジエチルエーテル:酢酸=140:50:2, V/V)で展開し, 原点に留まっている部分をかきとってクロロホルム:メタノール(2:1, V/V)で抽出した⁽²⁰⁾。脂質画分は重量法により定量した。

リン含量は全脂質画分中のリン含量をBartlett法⁽²¹⁾

で定量した。

4. 脂質の添加 脂質の添加はファリノグラフ測定の直前に脂質画分を超音波処理により水に分散させてから小麦粉に直接一定量加えた。また, ダイズレンチンとトリオレインについても同様の方法で処理し, 添加した。

5. タンパク質の定量 各小麦粉のタンパク質含量はケルダール法で測定し, $N \times 5.70$ で算出した。

6. 小麦粉ドウ物性の測定

小麦粉ドウ物性はIrvineの方法⁽²²⁾に従ってBrabender社製マイクロファリノグラフ(RMS 65 NG)を用いた。ドウのdevelopment timeはmaximum consistencyに到達する時間(min)とした。ドウのファリノグラフ吸水率(小麦粉の水分含量を86.5%に規格化)および水分含量は次の計算式により算出した⁽²³⁾。

$$\text{ファリノグラフ吸水率}(\%) = Ab + 10 \times (Y - 10),$$

$$Y = 10 \times 86.5 / (100 - X),$$

$$\text{ドウの水分含量}(\%) = 100 \times (Ab + X) / (100 + Ab),$$

ただし, *Ab*:小麦粉100gに対する添加水量(%),

Y:供試小麦粉の量(g),

X:供試小麦粉の水分含量(%).

実験結果

1. 小麦粉の脂質組成とファリノグラフ

各小麦粉のタンパク質含量と*n*-ブタノールで抽出した脂質の組成およびリン含量をTable Iにまとめた。デュラム小麦粉の*n*-ブタノール抽出による全脂質含量は2種の普通小麦粉よりも多く, 非極性脂質の割合が高かったのに対して普通小麦粉は極性脂質の割合とリン含量が高かった。また, 全タンパク質に対する脂質の比率ではデュラム, 強力小麦粉に比較して薄力小麦粉がとくに高い値を示した。

これら3種の小麦粉についてファリノグラフを用いて

Table I. Protein and Lipid Contents of Flours

(100 g wheat flour, dry wt.)

Flour	Total protein (g)	Total lipid (g)	Polar lipid (g) (%)	Non-polar lipid (g) (%)	Lipid/protein (%)	Lipid phosphorus (mg) (%)
DWF	13.6	1.44	0.43 (29.6)	1.01 (70.4)	8.5	4.0 (0.28)
HWF	14.0	1.35	0.54 (39.8)	0.81 (60.2)	7.7	5.0 (0.37)
SWF	8.2	1.25	0.48 (38.0)	0.77 (62.0)	12.2	4.9 (0.39)

DWF=Durum wheat flour, HWF=hard wheat flour, SWF=soft wheat flour.

Table II. Farinograph Parameters of Wheat Flour Doughs at 20°C

Parameter	Control			Defatted		
	DWF	HWF	SWF	DWF	HWF	SWF
Absorption (%)	56.1	68.0	56.8	58.4	69.4	62.9
Development time (min)	6.0	17.0	5.0	3.7	7.5	5.5
Tolerance index (B. U.)	55	0	30	80	5	30
Band width (B. U.)	10	7	10	15	7	5

B. U. = Brabender units.

DWF=durum wheat flour, HWF=hard wheat flour, SWF=soft wheat flour.

ドウ物性を測定した結果 (Table II), 脱脂すると全般的にファリノグラフ吸水率がやや増加するが, 薄力小麦粉の場合が最も顕著であった。薄力小麦粉は tolerance index は大きい脱脂によつては変化せず, band width が少し減少した。一方, デュラム小麦粉の場合はもともと tolerance index が大きく, 脱脂によつてさらに顕著に増大した。しかし, band width は普通小麦粉とは逆に増加した。強力小麦粉は脱脂によつてコンシステンシーの第2ピークが消失したためにドウの展開時間が大幅に減少した。

2. ドウ物性における水分含量の影響

小麦粉ドウの最大コンシステンシーの逆数 (モビリティ) の変化を水分含量 (40~55%) に対してプロットすると Fig. 1 に示すように2相になり屈折点が得られ, 屈折点より水分含量の高い領域ではドウのモビリティが急激に上昇した。そして, この屈折点の位置は小麦粉の種類によつて異なり, 強力小麦粉とデュラム小麦粉の屈折点 (Figs. 1 B, 1 C) は薄力小麦粉の屈折点 (Fig. 1 A) より水分含量の高いところに位置した。一般に n-ブタノールで脱脂することによつて小麦粉ドウのモビリティは低下するが, 普通小麦粉とデュラム小麦粉とは異なる挙動をとることが判明した。すなわち, 普通小麦粉は脱脂処理前後で水分含量に対する屈折点の位置がほとんど変化しなかったが, デュラム小麦粉の屈折点は脱脂前は強力小麦粉とほぼ同じ位置にあり, 脱脂によつて水分含量の低い薄力小麦粉とほぼ同じ位置まで移動した。また, 屈折点よりも水分含量の低い領域において普通小麦粉のモビリティの勾配は脱脂後より脱脂前のほうが大きいに対して, デュラム小麦粉では脱脂後の勾配のほうが大きかった。そして, 強力小麦粉と薄力小麦粉の相違点として強力小麦粉の脱脂処理前後のモビリティ曲線の交点が薄力小麦粉の交点よりも水分含量の高いところに位置していることがあげられる。以上の結果からファリノグラフの添加水量を変化させたとき, 普通小麦粉の場合, 脂質の有無に関係なく屈折点に到達するまではドウのグルテンマトリックス中に取り込むことができる最大水分含量は変化しないが, 脂質が存在することによりドウのモビリティが相対的に水分含量の影響を受けにくくなる。これに対して, デュラム小麦粉の場合は脂質が存在することによつてモビリティが上昇してドウが柔らかくなり, 同時に水分含量の影響を受けやすくなって, より水分含量の高いドウ構造の形成が可能となることが示唆された。すなわち, デュラム小麦粉と

Fig. 1. The Inflection Point of the Mobility Obtained from Defatted and Non-Defatted Flour Doughs from Durum, Hard White Winter and Soft White Winter Wheat. A, Soft white winter wheat flour; B, hard white winter wheat flour; C, durum wheat flour. ○, non-defatted flour; ●, defatted flour.

普通小麦粉ではドウ形成に際し、タンパク質と脂質の相互作用の形態が異なると考えられる。

3. ファリノグラフに対する添加脂質の効果

n-ブタノールで脱脂したデュラム小麦粉 10 g に対して全脂質画分 (0.15~1.5 g/100 g), 極性脂質画分 (0.1~0.3 g/100 g), ダイズレンチン (0.05~0.5 g/100 g) またはトリオレイン (0.5~1.5 g/100 g) を一定量添加した小麦粉を試料として添加水量を変えてドウを作り、水分含量に対してモビリティをプロットして屈折点を求めた (Fig. 2)。脱脂小麦粉に脂質を添加した小麦粉の屈折点はすべてもとの小麦粉の脱脂処理前後のドウの屈折点を結ぶ線上に位置し、脂質の添加量が増加するに従って脱脂前の小麦粉ドウの屈折点に近づいた。しかし、脂質添加によるモビリティの回復率は添加脂質の種類によって異なり (Fig. 3), 極性脂質画分またはダイズレンチンでは少量で直線的に脱脂前の状態に回復した。これに対して、全脂質画分とトリオレインによる回復率

Fig. 2. The Behaviors of Inflection Points by the Addition of Various Lipids to the Defatted Durum Wheat Flour. Addition of: A, total lipids (0.5, 1.0, 1.5 g/100 g), B, polar lipids (0.1, 0.2, 0.3 g/100 g); C, soybean lecithin (0.1, 0.2, 0.3 g/100 g); and D, triolein (0.5, 1.5 g/100 g). □, Non-defatted inflection point; ■, defatted inflection point; ○, addition of lipid or lipid fraction.

は低く、全脂質画分 (150 mg/10 g) で約 70%, トリオレイン (150 mg/10 g) で約 30% しか回復しなかった。各脂質の添加効果を 50% 回復率で比較すると全脂質画分は極性脂質画分またはダイズレンチンの約 1/10, トリオレインでは約 1/30 でドウのモビリティに対してタンパク質と極性脂質の相互作用が重要な役割を果たしていることが示唆された。

次に、*n*-ブタノールで脱脂した強力小麦粉に全脂質画分、ダイズレンチンおよびトリオレインを添加して同様の方法で実験した結果、脂質を添加した小麦粉の屈折点はデュラム小麦粉と同様に脱脂処理前後の小麦粉の屈折点を結ぶ線上を移動した (データは省略)。すなわち、強力小麦粉の場合は脂質を添加しても屈折点の水分含量に

Fig. 3. Effect of the Addition of Various Lipid on Defatted Durum Wheat Flour. ▲, Total lipids fraction; ●, polar lipids fraction; ○, soybean lecithin; △, triolein.

Fig. 4. Effect of the Addition of Various Lipids on Defatted Hard White Winter Wheat Flour. ▲, Total lipid fraction; ○, soybean lecithin; △, triolein.

は影響しないでモビリティーのみが上昇した。そして、デュラム小麦粉と同様に極性脂質による回復率が中性脂質のそれより大きく、極性脂質とタンパク質の相互作用がモビリティーの回復に大きく寄与していることが明らかになった (Fig. 4)。

考 察

小麦粉ドウはタンパク質と水の分散系であり、タンパク質と脂質の相互作用の特性によってドウ物性が変化することは周知の事実である。脱脂処理前後の3種類の小麦粉から作ったドウのモビリティーの変化を水分含量に対してプロットすることによりグルテンマトリックス中でのタンパク質と脂質の相互作用における脂質の機能的役割あるいは存在状態について考察した。すなわち、デュラム小麦粉と普通小麦粉のドウではタンパク質と脂質の相互作用の形態が異なり、それによってグルテンマトリックス中に捕捉しうる水分含量に差が生じると考えられる。そして、脂質添加実験の結果より中性脂質ではなく極性脂質、なかでもリン脂質が密接に関係していることを示した (Figs. 3, 4)。

ドウのモビリティーが屈折点よりも水分含量の高い領域で急激に上昇したのは水分含量の増加によって脂質の存在状態が大きく変化したためと考えられ、また、小麦粉の種類によってドウの水分含量に対するモビリティーの挙動が相違するのはグルテンマトリックス中の脂質の存在状態あるいは相互作用の形態が異なることを示唆している。Marion⁽¹⁷⁾は³¹P-NMRの結果から温度が上昇するとタンパク質の網目構造の中に埋められた脂質のマイクロエマルジョンがaqueous pocketに移動し、ドウが急激に軟化することを報告し、機械的な力によっても同様の効果が生じることを指導している。ドウの水分含量が増加するとグルテンタンパク質中の脂質のマイクロエマルジョンがタンパク質と分離してグルテンマトリックス中に分散している水相に移るために急激にドウのモビリティーが上昇すると考えられる。屈折点前後でのグルテンタンパク質の構造的な変化についてはDSCによる熱分析では有意の変化をとらえることはできなかった。

脂質添加実験における屈折点の挙動に関してどの試料小麦粉についてもドウ物性の回復に従い屈折点の位置が脱脂処理前後の小麦粉の屈折点を結ぶ線上にあって、脂質とタンパク質の相互作用の量とグルテンマトリックスに捕捉されうる水分含量が密接に関連していることが示

唆された。添加した極性脂質画分やレンチンによるモビリティーの回復率から推測すると極性脂質とタンパク質の相互作用が重要な要因として挙げられる。もちろん、中性脂質や全脂質画分の添加によってもモビリティーの回復が認められ、屈折点の移動も同様の傾向を示したので極性脂質だけがドウのモビリティーに影響するわけではなく、中性脂質もその相互作用の形態は相違してもグルテンマトリックスを形成するうえでドウ物性に対して独自の役割を果たしていることは否めない。しかし、ドウのモビリティーに関して中性脂質や全脂質画分添加によるドウ物性の回復は不十分で、極性脂質の中でもリン脂質の役割が必須であることが明らかになった。

要 約

ドウの水分含量を変化させたときモビリティーが2相になり、屈折点が得られることを利用して脱脂処理前後のデュラム、強力、薄力小麦粉のドウ物性を解析した。デュラム小麦粉は脱脂することにより屈折点のモビリティーと水分含量とも低下したが、普通小麦粉ではモビリティーのみ低下し水分含量はほとんど変化しなかった。*n*-ブタノールで脱脂したデュラム小麦粉に全脂質画分、極性脂質画分、ダイズレンチンおよびトリオレインを添加した結果、屈折点は脱脂処理前後の屈折点を結ぶ線上にのり添加量が増加するに従って脱脂前の屈折点に近づいた。脂質添加によるモビリティーの回復率は脂質の種類によって異なり極性脂質画分、ダイズレンチンでは少量で回復したが、全脂質画分、トリオレインでは回復が不十分であった。強力小麦粉でも同様の結果が得られた。以上の結果よりドウのモビリティーに関しタンパク質とリン脂質の相互作用が密接に関連していることが示唆された。

本研究において終始ご指導ご鞭撻を賜りました東京大学名誉教授中村道徳先生に感謝いたします。

- (1) M. Doguchi and I. Hlynka: *Cereal Chem.*, **44**, 561 (1967).
- (2) F. MacRitchie: *Cereal Chem.*, **58**, 156 (1981).
- (3) O. K. Chung, Y. Pomeranz and F. Finney: *Cereal Chem.*, **59**, 14 (1982).
- (4) U. Zawistowska, F. Bekes and W. Bushuk: *Cereal Chem.*, **62**, 340 (1985).
- (5) U. Zawistowska, J. A. Bietz and W. Bushuk: *Cereal Chem.*, **63**, 414 (1986).

- (6) J. C. Grosskreutz : *Cereal Chem.*, **38**, 336 (1961).
- (7) R. C. Hoseney, K. F. Finney and Y. Pomerantz : *Cereal Chem.*, **47**, 135 (1970).
- (8) R. Lasztity, F. Bekes, F. Orsi, I. Smied and M. Ember-Karpati : "Gluten Protein," Proceedings of the 3rd International Workshop, Hungary 1987, ed. by R. Lasztity and F. Bekes, World Scientific, 1987, p. 343.
- (9) G. Fabriani, C. Lintas and G. B. Quaglia : *Cereal Chem.*, **45**, 454 (1968).
- (10) M. J. Y. Lin, B. L. D'appolonia and V. L. Youngs : *Cereal Chem.*, **51**, 34 (1974).
- (11) P. J. Barnes, K. W. Day and J. D. Schofield : *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, **172**, 373 (1981).
- (12) B. Laignelet : "Lipids in Pasta and Pasta Processing," ed. by P. J. Barnes, Academic Press, London, 1983, p. 269.
- (13) R. R. Matsuo, J. E. Dexter, A. Boudreau and J. K. Daun : *Cereal Chem.*, **63**, 484 (1986).
- (14) J. Nishiyama, T. Kuninori, M. Matsumoto and A. Hyono : *Agric. Biol. Chem.*, **45**, 1953 (1981).
- (15) C. Genot, T. Montaney-Garestier and R. Drapron : *Lebensm.-Wiss. Technol.*, **17**, 129 (1984).
- (16) J. H. E. Moonen, M. A. Hemminga and A. Graveland : *J. Cereal Sci.*, **3**, 319 (1985).
- (17) D. Marion, C. de Roux, S. Akoka, C. Tellier and D. Gallant : *J. Cereal Sci.*, **5**, 101 (1987).
- (18) L. E. Pearce, E. A. Davis, J. Gordon and W. G. Miller : *Cereal Chem.*, **65**, 55 (1988).
- (19) 稲熊隆博, 相原茂夫, 森田雄平 : 日本食品工業学会誌, 投稿中.
- (20) S. Aibara, I. A. Ismail, H. Yamashita, H. Ohta, F. Sekiyama and Y. Morita : *Agric. Biol. Dhem.*, **50**, 665 (1986).
- (21) G. R. Bartlett : *J. Mol. Biol.*, **234**, 466 (1959).
- (22) G. N. Irvine, J. W. Bradley and G. C. Martin : *Cereal Chem.*, **38**, 153 (1961).
- (23) American Association of Cereal Chemists : "Farinograph Handbook," ed. by W. C. Shuey, Am. Assoc. Cer. Chem., Inc., 1972, p. 66.