

分離大豆たん白質を用いた「とうふよう」の製造に関する 研究—熟成過程における製品の物性変化—

STUDIES ON PRODUCTION OF TOFUYO USING SOY PROTEIN ISOLATE—CHANGES IN PHYSICAL PROPERTIES OF THE PRODUCT DURING RIPENING PERIOD—

安田正昭・森川誠司（琉球大学農学部）

Masaaki YASUDA and Seiji MORIKAWA

College of Agriculture, University of the Ryukyus, Okinawa 903-01

ABSTRACT

New fabricated tofuyo which is prepared from soy protein isolate (SPI) is a useful model system for a traditional tofuyo, because it is more simple method and easier to produce uniform quality than those of traditional one. Thus, this method was used in order to reveal the ripening mechanisms of tofuyo. In this paper, changes in physical properties of tofuyo during 60-day fermentation, which was prepared by red, yellow, and their mixed kojis, were investigated. The values of hardness, brittleness, gumminess and breaking strength of the product increased for initial 5 days of ripening, but they decreased after 5 days of ripening. Cohesiveness of the products decreased during the ripening period. These physical values of the product prepared by red koji were higher than those of yellow koji. And these values of the product prepared by mixed koji were situated between red and yellow kojis. Creep behavior curves of the product were also investigated. Although compliance of the product prepared by red koji decreased during the ripening period, its value of the product of yellow koji increased during the ripening period. Deformation of the products prepared by red, mixed, and yellow kojis depended upon the elasticity, both elasticity and viscoelasticity, and viscoelasticity, respectively. *Nutr. Sci. Soy Protein*, **11**, 11-16, 1990.

「とうふよう」¹⁾はチーズ様風味を有し、貯蔵性、嗜好性に優れたユニークな大豆の発酵食品として最近注目されつつある。しかしながら、伝統的な製造法では、原料豆腐の製造工程が煩雑で、しかも均質な製品が得られ難いという欠点があり、その欠点をクリアーする技術開発が必要とされ、著者ら^{2,3)}は分離大豆たん白質(SPI)を用いた「とうふよう」の新しい製造法を明らかにした。

本法は、伝統的な製造法に比べてたん白ゲルの調製が容易であることおよび高純度のたん白質を用いる単

純な系であることから「とうふよう」の実験モデルとしても有効である。そこで、「とうふよう」の熟成機構を解明するために本法を採用することにし、これまでに熟成過程における製品の大豆たん白質および窒素成分の変化について調べてきた^{4,5)}。「とうふよう」熟成のメカニズムを明らかにするためには、製品の化学成分の変化以外にも物理的性質の変化についても調べる必要があり、本報においては熟成過程における製品の物性変化について検討した。

実験方法

「とうふよう」の製造

1) 大豆たん白ゲルの調製

大豆たん白ゲルの調製は既報³⁾に従い、分離大豆たん白質(ニューフジプロ SE)を用いて行った。

2) 紅麹の製麹

紅麹菌(*Monascus* sp. No. 3403)を蒸米に生育させた米麹の調製は既報⁶⁾の方法に従って行った。

3) 黄麹の製麹

黄麹(*Aspergillus oryzae*)を蒸米に生育させた米麹の調製は既報⁷⁾の方法に従って行った。

4) 「とうふよう」の調製

「とうふよう」の調製は既報⁴⁾の方法に従い、紅麹、黄麹および両者の混合麹による諸味に1)で得た大豆たん白ゲルを漬け込み、30℃で60日間熟成させることにより行った。なお、今回使用した泡盛はアルコール濃度が30%のものであった。

製品の物性測定

1) テクスチャー試験

テクスチャー測定は、試料台の上下運動により、試料の変形による応力のテクスチャー曲線を求め、製品の官能的な評価を解析する方法である。

各期間熟成させた試料(試料の形状: $\phi 20 \times 20$ mm, 熟成期間: 0, 5, 15, 30, 60日) 5個ずつの物性値をクリーブメーター(山電機製, レオナー RE-3305)で測定し、その平均値で表した。硬さ、凝集性、付着性、ガム性、もろさの測定条件は下記の通りである。プランジャーの材質: ポリアセタール樹脂, プランジャーの形: 直径40 mm の円板状, 圧縮率: 10%, 荷重回数: 2回, 試料台速度: 1 mm/sec, チャートスピード: 240 mm/min, 感度電圧1 Vで、得られたテクスチャー曲線から、各パラメータの値を常法により求めた。

2) 破断強度

各熟成期間の試料(試料の形状: $\phi 20 \times 20$ mm, 熟成期間: 0, 5, 15, 30, 60日) 5個ずつの破断強度をクリーブメーター(山電機製, レオナー RE-3305)で測定し、その平均値で表した。

破断強度の測定条件は次の通りである。

プランジャーの形: 直径5 mm の円筒形, クリアランス: 5 mm, 試料台速度: 1 mm/sec, なお, プランジャーの材質, チャートスピードについては, テクスチャー試験(硬さ, 凝集性, 付着性, ガム性等)の場合と同様である。得られた破断曲線から, 破断した時の荷重量(F)を読み取り, 下記の式より破断強度を求めた。

破断強度(dyne/cm²) = $F \times 980 / S$ 但し, Sはプランジャーの断面積(cm²), 980は重力の加速度である。

3) クリーブ測定

クリーブ測定は、試料を一定荷重で圧縮変形させ、一定時間後に除去した時の変形量をチャート紙に記録させ、解析する方法である。各熟成期間の試料(試料の形状: $\phi 20 \times 20$ mm, 熟成期間: 0, 5, 15, 30, 60日) 5個ずつの物性値を20℃で、クリーブメーター(山電機製, レオナー RE-3305)で測定し、その平均値で表した。

プランジャーの形: 直径40 mm の円板状, 荷重: 300 g, 試料台上昇速度: 5 mm/sec, 荷重時間: 5 min, チャートスピード: 20 mm/min, 感度電圧: 0.4 Vで、得られたクリーブ曲線および除重後のクリーブ回復曲線を1個の弾性模型, 2個のフォークト体模型および1個の粘性模型とを直列に連結した6要素模型で解析した。

結果と考察

テクスチャー試験

最終製品の試料がソフトゲルであることから、破断を起こさない程度でテクスチャー試験を行った。

1) 熟成過程における製品の硬さの変化

硬さは「とうふよう」を口の中に入れたとき、舌と上顎の間で押しつぶすのに必要な力の度合いを表したものである。熟成過程における「とうふよう」の硬さの変化を調べ、その結果をFig. 1に示した。製品の硬さは熟成5日目まで増大し、5日目以降では低下し、熟成30~60日目ではほぼ一定の値を示した。熟成60日目における製品の硬さは紅麹の製品で555 g, 混合麹で368 g, 黄麹で343 gであった。混合麹による製品は、紅麹と黄麹による製品の中間に位置していた。

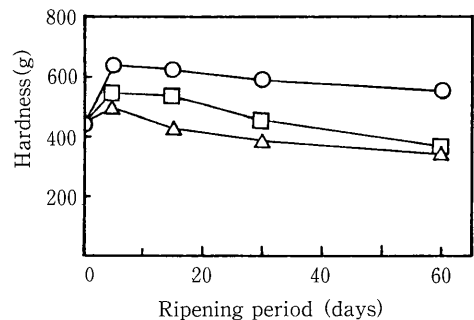


Fig. 1. Changes in hardness of tofuyo during ripening period. —○—, Red koji; —□—, Mixed koji; —△—, Yellow koji.

2) 熟成過程における製品の凝集性の変化

凝集性は、「とうふよう」の形態を形成している内部結合の強さを表した数値で示される。熟成過程における製品の凝集性の変化を調べ、その結果を Fig. 2 に示した。製品の凝集性は紅麹、混合麹、黄麹区のいずれの場合もほぼ同様の傾向で変化し、その値はそれぞれ熟成の進行に伴い低下した。この現象は熟成過程における製品の純たん白質の分解パターンとよく一致していた⁴⁾。従って、大豆たん白質は麹に由来するもろみ中のプロテアーゼの作用により、分解を受け、特に S-S 結合が切断されることにより、この数値が低下したものと推定される。熟成60日目における製品の凝集性は紅麹の製品で0.84、混合麹で0.78、黄麹で0.77であり、いずれも0.8前後の値を示した。

3) 熟成過程における製品のもろさの変化

もろさは、「とうふよう」を口に入れ、舌と上顎で押しつぶし、その崩れ易さの度合いを表したものである。熟成過程における製品のもろさの変化を調べ、その結

果を Fig. 3 に示した。紅麹、混合麹、黄麹による製品のもろさの変化は、熟成初期には、硬さの変化の場合とよく似た傾向を示し、熟成後期では、凝集性の場合と同様の变化を示した。

4) 熟成過程における製品の付着性の変化

付着性は「とうふよう」の表面と口の中で、舌、歯、唇などの表面に付着した状態を引き離すのに必要な力で表される数値である。熟成過程における製品の付着性の変化を調べ、その結果を Fig. 4 に示した。紅麹、混合麹、黄麹いずれの区においても熟成15日目まで増大し、それ以降は低下した。各製品の付着性は紅麹、混合麹、黄麹間で顕著な差異は見られなかった。

5) 熟成過程における製品のガム性の変化

ガム性は「とうふよう」を飲み込める状態にまで崩壊させるのに必要な力で、硬さと凝集性との積で表される数値である。熟成過程における製品のガム性の変化を調べ、その結果を Fig. 5 に示した。製品のガム性の変化は5日目まで増大し、5日目以降では低下した。

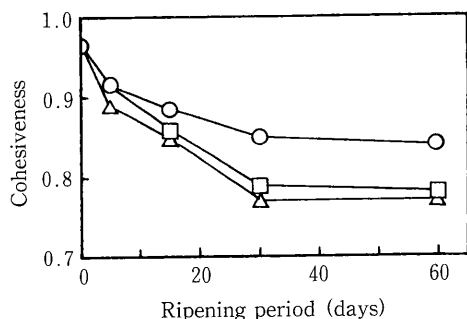


Fig. 2. Changes in cohesiveness of tofuyo during ripening period. —○—, Red koji; —□—, Mixed koji; —△—, Yellow koji.

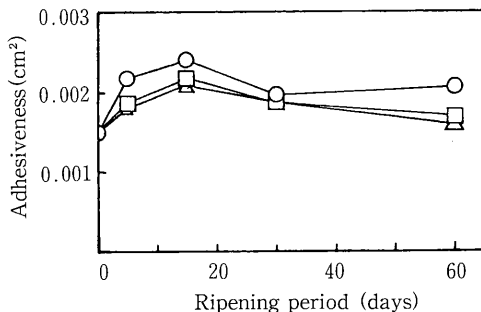


Fig. 4. Changes in adhesiveness of tofuyo during ripening period. —○—, Red koji; —□—, Mixed koji; —△—, Yellow koji.

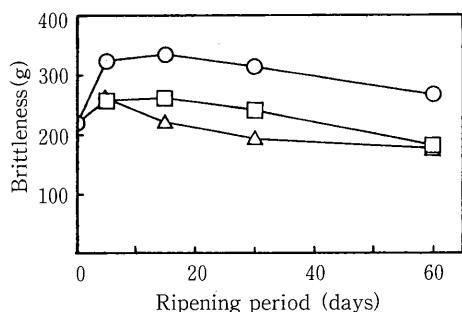


Fig. 3. Changes in brittleness of tofuyo during ripening period. —○—, Red koji; —□—, Mixed koji; —△—, Yellow koji.

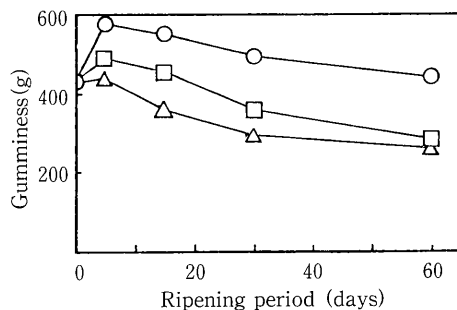


Fig. 5. Changes in gumminess of tofuyo during ripening period. —○—, Red koji; —□—, Mixed koji; —△—, Yellow koji.

熟成60日目における製品のガム性は紅麹、混合麹、黄麹の順であった。

破断強度

食品にある力を加えて変形を続けると、ついには破壊する現象が見られ、これを破断といい、破断を引き起こすのに必要な力を破断強度と呼んでいる。熟成過程における製品の破断強度の変化を調べ、その結果をFig. 6に示した。製品の破断強度は硬さの場合とはほぼ同様の变化 (Fig. 1) を示し、熟成5日目に増大したが、それ以降は熟成の進行に伴い低下した。なお、図には示されていないが、製品の断面積は熟成5日目に減少し、それ以降は若干回復する傾向が見られた。また、製品の水分含量も熟成5日目で減少した。これらの事実から、熟成初期で、大豆たん白ゲルは諸味の浸透圧との関係で離水を起こし、ゲル自体に収縮が起こったものと思われる。その結果、製品の硬さ (Fig. 1)、もろさ (Fig. 3)、ガム性 (Fig. 5) および破断強度の値が熟成初期 (5日目) に増大したものと思われる。熟

成5日目以降では、大豆たん白ゲルは諸味の浸透圧に十分なじみ、諸味中のプロテアーゼの作用を受け、製品の物性が変化したものと思われる。

熟成60日目における製品の破断強度は紅麹区で13.7、混合麹区8.7、黄麹区で 6.6×10^5 dyne/cm²の順であった。紅麹区と黄麹区の間では、製品の物性値に差異のあることが観察された。

クリープ解析

1) 熟成過程における製品のクリープ曲線の変化

「とうふよう」の熟成過程におけるクリープ曲線の変化を調べ、その結果をFig. 7に示した。紅麹による製品のコンプライアンスは熟成0日目から5日目にかけて減少した。しかし、5日目以降60日目まで、この値に顕著な変化は見られなかった。これに対して混合麹による製品のコンプライアンスは熟成0日目から5日目に減少し、熟成時間の進行に伴い増大した。熟成60日目におけるコンプライアンスは熟成0日目に比べて増大した。黄麹による製品のコンプライアンスは熟成5日目で減少したが、それ以降60日目にかけて増大した。熟成30日目以降は0日目に比べて増大した。以上の事実から、紅麹と黄麹による「とうふよう」の一定荷重における変形は紅麹区に比べて黄麹区のものの方が大きいこと、そして混合麹区の製品はその中間型であることがわかった。

2) 熟成過程における製品の粘弾性変化

クリープ曲線から求めたフックの弾性変形を S_1 、2つのフォークト体の粘弾性変形を S_2 および S_3 、ニュートン粘性変形を S_4 とし、熟成過程における製品のこれらの構成成分の変化を求め、Fig. 8に示した。紅麹区においては、 S_1 、 $S_2 + S_3$ ははじめ減少したがそれ以降はわずかな減少にとどまった。 S_4 は熟成期間を通してほとんど変化は見られなかった。熟成0日目にお

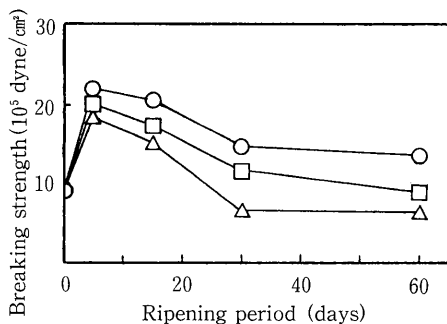


Fig. 6. Changes in breaking strength of tofuyo during ripening period. —○—, Red koji; —□—, Mixed koji; —△—, Yellow koji.

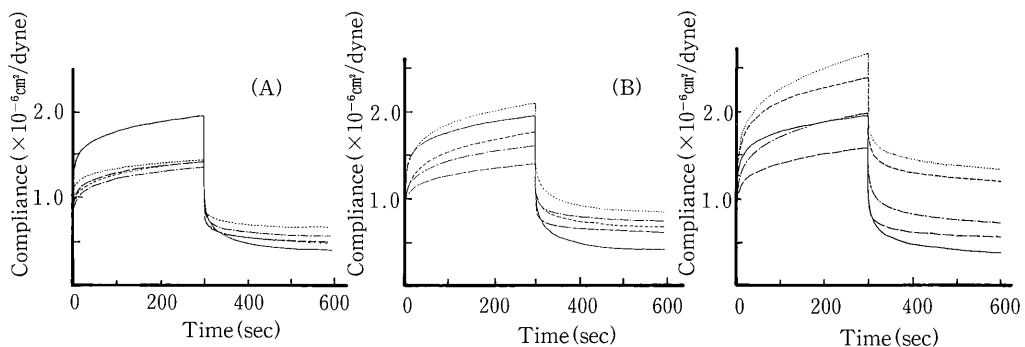


Fig. 7. Changes in creep behavior curves of tofuyo during ripening period.

[A], Red koji; [B], Mixed koji; [C], Yellow koji

—, 0 day; — —, 5 days; —•—, 15 days; — — —, 30 days; ·····, 60 days of ripening.

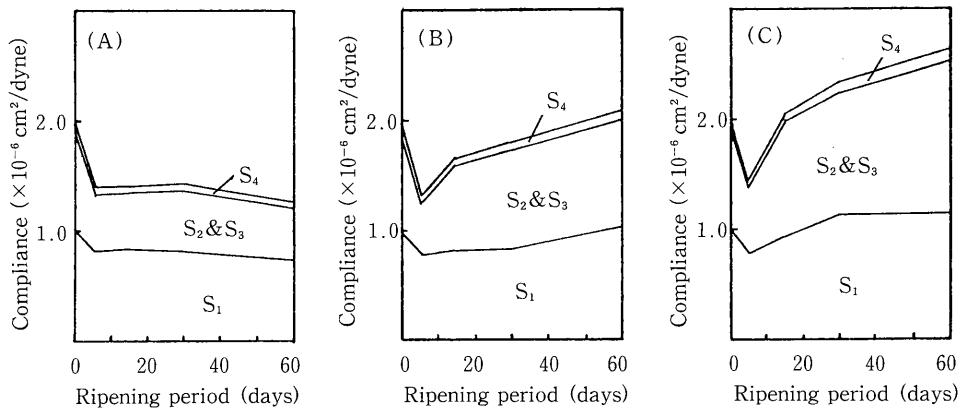


Fig. 8. Changes in each rheological component to deformation behavior of tofuyo during ripening period.
[A], Red koji; [B], Mixed koji; [C], Yellow koji.

る製品のコンプライアンスを比較すると、 S_1 による変形は全体の50.2%, S_2+S_3 で44.2%, S_4 で5.6%であった。このことから、熟成0日目における製品の変形はフックの弾性変形に大きく依存していることがわかった。Kamataら^{8,9)}はいくつかの食品たん白から加熱ゲルを調製し、その物性を調べている。それによれば、大豆たん白ゲル変形の主成分は弾性変形であり、ニュートンの粘性はわずかであることが報告され、著者らの結果ともよく一致した。しかし、SPIのゲルを発酵させた製品の物性に関する報告は見られない。熟成60日目における製品のコンプライアンスを比較すると、 S_1 による変形は全体の57.9%, S_2+S_3 で37.9%, S_4 で4.8%であり、この場合にも製品の変形はフックの弾性変形に大きく依存していることがわかった。

混合麹区においては、熟成5日目まで S_1 、 S_2+S_3 は急激に減少したが、それ以降は熟成60日目まで徐々に増大した。 S_4 は熟成期間を通してほとんど変化が見られなかった。熟成60日目における製品のコンプライアンスを比較すると、 S_1 による変形は全体の49.8%, S_2+S_3 で46.4%, S_4 で3.8%であった。このことから、製品の変形はフックの弾性変形とフォークト体の粘弾性変形にほぼ等しく依存していることがわかった。

黄麹区においては、熟成5日目までは S_1 、 S_2+S_3 が急激に減少した。それ以降は熟成60日目まで緩やかに増大した。 S_4 は熟成5日目以降緩やかに増大した。熟成60日目における S_1 による変形は全体の42.5%, S_2+S_3 で53.0%, S_4 では4.5%であった。このことから、製品の変形はフォークト体粘弾性変形に最も大きく依存していることがわかった。

熟成過程における製品のフックの弾性率、遅延粘弾

性部のフォークト体の弾性率、その粘性率、定常粘性部におけるニュートン体の粘性率を調べたところ、いずれも、紅麹による製品は黄麹による製品に比べてその値が大きく、混合麹による製品のそれらの値は両者の中間に位置していた。従って、紅麹による「とうふよう」は黄麹によるものに比べて強いスプリングをもち、流動変形も起こし難い構造を有していることがわかった。混合麹区による製品の変形は紅麹区と黄麹区によるものの中間型であった。

「とうふよう」の物性はその製造に用いる微生物(紅麹菌^{6,10)}、黄麹菌⁷⁾)の特性と密接な関係があり、特に、両麹菌の生産するプロテアーゼの基質特異性等の酵素化学的性質の差異が製品の物性に影響を与えたものと思われる。

「とうふよう」の熟成機構を解明するためには、熟成過程における製品の化学成分の変化、物性変化および組織内部の微細構造変化を電子顕微鏡的に明らかにする必要があるが、今回は特に製品の物性変化について調べた。また、SPIによる「とうふよう」の物性変化と伝統的なそれとの比較検討を行うことも重要であり、現在進行中である。「とうふよう」の特徴である「なめらかさ」については、種々の要因が組み合わされた総体としてとらえるべきであり、今後の検討課題である。また、製品の物性変化と組織内部の微細構造の変化との関係についても今後明らかにしたい。

文 献

- 1) 安田正昭(1987): とうふようの製造と特性. 食品と科学, **29**, 106-109.
- 2) 安田正昭(1990): とうふようの製造に関する研

- 究—製造秘伝の科学的解析と技術展開. 日本食品工業学会誌, **37**, 403-409.
- 3) 安田正昭, 長松九一郎, (1987): 分離大豆たん白質を用いた「とうふよう」の製造に関する研究—大豆たん白ゲル調製条件の検討. 大豆たん白質栄養研究会会誌, **8**, 12-16.
 - 4) 安田正昭, 長松九一郎, 森川誠司 (1988): 分離大豆たん白質を用いた「とうふよう」の製造に関する研究—熟成過程における大豆たん白質の分解. 大豆たん白質栄養研究会会誌, **9**, 19-24.
 - 5) 安田正昭, 長松九一郎, 森川誠司 (1989): 分離大豆たん白質を用いた「とうふよう」の香味成分に関する研究—熟成過程におけるアミノ酸, 糖, 有機酸の変化. 大豆たん白質栄養研究会会誌, **10**, 18-22.
 - 6) 安田正昭, 上地玄作, 宮里興信 (1983): 豆腐よう製造に用いる紅麴の製造. 日本食品工業学会誌, **30**, 63-67.
 - 7) 安田正昭, 上地玄作, 宮里興信 (1981): 豆腐よう製造に用いる黄麴の製造について. 琉球大学農学部学術報告, **28**, 111-118.
 - 8) Kamata Y., Rector D. and Kinsella J.E. (1988): Influence of temperature of creep phenomena in glycinin gels. *J. Food Sci.*, **53**, 589-591.
 - 9) Kamata Y., Rector D. and Kinsella J.E. (1989): A comparison of creep phenomena in food protein gels. *J. Food Sci.*, **54**, 170-172.
 - 10) Yasuda M., Soeishi K. and Miyahira M. (1984): Purification and properties of acid protease from *Monascus* sp. No. 3403. *Agric. Biol. Chem.*, **53**, 247-249.