

発芽大豆粉を主原料とした新規発酵食品の創製と 発酵過程におけるレオロジー特性の評価

辻 美智子*

名古屋女子大学家政学部食物栄養学科

Development of a Novel Fermented Food Made with Germinated Soybean Flour and Rheological Properties during Dough Fermentation

Michiko TSUJI*

Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Human Life and Environmental Sciences,
Nagoya Women's University, Nagoya 467-8610

ABSTRACT

The rheological properties of bread made with germinated soybean flour were investigated. Specific volumes of the control bread dough (dry yeast) and mixed bread (dry yeast and *Bacillus subtilis natto*) decreased as fermentation time increased. The storage modulus (G'), loss modulus (G''), and loss tangent ($\tan\delta$) of the mixed bread dough were lower than those of the control bread dough. Both breads had the highest value of specific volume with 1 h of fermentation time. The hardness of each bread decreased gradually when fermented for 3 h and showed no changes after 3 h. The adhesiveness of the control bread dough decreased when fermented for 3 h; however, that of the mixed bread decreased rapidly when fermented for 1 h and showed no changes after 1 h. A sensory evaluation showed that the mixed bread with a fermentation time of 1 h had significantly higher texture acceptability than did the non-fermented control bread in terms of stickiness. With 2 h fermentation time, both breads had significantly lower acceptability of sweetness than did the non-fermented control bread. These results indicate that a softer germinated soybean flour bread could be developed by adding *Bacillus subtilis natto*. *Soy Protein Research, Japan* **18**, 175-181, 2015.

Key words : germinated soybean flour, gluten-free bread, rheological property,
sensory evaluation

*〒467-8610 名古屋市瑞穂区汐路町3-40

大豆を豊富に含む食事は、心疾患、糖尿病、がんなどの生活習慣病のリスク低減と関連があるとされている。大豆は「畑の肉」とも呼ばれ、アミノ酸スコアの高い良質なたん白質源であり、カルシウムや食物繊維を多く含む栄養的に優れた食品である。さらには植物性エストロゲンであるイソフラボンを含み、ヒト体内において性ホルモンの変動に影響を及ぼすことが示唆され、ホルモン依存性のがんの予防¹⁾に期待されている。また生産効率も高く、食料難に対処しうる重要な資源のひとつであり、日本では豆腐、湯葉、納豆、味噌、醤油等に加工され馴染み深い食品である。近年、食品加工技術の発展とともに、大豆粉や大豆たん白質を素材とした食品開発²⁾が行われている。しかし、平成25年国民健康・栄養調査によると大豆・加工品の摂取量は1人1日当たり59 gであり、ほとんど変化していない。大豆の摂取量を増加させることは、健康的なライフスタイルの維持増進が期待され、かつ、日本の食文化を次世代へ継承する契機となりうる。

本研究では発芽大豆に着目し、新規発酵食品の創製として発芽大豆粉を主原料としたパンを開発し、その発酵過程におけるパン生地およびパンのレオロジー特性を明らかにすることを目的とした。

実験方法

試料

発芽大豆粉パンの原材料には、発芽大豆粉((株)だいでイズ)、グラニュー糖(三井製糖(株))、塩((財)塩事業センター)、酵母((株)サラ秋田白神)、納豆菌(宮城納豆製造所)、蒸留水を使用した。

発芽大豆粉パンの生地およびパンの調製

発芽大豆粉パンの基本配合は、発芽大豆粉100 g、グラニュー糖10 g、塩1 g、蒸留水130～170 g、酵母3 gとし、これをコントロールパンとした。基本配合に納豆菌2 gを添加したパンを納豆菌添加パンとした。基本配合の材料をミキサー(ケンミックス KMM770:(株)愛工舎製作所)にて150 rpm、15分間混捏し、納豆菌添加の場合は納豆菌を添加した。この生地を50 gずつマフィンカップ(底部5.2 cmφ、上部7 cmφ)に分注し、38℃、RH90%のホイロ(QBX-132HRST1、福島工業(株))にて0～4時間発酵させた。その後、180℃で20分間焼成した。焼成後、室温(25℃)で2時間放冷したのち測定試料とした。また、保存性を検討するための試料は、ポリプロピレン製の密閉容器内にパンを入れ、4℃、RH65%の条件下にて0～3

日間保存した。

比容積

パンの比容積は菜種置換法によりパンのみかけの体積(cm^3)を測定し、試料の重量(g)で除し算出した。

破断特性

発芽大豆粉パンは外相を除去し、内相20 mm×20 mm×高さ20 mm角の立方体を切り出し、試料とした。

測定はクリープメーター(レオナー RE-3305B:山電(株))を用いて応力-ひずみ曲線を得、この曲線の立ち上がりの接線から破断特性値のひとつとして初期弾性率を算出した。プランジャーは直径40 mmφの円柱形を用い、圧縮速度1 mm/s、圧縮ひずみ0.55の条件下で測定した。

テクスチャー特性

試料はパンの内相から30 mm×30 mm×高さ20 mm角の直方体を切り出し測定に用いた。

測定は破断特性と同様にクリープメーターを用いてテクスチャー記録曲線を得、この曲線から、テクスチャー特性値としてかたさ、凝集性、付着性を算出した。圧縮速度1 mm/s、プランジャーの円柱直径5 mmφ、圧縮回数2回、圧縮ひずみ0.50の条件で測定した。

pH

発酵中の生地のpHをpH測定装置(東亜電波工業株)、HM-30V)を用いて測定した。

動的粘弾性

生地の動的粘弾性を、動的粘弾性測定装置(ARES100FRT-N1: Rheometric Far East Ltd.)を用い、25℃において、直径25 mmφの平行板治具を用いてギャップ2.0 mmにて測定した。ひずみ依存性の測定は周波数1.0 rad/sにおいて、ひずみ率を0.01～300%まで変化させて行った。周波数依存性の測定は、いずれの試料もほぼ平衡状態を示したひずみ率0.1%において、周波数0.1～100 rad/sにて測定した。

官能評価

発芽大豆粉パンの嗜好性を評価するため、7段階評点法により官能評価を行った。無発酵のコントロールパンを基準とし、発酵時間1時間および2時間のコントロールパン、納豆菌添加パンについて、分析型として外相の色、大豆の香り、かたさ、もろさ、ねばり、甘み、大豆の味、嗜好型として総合評価を加えた8項目

を評価した。パネルは日本女子大学の学生および教員15名とした。

統計解析

官能評価については、Wilcoxon符号付き順位検定を行い、基準試料と各試料との試料間の有意差を求めた。統計解析は統計ソフト「エクセル統計2012」を用い、いずれの場合も、危険率5%未満をもって有意と判定した。

結果と考察

発芽大豆粉パンの比容積およびかたさに及ぼす加水量の影響

発芽大豆粉パンの最適加水量を検討するために、加水量を130～170%の5段階に設定して、パンの特性値を調べた。比容積、初期弾性率およびかたさの結果をFig. 1に示す。加水量が多くなるにつれて比容積は大きくなり、加水量160%時の比容積は $1.28 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ と最大値を示したため最適加水量とした。また、破断特性値の初期弾性率、テクスチャー特性のかたさは、加水量が多くなるにつれて低くなり、加水量160%時の初期弾性率は $5.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ 、かたさは $6.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ となった。

発芽大豆粉パンの生地特性に及ぼす発酵時間の影響

パン生地の発酵時間によるpHの変化をFig. 2に示す。コントロールパン、納豆菌添加パンともに混捏直後にpH6.0であったパン生地は、発酵時間とともに緩やかに低下し、発酵時間4時間ではpH5.5にまで低下した。pHの変化は、納豆菌添加の有無による差は認められなかった。発酵の進行に伴うパン生地のpHの低

下は、酵母が産生する二酸化炭素が水に溶解することにより炭酸が生成されるためであると考えられる。

次に、パン生地の発酵時間による動的粘弾性の変化を検討するために周波数依存性を測定し、その貯蔵弾性率 G' 、損失弾性率 G'' 、損失正接 $\tan\delta$ の結果をFig. 3に示す。コントロール、納豆菌添加パンの生地の G' 、 G'' とも、周波数が低周波から高周波になるのにしたがって増加し、 $\tan\delta$ の値は逆に減少した。両パン生地の周波数1 rad/s時における G' 、 G'' 、 $\tan\delta$ の結果をFig. 4に示す。弾性要素の G' は、いずれのパン生地も発酵時間とともに増加したが、納豆菌を添加することにより低値を示した。粘性要素の G'' では、コントロールパンは発酵2時間まで緩やかに増加し、その後減少したが、納豆菌添加パンはコントロールパンよりも常に低値を示し、その変化は微増であった。 $\tan\delta$ は、いずれのパン生地も粘性に比べて弾性の寄与割合が高くなった。周波数依存性の結果から、納豆菌を添加することでパ

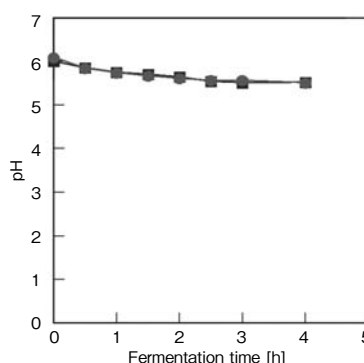


Fig. 2. Change of pH during dough fermentation.

■ : control bread dough (dry yeast),
● : mixed bread dough (dry yeast and *B. subtilis natto*)

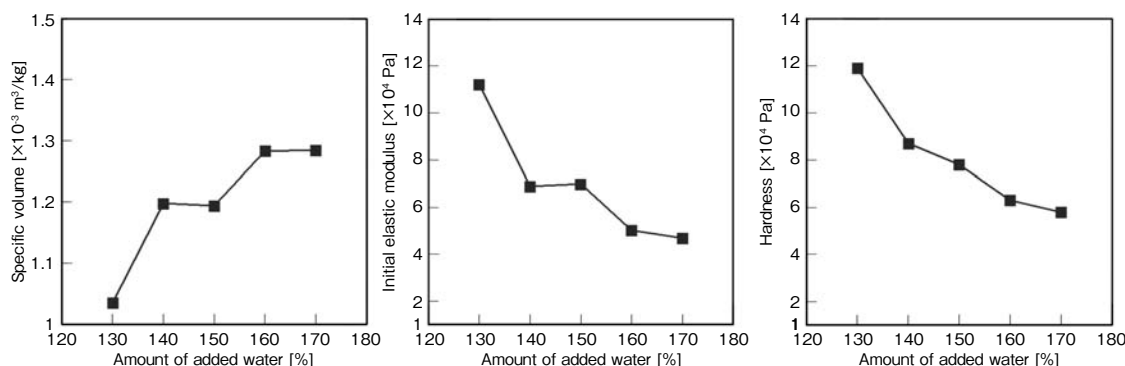


Fig. 1. Specific volume, rupture, and texture property of the control bread^a.

^a Each bread was fermented at 38°C for 1 h.

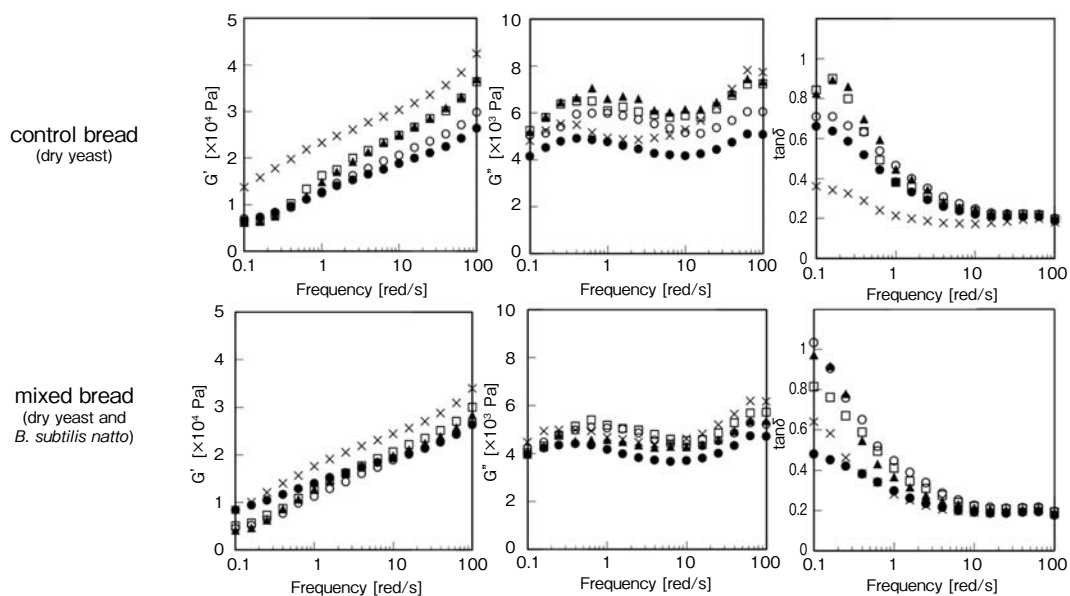


Fig. 3. Effect of frequency dependence of storage modulus (G'), loss modulus (G''), and loss tangent ($\tan\delta$) during dough fermentation^a.

^a G' , G'' , and $\tan\delta$ obtained at a strain of 0.1%.

●: fermentation time : 0 h ○: fermentation time : 1 h ▲: fermentation time : 2 h
 □: fermentation time : 3 h ×: fermentation time : 4 h

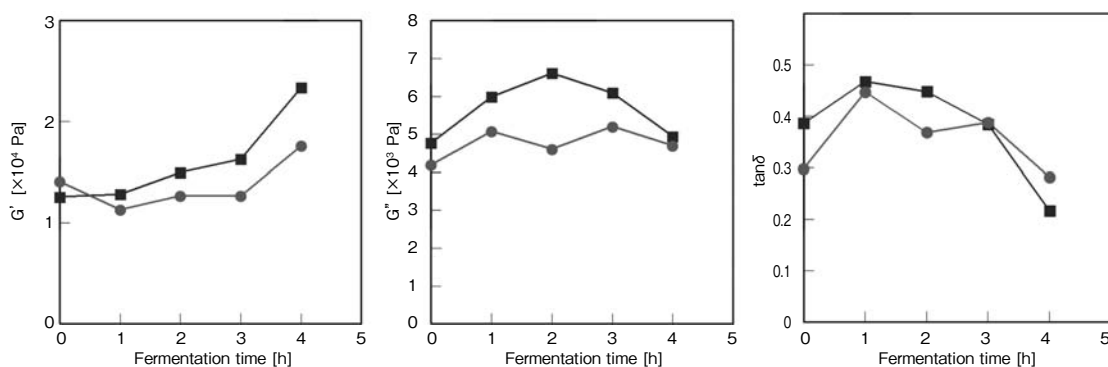


Fig. 4. Frequency dependence of storage modulus (G'), loss modulus (G''), and loss tangent ($\tan\delta$) of control bread dough prepared with mixed bread dough^a.

^a G' , G'' , and $\tan\delta$ obtained at a frequency of 1 rad/s.

—■—: control bread dough (dry yeast), —●—: mixed bread dough (dry yeast and *B. subtilis natto*)

ン生地粘性および弾性は低くなり、生地の構造に影響を与えることが示唆された。納豆菌を添加することによってG', G''に差異がみられたのは、パン生地同士が接合した部分のたん白質分子内および分子間の水素結合などが、発酵時間とともに架橋領域に変化が生じたと考えられる。

発芽大豆粉パンの比容積およびテクスチャー特性に及ぼす発酵時間の影響

発酵時間によるパンの比容積の結果をFig. 5に示す。パンの比容積は、コントロールパン、納豆菌添加パンともに発酵時間1時間で最大となり（コントロールパン $1.31 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ 、納豆菌添加パン $1.28 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ ）、発酵時間2時間まで維持したが、その後緩やかに低下した。そのため、官能評価および保存性の試料では、発酵時間1時間および2時間の試料を用いることとした。

次にテクスチャー特性に及ぼす発酵時間の影響の結果をFig. 6に示す。テクスチャー特性のかたさは、両パンとも発酵3時間まで発酵時間が長くなるに従い緩やかに低くなり、その後は変わらなかった。無発酵のコントロールパンのかたさは $7.6 \times 10^4 \text{ Pa}$ であるのに対し、発酵3時間のパンは $5.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ と低くなった。納豆菌添加パンは $7.4 \times 10^4 \text{ Pa}$ から $4.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ とやわらかくなり、各発酵時間においてもコントロールパンより低値を示した。付着性は、コントロールパンは無発酵 $8.5 \times 10^3 \text{ J/m}^3$ から発酵1時間で $4.0 \times 10^3 \text{ J/m}^3$ まで急激に低下し、発酵3時間後の $2.4 \times 10^3 \text{ J/m}^3$ まで緩やかに低くなった。しかし、納豆菌添加パンでは無発酵 $6.4 \times 10^3 \text{ J/m}^3$ から発酵1時間後に $2.4 \times 10^3 \text{ J/m}^3$ まで低下し、その後の変化はみられなかった。凝集性は、いずれの

試料も発酵時間が長くなるに従い、緩やかに低下傾向を示し、納豆菌添加による顕著な差はみられなかった。納豆菌を添加することにより、酵母のみで発酵しているコントロールパンよりもやわらかいパンを創製できることが示唆された。納豆菌が共存することによって大豆たん白質の分解が促進され、たん白質からペプチド、アミノ酸へと分解が進むことにより、テクスチャーに影響が及んだと考えられた。

発芽大豆粉パンの官能評価の結果

官能評価の結果をFig. 7に示す。無発酵のコントロールパンを基準とし、発酵1時間後の納豆菌添加パンを評価したところ分析型においては、ねばりがあると評価された。さらに発酵2時間後のコントロールパン、納豆菌添加パンは甘みが弱いと評価された。嗜好型に

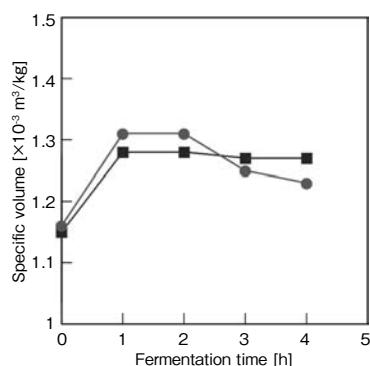


Fig. 5. Change of specific volume of breads during dough fermentation.

■ : control bread (dry yeast),
● : mixed bread (dry yeast and *B. subtilis natto*)

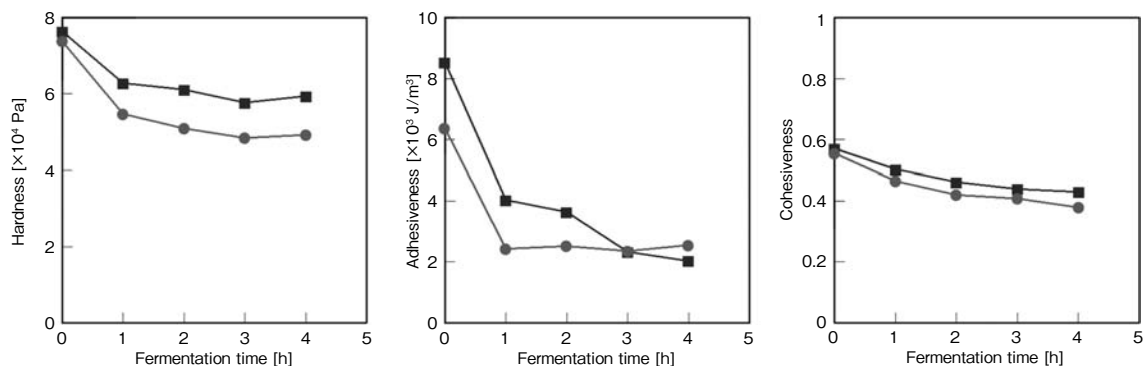


Fig. 6. Change of texture properties of breads during dough fermentation.

■ : control bread (dry yeast), ● : mixed bread (dry yeast and *B. subtilis natto*)

においては、納豆菌添加パンは総合的な評価が有意に低くなった。発酵時間が長くなるにつれて疎水性アミノ酸が加水分解されると苦味ペプチドの出現が高くなる³⁾ため、発酵時間の長いパンは甘味が弱くなり、特に納豆菌を添加したことによって、分解が速く進んでいることが示唆された。したがって、発芽大豆粉パンの発酵時間は嗜好性の面から1時間が適切であると示唆された。

発芽大豆粉パンの保存性

発芽大豆粉パンを4℃にて0～4日間保存した結果をFig. 8に示す。発酵時間1時間のコントロールパン、納豆菌添加パンいずれも保存日数とともに緩やかに増加し、少しずつかたくなった。しかし、保存3日目においても納豆菌添加パンはコントロールパンよりもやわ

らかく、コントロールパンのかたさは 5.3×10^4 Paであるのに対し、納豆菌添加パンは 4.3×10^4 Paであった。また、発酵時間2時間のパンにおいては、保存3日目でやわらかくなった。発芽大豆粉の成分は、たん白質が41.2%と最も多く、脂質21.5%、炭水化物13.0%、食物繊維12.0%、水分7.4%である。小麦粉や米粉等の穀粉を主原料とするパンの場合は、デンプンが主成分となり、デンプンの老化により保存日数とともにかたくなる。しかし、発芽大豆粉パンの場合は、たん白質が主成分であるため、デンプンによる老化の影響が少なく、かたくなりにくいと推察される。発芽大豆粉パンをX線回折装置を用いて回折強度により結晶性を評価したところ、各保存日数における結晶性のピークは現れず、保存日数が経ってもX線回折像に変化がみられなかった。

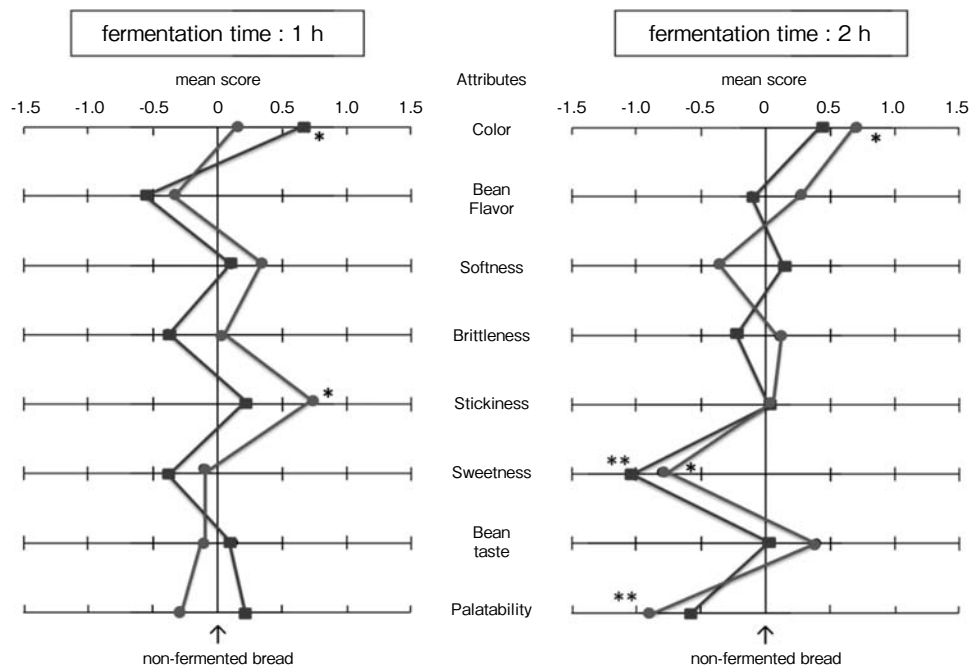


Fig. 7. Sensory evaluation of breads made from germinated soybean flour:

Fifteen panel members rated the color on a 7-point scale (3, yellowness; -3, Whiteness). Bean flavor, softness, brittleness, stickiness, sweetness, and bean taste were rated on a 7-point scale (3, extremely strong; -3, extremely weak). Palatability was evaluated on a 7-point scale (3, extremely liked; -3, extremely disliked).

* Significantly different from non-fermented bread ($p < 0.05$).

** Significantly different from non-fermented bread ($p < 0.01$).

—■— : control bread (dry yeast), —●— : mixed bread (dry yeast and *B. subtilis natto*)

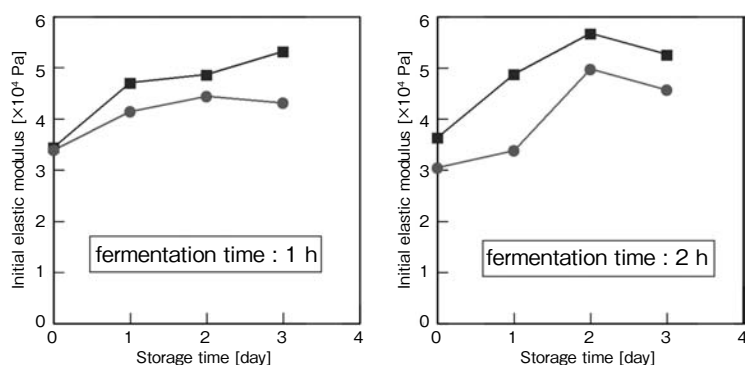


Fig. 8. Changes in the initial elastic modulus of breads during storage.

■ : control bread (dry yeast), ● : mixed bread (dry yeast and *B. subtilis natto*)

要 約

本研究では発芽大豆粉を主原料とした新規発酵食品を創製し、その発酵過程におけるパン生地およびパンのレオロジー特性の変化について検討した。発酵時間によるpHの変化は、コントロールパン、納豆菌添加パンともにpH6.0からpH5.5に緩やかに低下した。パン生地の貯蔵弾性率 G' 、損失弾性率 G'' 、損失正接 $\tan\delta$ は、納豆菌を添加することによりコントロールよりも低くなった。パンの比容積の変化はコントロール、納豆菌添加パンいずれも発酵時間1時間で最大となった。パンのかたさは発酵3時間まで緩やかに低くなり、その後は変わらなかった。パンの付着性は、コントロールパンは発酵3時間後まで低くなったが、納豆菌添加パンでは発酵1時間後に低下し、その後の変化はみられなかった。官能評価においては、発酵0時間のコントロールパンを基準とし、発酵1時間後の納豆菌添加パンを評価したところねばりがあると評価され、さらに発酵2時間後のコントロールパン、納豆菌添加パンは甘みが弱いと評価された。

文 献

- 1) Wada K, Nakamura K, Tamai Y, Tsuji M, Kawachi T, Hori A, Takeyama N, Tanabashi S, Matsushita S, Tokimitsu N and Nagata C (2013): Soy isoflavone intake and breast cancer risk in Japan: from the Takayama study. *Int J Cancer*, **133**, 952-960.
- 2) 辻美智子, 肥田由紀子, 東野真由美, 藤井恵子 (2010): リポキシゲナーゼ完全欠失大豆を主原料とする大豆麺の物性および嗜好性, 日本給食経営管理学会誌, **4**, 75-85.
- 3) 山崎吉郎 (1987): 納豆中の苦味ペプチド, 日本家政学会誌, **38**, 93-97.