



Title	小麦粉ドウの熱レオロジー的挙動：ドウの動的粘弾性の一般化(農業工学科)
Author(s)	國府田, 佳弘; 山本, 宏樹; 秋永, 孝義; 泉, 裕巳; 上野, 正実
Citation	琉球大学農学部学術報告 = The Science Bulletin of the Faculty of Agriculture. University of the Ryukyus(29): 161-167
Issue Date	1982-12-01
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4031
Rights	

—ドウの動的粘弾性の一般化—

國府田佳弘*・山本宏樹**・秋永孝義*
泉 裕巳*・上野正実*

Yoshihiro KOHDA, Hiroki YAMAMOTO, Takayoshi AKINAGA,
Hiromi IZUMI, Masami UENO: Thermorheological behavior
of wheat flour dough—Generalization of dynamic viscoelas-
ticity of wheat dough—

Summary

In order to know thermorheological behavior of wheat flour dough, dynamic viscoelasticity of the soft and hard wheat at several temperature and oscillation speeds were measured. Results were as follows.

1. Viscoelastic values of the dough showed the minimum value at a temperature, and were plotted on folded lines. Temperature at the minimum value of the soft wheat dough was 20 C, and that of the hard wheat dough was 25 C.
2. It was found that the wheat dough was thermorheologically simple, because those lines could be superposed each other by parallel movement.
3. Quantitative expression of the viscoelasticity of those doughs was generalized concerning the temperature and oscillation speed. This made possible to exchange temperature and oscillation speed each other.

緒 言

小麦粉ドウの物性は、その化学的成分、混ねつ速度、温度などにより多様な値を示し、加工装置の設計には広範囲の物性値を見出さなければならない。また、製パンなどに際し、発酵過程を動力学的に解析するためには、各温度における Loaf volume の増大速度、即ちドウの伸長速度に応じた物性値を知らなければならない。このような場合に広範囲にわたる物性値を測定することは極めて煩雑である。しかし、國府田は小麦粉ドウの混ねつ挙動に対して、動的弾性と動的粘性を含めたニードナンバーを導入して整理すれば、混ねつの特性を他の流動状物質の混合特性と同様に無次元化して表現できることを示唆し¹⁾、またタンパク質含量を変動因子として粘弾性を整理できることを示した。²⁾さらに、以上の報告を含めて度々、小麦粉ドウの粘弾性値のグラフが、その変動因子に対しては対数方眼紙上で平行になることを示した。^{1, 2, 3)}一方、一般の多くの高分子物質が熱レオロジー的に単純で、温度と変形速度との間に相互に変換し得る、いわゆるソフトファクタ⁴⁾が存在することを考慮に入れて、小麦粉ドウも温度と変

* 琉球大学農学部農業工学科

** 日本冷蔵株式会社

形速度との間に換算係数を有すること、即ち熱レオロジー的に単純 (Thermorheologically simple) であることを明らかにできれば、ドウの物性値は極く限られた範囲の値を求めるだけで他の一般的な条件における値を求めることが可能になる。

そこで、小麦粉ドウの動的粘弾性を各種の温度及び振動速度で測定し、その温度-速度依存性を調べ、動的粘弾性の一般化を試みた。

実験材料及び方法

1. 供試試料

ドウを作る小麦粉はいわゆる薄力粉と呼ばれる軟質小麦 (Winter Soft White) と、強力粉と呼ばれる硬質小麦 (Hard Red Winter) を原料として工場規模 (福岡市、東福製粉株式会社) で製粉されたものから抜き取った2種類の小麦粉を原料とした。前者のタンパク質含量は9.7%であり、後者のそれは12.6%であった。

2. ドウの作製

上記の原料に、60%の加水をし、自作したトルクピックアップ付きの1リットル容のシグマ羽根ニーダ¹⁾で混ねつし、回転トルクが極大値から減少して安定期に入ってから5分を経過したときに粘弾性測定用の試料を採取した。

3. 粘弾性の測定

採取したドウをコの字形きさみのある1.0×1.0×1.0 cmの立方体サンプルホルダ¹⁾に詰め、東洋ポールドウイン社製の動粘弾性測定装置 (バイブロンII型) に取り付け、30分間測定温度で静置した後、水平振動位相差法⁵⁾により動的粘弾性を測定した。30分間静置した理由はドウの熟成による自然調質を待つため、予備実験によれば30分以上調質しても粘弾性に大きな変化がなく、調質のための最低時間である。以上の測定方法、装置については前報^{2), 3)}に詳しく述べてあるので、これを参照されたい。測定は温度を10℃から50℃まで5℃毎に9段階に変え、また振動数を3.5, 5, 10, 15, 20, 30, 40, Hzの7段階に変えて行なった。

結果及び考察

1. 動的弾性の挙動

まず動的弾性率 (G') について求めた結果について論じる。

上述の測定条件で求められた軟質小麦粉ドウの動弾性値と温度との関係を Fig. 1に、硬質小麦のそれを Fig. 2に示した。これらの結果によれば、両者とも最低値を示す温度を有することがわかる。詳細に述べれば、軟質小麦の場合、10℃から温度を上昇させるに従って弾性率は減少し20℃において最低値を示し、以後温度上昇と共に弾性率は増大する。即ち各振動数における弾性率と温度との関係は図に示したように20℃で屈曲点を持つ折れ線群で示すことができる。言い換えれば1種の振動数に対する弾性率は20℃を境にして2本の直線で示すことができた。しかも、これらの直線は互に平行であり

$$G' = b \cdot \exp(2.3 \cdot at) \dots \dots \dots (1)$$

の形で表現され、平行移動によって重ね合わせることができることが分った。ここで t は温度、 a は各直線の勾配、 b は0℃における切片相当値を意味する。もし、この平行移動量を定量的に表現すること

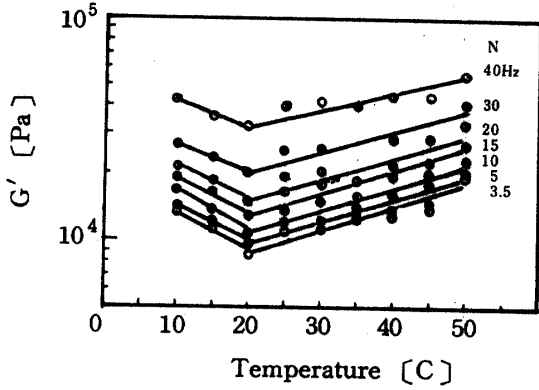


Fig. 1. Relation between temperature and dynamic elasticity (G') of soft wheat flour dough at several oscillation speed (N).

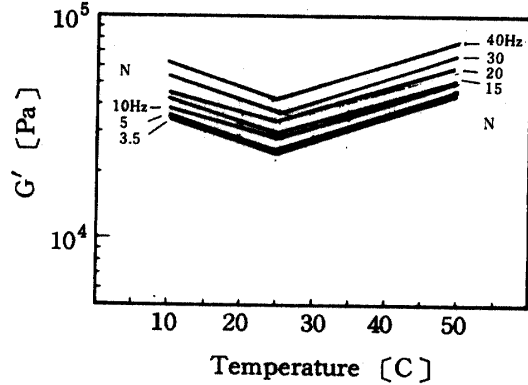


Fig. 2. Relation between temperature and dynamic elasticity (G') of hard wheat flour dough at several oscillation speed (N).

ができれば、温度と速度の変換が可能になり、いわゆる熱レオロジー的に単純であるということが出来る。一方、硬質小麦の場合についても極小点が25°Cにあることが異なるだけで弾性率と温度との関係は2本の直線で表現でき、平行移動によって重ね合わせることができることは同様であった。なお、煩雑で図が見にくくなのを避けるため Fig. 2 上の測定値のプロットは省略し適合直線群だけを示した。本実験の結果では小麦粉ドウの弾性率の極値はいずれの場合も極値が一定温度の所にあり移動量に温度の因子を含まず、移動による重ね合わせは極めて容易である。

そこで、平行移動量と振動数 N (Hz) との関係を求めるために、各振動数における動的弾性率 G' (Pa) の極小値との関係を半対数グラフ上にプロットすると Fig. 3 に示す関係が得られ、両者とも一本の直線上にあることがわかった。これらの関係を数式で示せば次式が得られる。なお、以下添字 S は軟質小麦

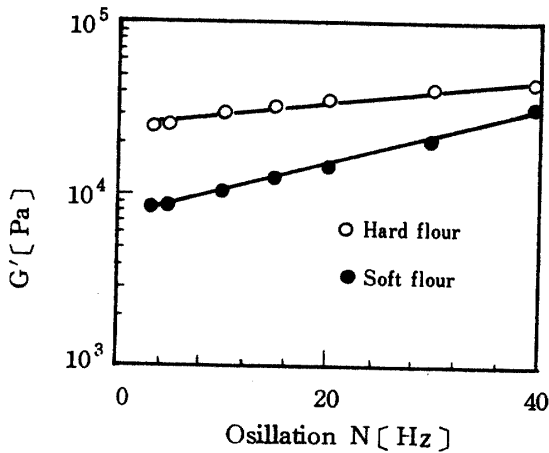


Fig. 3. Minimum value of dynamic elasticity of wheat flour dough and oscillation speed.

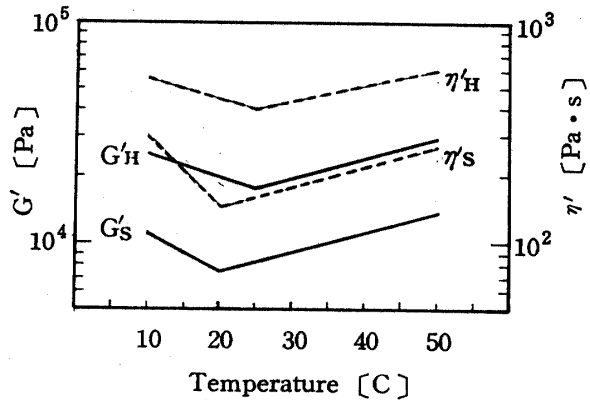


Fig. 4. Master curves of dynamic viscoelasticity of wheat flour dough.

についての、またHは硬質小麦についての値を示すこととする。

$$G'_s(N) = 7.19 \times 10^3 \times \exp(3.7 \times 10^{-2} \cdot N) \dots\dots\dots (2)$$

$$G'_H(N) = 2.43 \times 10^4 \times \exp(1.6 \times 10^{-2} \cdot N) \dots\dots\dots (3)$$

ここで、マスターカーブとして、1Hzのときの弾性率と温度との関係をとれば、重ね合せのための移動量は $\{ \log G'(N) - \log G'(1) \}$ であるから、これを $\log P$ とすれば

$$P = G'(N)/G'(1) \dots\dots\dots (4)$$

即ち、(2)、(3)式から

$$P_s = 0.96 \times \exp(3.7 \times 10^{-2} \cdot N) \dots\dots\dots (5)$$

$$P_H = 0.98 \times \exp(1.6 \times 10^{-2} \cdot N) \dots\dots\dots (6)$$

である。マスターカーブは

$$G' = b \cdot \exp(a \cdot t) \dots\dots\dots (7)$$

であるから、これに Fig. 1 及び Fig. 2 から a, b の値を求めて代入すれば

$$\left. \begin{aligned} G'_s &= 1.34 \times 10^4 \times \exp(-2.8 \times 10^{-2} \cdot t) \\ &\quad (10 \leq t \leq 20) \\ G'_s &= 4.8 \times 10^3 \times \exp(1.7 \times 10^{-2} \cdot t) \\ &\quad (20 \leq t \leq 50) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

$$\left. \begin{aligned} G'_H &= 3.2 \times 10^4 \times \exp(-2.5 \cdot t) \\ &\quad (10 \leq t \leq 25) \\ G'_H &= 1.3 \times 10^4 \times \exp(1.2 \cdot t) \\ &\quad (25 \leq t \leq 50) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

が得られる。これを図示すれば Fig. 4 の実線で表したマスターカーブが得られる。即ち、1 Hz におけるドウの弾性率が得られていればそれぞれ、(5)、(8)式の積及び(6)、(9)式の積として任意の速度・温度における弾性率を求めることができ、小麦粉ドウは完全に熱レオロジー的に単純であることがわかる。

マスターカーブは必ずしも $N = 1 \text{ Hz}$ のところをとる必要はなく、任意のところをとってよいから、(1)~(3)式に図から求めた具体的数値を代入し

$$\left. \begin{aligned} G'_s(t, N) &= 1.29 \times 10^4 \times \exp(-1.3 \times 10^{-2} \cdot t) \\ &\quad \times \exp(3.7 \times 10^{-2} \cdot N) \\ &\quad (10 \leq t \leq 20) \\ G'_s(t, N) &= 4.6 \times 10^3 \times \exp(0.92 \times 10^{-2} \cdot t) \\ &\quad \times \exp(3.7 \times 10^{-2} \cdot N) \\ &\quad (20 \leq t \leq 50) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

$$\left. \begin{aligned}
 G'_H(t, N) &= 3.2 \times 10^4 \times \exp(-2.5 \times 10^{-2} \cdot t) \\
 &\quad \times \exp(1.6 \times 10^{-2} \cdot N) \\
 &\quad (10 \leq t \leq 25) \\
 G'_H(t, N) &= 1.3 \times 10^4 \times \exp(1.2 \times 10^{-2} \cdot t) \\
 &\quad \times \exp(1.6 \times 10^{-2} \cdot N) \\
 &\quad (25 \leq t \leq 50)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

即ち、この(10)、(11)式から任意の条件のときのドウの弾性率を求めることができ、また温度に相当する振動数、あるいは振動数に相当する温度を求めることが可能になった。

2. 動粘性挙動

動的粘性率についても、各振動数における粘性値と温度との関係を図示すると Fig. 5, Fig. 6 に示す結果が得られた。なお、煩雑さを避けるために、各測点のプロットは省略し同図には適合直線だけを示した。この図からもわかるように粘性値も弾性値と同様に、軟質小麦の場合20℃において、また硬質小麦の場合には25℃で極小値を持ち、各振動数における値を平行移動すれば互いにほぼ重ね合わせることが可能である。そこで弾性率の場合と同様にして移動量、1 Hz におけるマスターカーブ及び一般式を求めて次の各式を得た。即ち粘性率 η' [Pa · S] の極小値は

$$\eta'_S(N) = 1.35 \times 10^2 \times \exp(-3.6 \times 10^{-2} \cdot N) \dots\dots\dots (12)$$

$$\eta'_H(N) = 4.15 \times 10^2 \times \exp(-3.9 \times 10^{-2} \cdot N) \dots\dots\dots (13)$$

の上であり、N = 1 Hz のときをマスターカーブとすると、マスターカーブは

$$\left. \begin{aligned}
 \eta'_S &= 3.9 \times 10^2 \exp(-4.4 \times 10^{-2} \cdot t) \\
 &\quad (10 \leq t \leq 20) \\
 \eta'_S &= 7.1 \times 10 \exp(2.7 \times 10^{-2} \cdot t) \\
 &\quad (20 \leq t \leq 50)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

$$\left. \begin{aligned}
 \eta'_H &= 6.8 \times 10^2 \exp(-2.0 \times 10^{-2} \cdot t) \\
 &\quad (10 \leq t \leq 25) \\
 \eta'_H &= 2.8 \times 10^2 \exp(1.3 \times 10^{-2} \cdot t) \\
 &\quad (25 \leq t \leq 50)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

となる。このときの重ね合せのための移動量は(4)~(6)式と同様にして

$$P_S = 0.96 \times \exp(-3.6 \times 10^{-2} \cdot N) \dots\dots\dots (16)$$

$$P_H = 0.96 \times \exp(-3.9 \times 10^{-2} \cdot N) \dots\dots\dots (17)$$

である。また、一般的な表現は次式となる。

$$\left. \begin{aligned}
 \eta'_S(t, N) &= 3.7 \times 10^2 \times \exp(-3.6 \times 10^{-2} \cdot N) \\
 &\quad \times \exp(-4.4 \times 10^{-2} \cdot t) \\
 &\quad (10 \leq t \leq 20) \\
 \eta'_S(t, N) &= 6.8 \times 10^2 \times \exp(-3.6 \times 10^{-2} \cdot N) \\
 &\quad \times \exp(2.7 \times 10^{-2} \cdot t)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

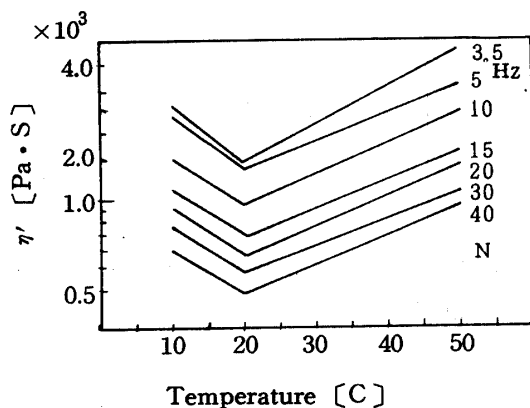


Fig. 5. Relation between temperature and dynamic viscosity (η') of soft wheat flour dough at several oscillation speed (N).

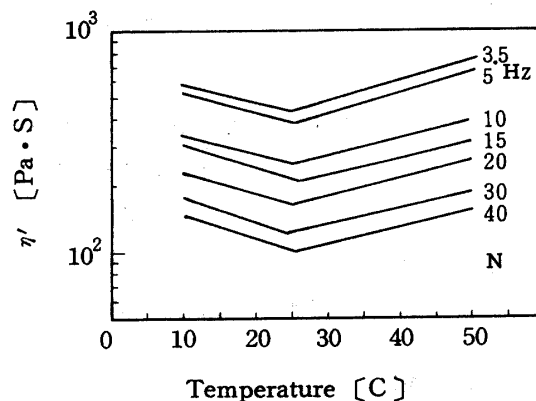


Fig. 6. Relation between temperature and dynamic viscosity (η') of hard wheat flour dough at several oscillation speed (N).

$$(20 \leq t \leq 50)$$

$$\eta'_H(t, N) = 6.5 \times 10^2 \times \exp(-3.9 \times 10^{-2} \cdot N) \times \exp(-2.0 \times 10^{-2} \cdot t)$$

$$(10 \leq t \leq 25)$$

$$\eta'_H(t, N) = 2.7 \times 10^2 \times \exp(-3.9 \times 10^{-2} \cdot N) \times \exp(1.4 \times 10^{-2} \cdot t)$$

$$(25 \leq t \leq 50)$$

} (19)

以上のように小麦粉ドウは熱レオロジー的に単純であり、速度-温度の交換が可能であることがわかった。これは小麦粉ドウの加工機械、たとえば製パン、製めん用のニーダの設計、あるいは製パン過程のドウレオロジー的解析に極めて有用であろう。

摘 要

小麦粉ドウの熱レオロジー的挙動を求めするために、軟質及び硬質の小麦粉のドウの各種温度及び振動数における動的粘性及び弾性を求め、次の挙動を明らかにした。

1. 小麦粉ドウの動的粘弾性値は温度変化に対して極小値を持つ2本の折れ線群で表現でき、その極小値を示す温度は軟質小麦で20°C、硬質小麦で25°Cであった。
2. これらの線は平行移動によって重ね合すことができ、小麦粉ドウが熱レオロジー的に単純であることがわかった。
3. 移動量を定量的に表現し、粘弾性値を温度、振動数に対して一般的に表現し、温度-速度の相互交換が可能であることを示した。

引用文献

1. 國府田佳弘 1969 ニーダの動力について, 農機学会第 28 回総会講演要旨
2. 國府田佳弘 1979 グルテンを添加した小麦粉ドウの粘弾性的挙動, 食工誌, 26(3): 127~131
3. 國府田佳弘, 馬場利通, 秋永孝義, 泉裕己 1980 空気分級をした小麦粉ドウの粘弾性的挙動, 食工誌, 27(3): 125~131
4. 後藤廉平, 平井西夫, 花井哲也 1969 レオロジーとその応用, 5 版, P. 194~202 東京, 共立出版
5. 高分子学会レオロジー委員会編 1965 レオロジー測定法, 初版, P. 203~211, 東京, 共立出版