

## 添加剤による小麦ドウの物性改良効果 －アスコルビン酸およびグルタチオンの効果－

小宮 孝志・阿知和弓子・古市 幸生

三重大学生物資源学部

## The Improving Effects of Additives on the Rheology of Wheat Flour Dough －Improving Actions of Ascorbic acid and Glutathion－

Takashi KOMIYA, Yumiko ACHIWA and Yukio HURUICHI  
Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu, Mie 514-8507, Japan

### Abstract

Changes in the rheological actions during dough mixing with additives were studied by measuring extension (E) and resistance (R) using an extensograph. Each portion of hard wheat flour was mixed with water for 8, 20 and 40 min, respectively, and E and R of the obtained dough were measured using an extensograph. E of 40 min mixed dough decreased greatly with its R greatly increasing, as compared with those of 8 min mixed dough. Moreover, a loss of sulfhydryl (SH-) groups of 40 min mixed dough was much larger and its POV increased greatly, as compared with those of 8 min mixed dough. From these results, the 40 min mixed dough is determined as being overoxidized. In order to improve the rheological properties (E and R) of thus dough, rheological actions of dough treated with ascorbic acid and glutathione were examined by an extensograph. E of the former decreased greatly and its R increased to a great extent with an increase in aging time after dough mixing. The improving effect of dough was recognized by addition of ascorbic acid. However, the additive effect of glutathione on the rheological properties of dough could not be achieved.

Key Words : hard wheat flour · dough · extensograph · ascorbic acid · glutathione

### 1. 緒言

小麦粉は主にパン、めん、菓子類などに加工して食する。この加工に当たって、小麦粉に水を加えて混ねつ（ミキシング）すると、粘弾性をもった生地（ドウ）が形成される。このドウの形成は小麦蛋白質のグルテンが

水和し、その中のグリアジンとグルテニンの両蛋白質が相互作用してグルテンの網目状構造を形成することによると考えられている。<sup>1)</sup> このドウの性質である物性の粘弾性を測定するのに、一般にファリノグラフとエキステソグラフが用いられる。ファリノグラフによりドウの

ミキシング中の性質を、ドウの引張試験装置、エクステンソグラフによりドウの伸びに対する抵抗（伸長抵抗）と伸びやすさ（伸長度）を知ることができる。<sup>2)</sup>

ドウ・ミキシングの際、オーバーミキシングするとドウはブレイクダウンを起こす。このブレイクダウンは、一般的に SH-SS 交換反応が SS 結合が増えすぎたことによりグルテンの物性的フレキシビリティが減少し、さらにミキシングが加わることによるグルテンのダメージ（低分子化）あるいはグルテンタンパク質相互間の結合力の低下が考えられている。ミキソグラフを用いた実験からそのような現象が認められる。しかし、製パン特性の良好な小麦粉では顕著にはこの現象は認められない。<sup>2)</sup>

本研究は小麦ドウがオーバーミキシングした場合、エクステンソグラムに示される伸長抵抗 (R) と伸長度 (E) とその割合 R/E を測定して小麦ドウの物性の変化を調べるとともに、天然抗酸化剤や異種蛋白質などをドウ形成時に添加して、オーバーオキシデーションを制御して適度な SH-SS 交換を起こさせることによりドウの改良効果を達成させることを目的とする。

## 2. 実験方法

### (1) 材料

小麦粉は丸信製粉㈱より供与された強力粉（白鳳 A）を使用した。この小麦粉は、灰分 0.37%，粗蛋白 11.8%，水分 13.8% であった。その他の試薬はすべて特級を用いた。

### (2) ドウの調製<sup>2)</sup>

小麦粉 300g に対し 6g の食塩および添加剤（L-アスコルビン酸とグルタチオン）をこね終わりのコンシステンシーが 500B. U. になるに要する水に溶かして加え、ファリノグラフのミキサーで一定方式（設定温度 30°C で、1 分間こねた後、5 分間ねかせ、更に 2 分、14 分、34 分こねる）によりそれぞれ反応時間 8 分、20 分、40 分の試料とした。

### (3) ドウの物性測定<sup>2)</sup>

#### 1) ファリノグラフによる測定

この装置は一定速度で互いに逆方向に回転する 2 本の Z 型攪拌翼をもつミキサーで、翼の回転軸にかかるトルクを経時的に記録するものである。小麦粉 300g に食塩と添加剤を溶かした水をビューレットにより添加し、一

定時間こねると、図 1 に示すカーブが得られた。この時ピークが中心が 500B. U. となるように水の量を調節した。この水分量、すなわちファリノグラフの吸水率は 64.8% であった。

#### 2) エクステンソグラフによる測定<sup>2)</sup>

ファリノグラフを用いて調製したドウ 150g の試験片を丸めたのち棒状に成形し、30°C の恒温箱に入れ 45 分間ねかした。次に、ドウの両端を固定し、その中央にフックをかけて一定速度で切れるまで引張り、フックにかかる力（伸長抵抗：R、伸長度：E）を記録した。測定後ドウを再び成形し、45 分間ねかし 2 回目の、更に同様の操作をして 3 回目の測定を行った。

#### (4) ドウの SH 基の定量<sup>3)</sup>

ドウ 2g に 6mM EDTA を含有した 8M Urea-1%SDS-59mM Tris-HCl 緩衝液 (pH8) 20ml を加えポリトロンを用いて攪拌した。これを遠心分離 (10000 rpm, 5°C, 15min) し上澄液を得た。この上澄液に 8M Urea-0.1M NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>-NaOH 溶液 (pH7.0) に溶解した 0.36% 5,5'-dithiobis-2-nitrobenzoic acid (DTNB) を 0.02ml 添加し室温で 30 分間放置したのち、412nm における吸収を測定し、SH 基量を算出した。

#### (5) ドウの脂質含量の定量<sup>4)</sup>

ドウの脂質抽出は Folch 法を用いて行った。即ち、各調製したドウ 100g にクロロホルム：メタノール (2:1) を 150ml 加え、30 秒間ミキサーで攪拌した。これを自然濾過し、この濾液に無水硫酸ナトリウムを加え一夜放置し脱水を行った。この液を減圧濃縮して脂質量を測定した。

#### (6) POV の測定<sup>5)</sup>

ドウから抽出した脂質 1g にクロロホルム：酢酸 (2:3) を 11ml 加え溶解した。この溶液にヨウ化カリウム飽和水溶液 0.3ml、水 20ml、適当量の 1% デンブロン溶液を加え攪拌し、N/100 チオ硫酸ナトリウムで滴定し POV を算出した。

## 3. 実験結果

### (1) ドウの物性に与えるドウ形成反応時間とねかし時間の影響

小麦粉（強力粉）300g に食塩 6g を加え吸水率 64.8% にしてファリノグラフで混ねつし 8 分、20 分、40 分

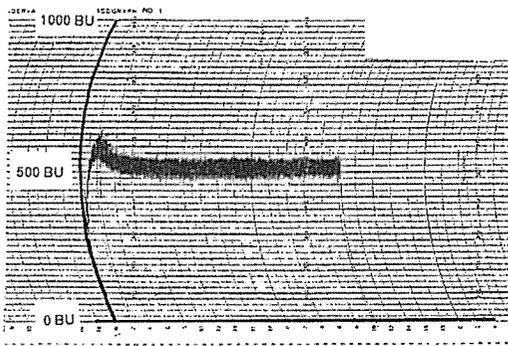


図1 小麦ドウのファリノグラム

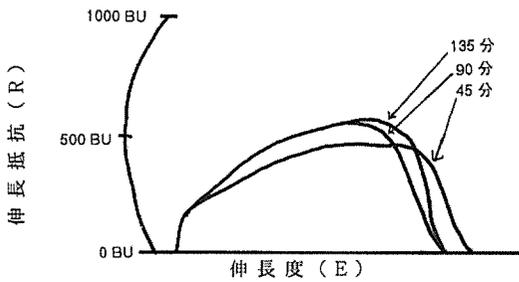


図2 小麦ドウ(反応時間8分)のエクステンソグラム

ねかし時間 (分)	伸長抵抗R (B.U.)	伸長度E (mm)	R/E
45	470	212	2.2
90	550	196	2.8
135	550	197	2.8

反応したそれぞれの試料について、ねかし45, 90, 135分間でのエクステンソグラフでのドウの物性、すなわち伸長抵抗(R)と伸長度(E)を測定した。この際、図1にみられるように、混ねつ時間40分までの物性(コンシステンシー)に殆ど変化がみられず、この間ではドウのブレークダウンは認められなかった。

図2は反応時間8分の試料のエクステンソグラムの結果である。1回目のねかしではRは470B.U., Eは212mmで、R/Eは2.2の値を示したが、2回目のねかしではRは550B.U.とわずかに増加し、逆にEは196mmとわずかに減少し、その結果R/Eは2.8とわずかに増大した。しかし、3回目のねかしではRおよびEは共に殆ど変化が見られなかった。

図3は反応時間20分の試料のエクステンソグラムの結果である。Rは570B.U.で、反応時間8分に比べて

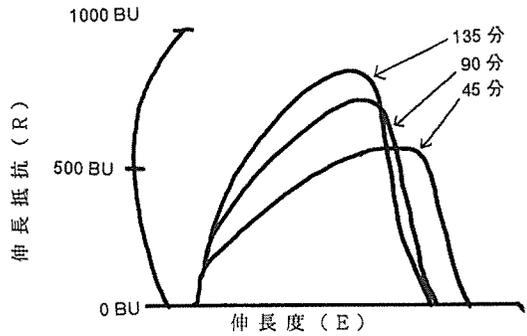


図3 小麦ドウ(反応時間20分)のエクステンソグラム

ねかし時間 (分)	伸長抵抗R (B.U.)	伸長度E (mm)	R/E
45	570	174	3.3
90	725	155	4.7
135	825	142	5.8

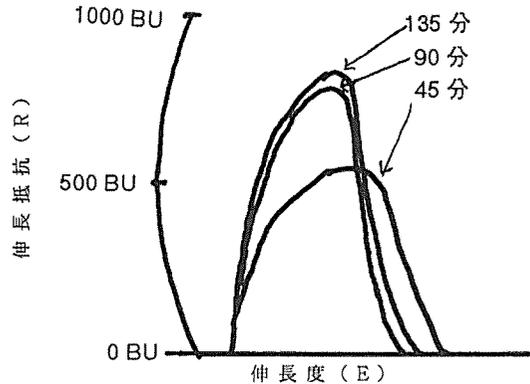


図4 小麦ドウ(反応時間40分)のエクステンソグラム

ねかし時間 (分)	伸長抵抗R (B.U.)	伸長度E (mm)	R/E
45	560	107	5.2
90	795	90	8.8
135	810	86	9.4

わずかに増大し、Eは174mmとわずかに減少し、それに伴ってR/Eは3.3とわずかに増大した。更にねかしが2回目、3回目と長くなると、Rは725B.U., 825B.U.と著しく増大し、一方Eは大きく減少し、その結果R/Eはそれぞれ4.7, 5.8と大きく増大した。

図4は反応時間40分の試料のエクステンソグラムの

結果である。ねかし1, 2および3回目のRはそれぞれ560, 796, 810B. U.で、これらの値は図3に示す反応時間20分の試料のそれぞれの値とほぼ近似した値を示した。Eについては、ねかし1, 2および3回目ではそれぞれ107, 90, 86mmと反応時間20分の試料に比べて著しく小さくなっており、それに伴ってR/Eは大きく増大した。

(2) ドウの物性に与える添加剤の影響

1) アスコルビン酸の効果

図5と図6はアスコルビン酸100mgを添加したドウのエキステンソグラムの結果である。反応時間8分と20分の試料において、ねかし1回目のRはそれぞれ800B. U.と840B. U.であったが、ねかし2, 3回目になるとそれらの値は1000B. U.以上と著しく増大した。Eについては無添加のものに比べて大きく減少し、それに伴っていずれの反応時間においても、R/Eはねかし1回目では約6であったのが、3回目では10以上と著しく増大した。

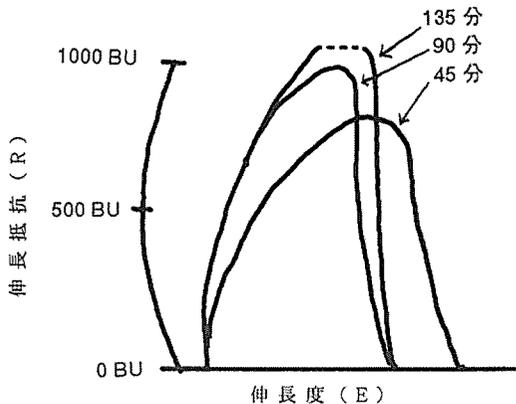


図5 アスコルビン酸添加の小麦ドウ(反応時間8分)のエキステンソグラム

ねかし時間(分)	伸長抵抗R (B.U.)	伸長度E (mm)	R/E
45	800	145	5.5
90	1080	122	8.8
135	1120	100	11.2

2) グルタチオンの効果

図7と図8はグルタチオン10mgを添加したドウのエキステンソグラムの結果である。反応時間8分と20分

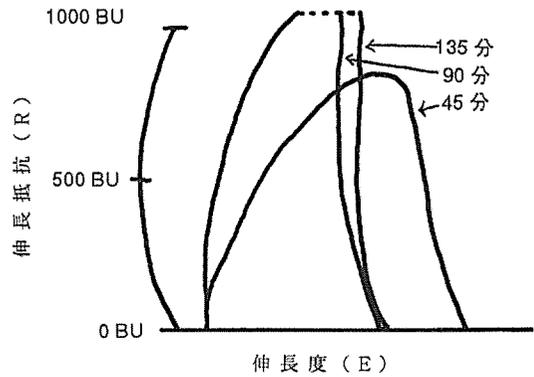


図6 アスコルビン酸添加の小麦ドウ(反応時間20分)のエキステンソグラム

ねかし時間(分)	伸長抵抗R (B.U.)	伸長度E (mm)	R/E
45	840	145	5.8
90	1000<	108	9.3<
135	1000<	97	10.3<

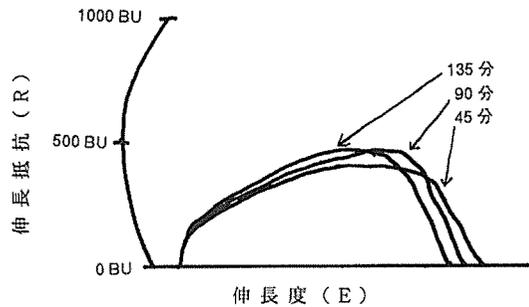


図7 グルタチオン添加の小麦ドウ(反応時間8分)のエキステンソグラム

ねかし時間(分)	伸長抵抗R (B.U.)	伸長度E (mm)	R/E
45	420	270	1.6
90	460	192	2.4
135	455	196	2.3

の試料において、ねかし1回目ではRはそれぞれ420B. U.と480B. U.であったが、ねかし2, 3回目となると反応時間8分では460B. U.と458B. U.とその値はわずかしか増大しなかったのに対して、反応時間20分では620B. U.と705B. U.と増加したものの、その増加率は

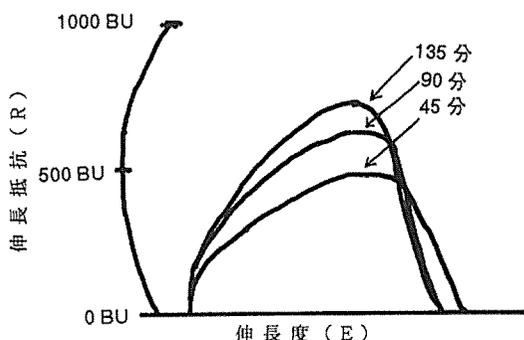


図8 グルタチオン添加の小麦ドウ(反応時間20分)のエクステンソグラム

ねかし時間(分)	伸長抵抗R(B.U.)	伸長度E(mm)	R/E
45	480	161	3.0
90	620	160	3.9
135	705	153	4.6

小さかった。Eについては、両反応時間の試料ともねかしの回数によって大きな減少は見られなかった。

(3) ドウ中のSH基量に与えるアスコルビン酸の影響

表1はアスコルビン酸100mgを添加したときのドウ形成反応時間におけるドウ中のSH基量を調べた結果である。反応時間8分ではSH基量は無添加では $1.124 \times 10^{-4}M$ で、アスコルビン酸の添加によりその値は若干の増加が見られた。反応時間40分ではSH基量は $0.049 \times 10^{-4}M$ と反応時間8分に比べて著しく減少したが、アスコルビン酸の添加により反応時間8分におけるアスコルビン酸添加でのSH基量に対して53%近く回復した。

表1 小麦ドウのSH基量に及ぼすアスコルビン酸の影響

反応時間	試料	SH基量( $\times 10^{-4}$ モル)
8分	無添加	1.124
"	アスコルビン酸添加	1.469
40分	無添加	0.049
"	アスコルビン酸添加	0.779

(4) ドウ脂質抽出量およびPOVに与えるアスコルビン酸の影響

表2はアスコルビン酸100mgを添加したときのドウ形成反応時間におけるドウ100gの脂質抽出量とその脂

質のPOVを調べた結果である。反応時間8分ではドウの脂質抽出量は無添加とアスコルビン酸添加との間には25mgの差しか見られなかったのに対して、反応時間40分では85mgの差に増加し、無添加の脂質抽出量が大きく減少した。POVについては、反応時間8分では無添加とアスコルビン酸添加では共に殆ど検出されなかった。一方、反応時間40分の無添加ではPOVが4.25とドウ脂質の過酸化が検出され、アスコルビン酸の添加でその値は大きく減少した。

表2 小麦ドウの脂質抽出量とPOVに及ぼすアスコルビン酸の影響

反応時間	試料	脂質抽出量g/100g	POV
8分	無添加	0.398	N. D.
"	アスコルビン酸添加	0.423	N. D.
40分	無添加	0.335	4.25
"	アスコルビン酸添加	0.420	0.87

4. 考察

小麦粉(強力粉)に水を加えてファリノグラフで混ねつすると特有の物性、即ち粘弾性をもったドウが形成される。然るに、製パン特性の良好な小麦粉はミキソグラフではブレイクダウンは認められないと言われている。<sup>2)</sup> 図1の結果からドウ形成反応時間40分経過してもブレイクダウンは認められず、本実験に用いた小麦粉は製パン特性の良好のものと考えた。次に、このドウの物性である伸長抵抗(R)と伸長度(E)をエクステンソグラフにより調べた。ドウ形成反応時間8, 20, 40分でのドウの試料についてRとEを測定した結果、反応時間20分では、ねかしの回数が1, 2, 3回と増えるに従ってRは増し、Eは減少して、それに伴ってR/Eは3.3, 4.7, 5.8と増大した。しかしながら、反応時間40分では、Rはねかしの回数によっても反応時間20分とあまり変わらず、しかしEは大きく減少して、従ってR/Eは5.2, 8.8, 9.4と大きく増大した。団野らは小麦粉を水で過度に混ねつすると、伸長度に対する伸長抵抗の値(R/E)が減少すると述べている。しかしながら、上記の結果はそれとは逆の現象となっている。<sup>2)</sup> 一方、ドウの粘弾性適度の粘り即ち伸長度と適度の硬さ即ち弾性が必要とされており、反応時間40分の試料は伸長抵抗は大きく弾性は増し、また伸長度は小さく粘性が小さくなっている。したがって、ドウの性質と

しては悪く、オーバーオキシデーションを起こしているのではないかと考えられる。この現象のメカニズムを解明するため、ドウのSH基量を反応時間8分と40分の試料について調べたところ、それぞれの値は $1.124 \times 10^{-4} \text{M}$ と $0.049 \times 10^{-4} \text{M}$ となり、SH基量は40分の反応で著しく減少した。このことはSH-SS交換反応からSS結合が増大し、グルテンの物性的フレキシビティが減少したことによりドウの適度なかさどねばりが無くなったものと考えられる。このSH基の酸化の原因は脂質の酸化が起因していると考えられるので、先ず脂質の抽出量をみた結果、若干の減少がみられた。これは遊離脂質が一部結合型脂質に変化したものと考えられる。<sup>6)</sup>次に、抽出された脂質のPOVを調べた結果、反応時間8分の試料ではアスコルビン酸の有無にかかわらずPOVは検出されず、一方、反応時間40分の試料について無添加では4.25であり、ドウ形成反応時間が長くなるとドウに含まれる脂質が過酸化化されることが明らかになった。これらの結果から、ドウのSH基量が減少したのは脂質の過酸化に伴ってSH基が酸化されSS基に変化したものと考えられる。<sup>7)</sup>次に、ドウの物性に与える添加剤の影響について調べた。アスコルビン酸100mgを添加し、反応時間8分の試料について、Rはねかしが2回以上になると1000B.U.以上となり、それに伴ってR/Eも10以上になった。このドウのSH基量は無添加のものあまり変化はみられなかった。この現象、即ちドウ形成時間が8分と短時間であるにもかかわらずRが大きく増大した原因は、脂質の過酸化に伴ってアスコルビン酸がデヒドロアスコルビン酸に酸化され、この酸化物がSH基を穏やかに酸化したことによるものと考えられる。<sup>8)</sup>一方、反応時間40分の試料ではSH基量のアスコルビン酸による回復は反応時間8分のアスコルビン酸添加試料の値と比較すると53%であった。この原因としてドウ形成時間が極めて長いために、POVも0.87とある程度の脂質過酸化が進行しており、アスコルビン酸の脂質過酸化に対する十分な抗酸化性を発現できなかったことにより、ドウのオーバーオキシデーションを起こしてスムーズなSH-SS交換反応が行われなかったものと考えられる。次に、小麦ドウ形成におけるグルタチオンの作用については、反応時間20分の試料についてみると、ねかし3回目ではRは705B.U.で無添加での値825B.U.に比べると大きく減少し、Eは153mmで、

無添加での値の143mmと比べるとねかし回数による減少割合が小さく、従ってR/Eは無添加では5.8であるのに対してグルタチオン添加では4.6と小さくなった。このように、ドウ形成におけるグルタチオン10mgの添加効果は伸長抵抗を小さくし伸長度の減少を低下させるように作用し、システインと同じような作用が見られた。<sup>2)</sup>従って、ドウ形成におけるグルタチオンの添加については、反応時間と添加量の関係を検討する必要がある。今後は今回の実験を踏まえて植物由来の抗酸化物質や異種蛋白質・ペプチド類などによるドウのオーバーオキシデーションの制御について検討して行く予定である。

## 要 旨

添加剤を加えたときのドウ混ねつ中の物性の挙動についてエキステンソグラフを用いて伸長度(E)と伸長抵抗(R)を測定することにより研究がなされた。小麦粉(強力粉)に水を加え8, 20, 40分間混ねつし、得られたドウの試料についてEおよびRを調べた結果、反応時間40分のは反応時間8分のものに比べてEは大きく減少し、Rは大きく増大した。更に、反応時間40分のものSH基量は反応時間8分のものに比べて大きく減少し、且つ、過酸化価(POV)は大きく増大した。この反応時間40分のドウはオーバーオキシデーションを起こしたものと考えられる。このドウのRおよびEの物性を改善するために、アスコルビン酸およびグルタチオンをそれぞれドウに添加してその物性の変化をエキステンソグラフを用いて調べられた。その結果、アスコルビン酸添加のものはねかしが長くなるに伴いEは減少し、Rは増大し改良効果が認められたが、それとは逆にグルタチオン添加効果は認められなかった。

## 5. 参考文献

- 1) 小麦粉, 日本麦類研究会, p.950 (1981).
- 2) 団野源一: ドウの物性と小麦タンパク質の構造, 食品タンパク質の科学, 化学性質と食品特性, 食品資材研究会編, p.71, p.91, p.93, (1983).
- 3) 齊藤恒行ら: 水産物化学・食品学実験書, 恒星社厚生閣版, p.18 (1974).
- 4) 山田晃弘: 植物脂質代謝実験法, 学会出版センター, p.3 (1989).
- 5) 金田尚志ら: 過酸化脂質実験法, 医歯薬出版, p.58 (1983).

- 
- 6) CHUNG, O.K. and C.C. TSUN, Distribution of lipids in acid-soluble protein components as affected by dough-making surfactants, *Cereal Chem.*, 52 : 823-832 (1975).
  - 7) TSEN, C.C. and I. HLYNKA, Flour lipids and oxidation of sulfhydryl groups in dough, *Cereal Chem.*, 40, 145-153 (1963).