

## 豆乳の加熱条件と木綿豆腐のテクスチャーとの関係について

下 橋 淳 子 寺 田 和 子

### Relationship of Heating Condition of Soybean Milk to Texture of Momen Tofu

Atsuko SHIMOHASHI Kazuko TERADA

#### 緒 言

大豆は昔から優れた植物性タンパク質源として利用されてきた食品である。

大豆の代表的な加工食品である豆腐は、大豆の水溶性タンパク質を凝固させた物であるが、大豆を磨砕した後の呉汁の加熱変性の程度、豆乳のタンパク質濃度、凝固剤の種類と添加濃度、凝固剤を添加する時の豆乳の温度、添加のタイミングなどさまざまな要因が生成した豆腐のテクスチャーに関与していると考えられる。

今回、著者らは大豆タンパク質の溶出および凝固剤添加時の加熱条件の違いによる木綿豆腐のテクスチャーへの影響を調べ、いくつかの知見を得たので報告する。

#### 実 験

試料 北海道産大豆 品種；鶴の子

##### 1. 大豆タンパク質の抽出

試料大豆20gを脱イオン水で水洗後200mlの脱イオン水に約17時間浸漬した。

水切り後、150mlの脱イオン水を加え、ミキサーで1分間磨砕し、未加熱試料①と加熱条件の異なる試料②、③を調製した。

##### ① 未加熱試料

呉汁を吸引濾過し、脱イオン水で200ml定容とした。

##### ② 95℃加熱試料

呉汁に消泡剤として食品添加物用のシリコン樹脂を数滴添加し、95±2℃で5分間加熱後、吸引濾過し脱イオン水で200ml定容とした。

##### ③ 100℃加熱試料

呉汁に消泡剤として食品添加物用のシリコン樹脂を数滴添加し、100±2℃で10分間加熱後、吸引濾過し脱イオン水で200ml定容とした。

##### 2. 試料中の溶出タンパク質量

試料①～③につき、ケルダール法<sup>1)</sup>により全窒素量を測定し、大豆、大豆製品の窒素－タンパク質換算係数5.71を乗じて大豆のタンパク質含量を求め、国産大豆のタンパク質成分表値35.3%から溶出率を算出した。

##### 3. 加熱による大豆タンパク質の変性

ドデシル硫酸ナトリウム-ポリアクリルアミドゲル電気泳動法(SDS-PAGE)<sup>2)</sup>によりタンパク質を分離した。

実験1で抽出した豆乳を4倍に希釈しこれに等量の試料用緩衝液(2%SDS、40%グリセロール、2%2-メルカプトエタノールアミン、0.04%BPBを含む20mMトリス-塩酸緩衝液)を加え、100℃2分間の加熱処理後SDS-PAGE用試料とした。試料は、10%ポリアクリルアミドゲルにより定電流20mAで約90分間泳動後クーマシーブリアントブルー染色を行った。

##### 4. 木綿豆腐の調製

図1に木綿豆腐の調製工程を示した。

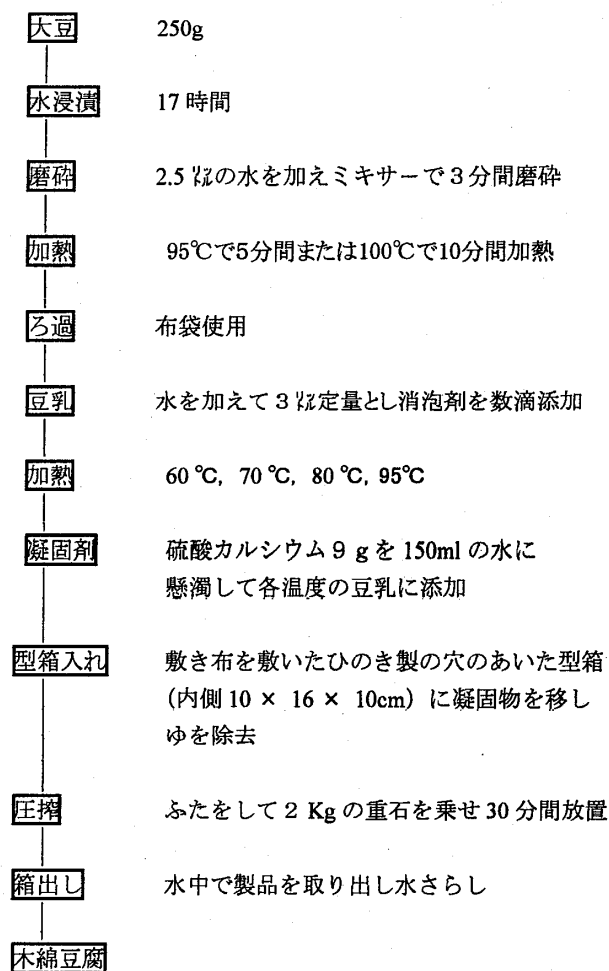


図 1 木綿豆腐の調製工程

木綿豆腐は条件別に複数回調製した。

#### 5. 木綿豆腐のテクスチャー

各試料について、レオロメーター(レオロメータ・マックスRX-1700 株式会社アイテクノ)により硬さ、弾力性、凝集性を測定した。

表 1 にレオロメータ・マックスの測定条件を示した。

表 1 レオロメータ・マックスの測定条件

プランジャー	40mm
定速速度	300mm / min
クリアランス	2mm
感度	2.5Kg ,5.0Kg または 10.0Kg

試料は、20×20×20mmに切断し 1 試料につき30箇所程度測定してその平均値±標準偏差を求めた。

#### 結果および考察

図 2 に加熱条件の違いによるタンパク質の溶出率を示した。

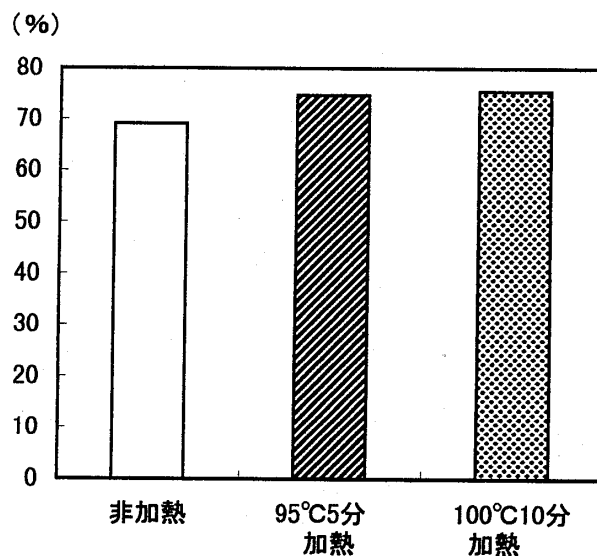


図 2 タンパク質の溶出率

国産大豆には、約35%のタンパク質が含まれ、その約85%がグロブリン系タンパク質のグリシニンである。グリシニンは本来、水に不溶であるが、磨砕したり加熱したりすることにより共存する無機塩やレシチンの作用で全体の80%程度が水溶性タンパク質として溶出される。<sup>3)</sup>今回の実験によるとタンパク質の溶出率は非加熱試料では69.0±1.8%、95℃ 5分間の加熱では74.7±2.3%、100℃ 10分間の加熱では75.5±2.4%であった。加熱によりタンパク質の溶出率は約6%増加したが、95℃ 5分間の加熱と100℃ 10分間の加熱では溶出率にほとんど差がみられなかった。

豆腐の製造において、呉汁を加熱することは重要な工程のひとつである。

呉汁の加熱目的は、タンパク質の溶出とトリプシンインヒビター、ヘマグルチニン、リポキシゲナーゼなどの有害物質の不活性化、さらに大豆タンパク質にある程度の加熱変性を起こさせることにあると考えられる。

95℃ 5分間の加熱でも、大豆特有の青豆臭が消えたことからタンパク質の溶出と有害物質の不活性化のためには、必ずしも呉汁を沸騰させる必要はなく、95℃ 5分間の加熱でも十分であると考えられた。加熱が過度になると、吹きこぼれや焦げ付きが起りやすく、ろ過も困難になるため呉汁の加熱は大豆特

有の青豆臭が消え、豆腐特有の臭いが生成する時点を目安とするのがよいと思われる。

図3に加熱条件の異なる豆乳のSDS-PAGEパターンを示した。

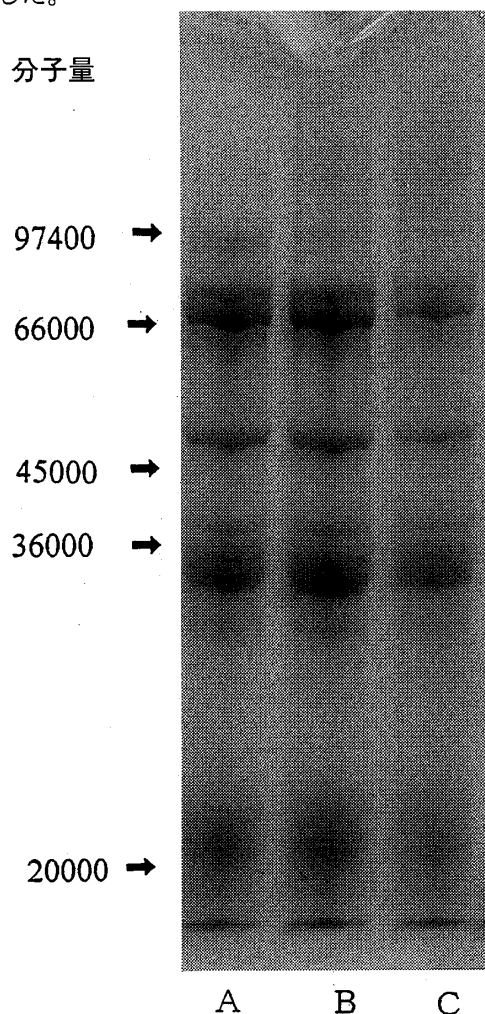


図3 加熱条件の異なる豆乳のSDS-PAGEパターン

- A 未加熱試料
- B 95℃ 5分間加熱試料
- C 100℃ 10分間加熱試料

未加熱試料(A)と95℃5分間加熱試料(B)および100℃10分間加熱試料(C)では、分子量97400のタンパク質にわずかに差異が認められ、加熱によりこのタンパク質が消失することが観察された。

しかし、その他には、加熱によるバンドパターンの差異は認められなかった。

A、B、Cいずれも分子量66000、45000、36000、20000付近のタンパク質が主なタンパク質として認められた。

大豆の主要なタンパク質であるグリシニンは、約350000の分子量を有し、分子量22500~45000の低分子サブユニットと分子量58000~63000の高分子サブユニットの2つのグループに分けられ、サブユニットの数は6つ<sup>4)5)</sup>とされる。またβ-コングリシニンは、約180000の分子量を有し、3つのサブユニットを持つ。<sup>6)</sup>β-コングリシニンのサブユニットは、グリシニンのサブユニットより分子量が大きいという報告もある。<sup>5)</sup>

これらのことから分子量66000、45000、36000付近のバンドは、グリシニンおよびβ-コングリシニンのサブユニットであると考えられた。

分子量20000よりやや分子量の大きい位置にあるバンドは分子量21900~31800でサブユニットを持たないα-コングリシニンであると推定される。<sup>7)</sup>

加熱による消失が認められた分子量97400のバンドは分子量89000~105000のヘマグルチニンではないかと推定された。<sup>8)</sup>

大豆のグロブリンは、グリシニンとβ-コングリシニンで約70%を占め、大豆タンパク質の性質は、この2つの成分による影響が大きいと考えられる。

橋詰らは、水抽出したこれらのグロブリンは、加熱により変化し、β-コングリシニンは、60℃で減少し70℃で消失するのに対し、グリシニンは、80℃以下では変化せず、90℃で減少し、100℃で消失したことを報告している。<sup>9)</sup>

今回のSDS-PAGEパターンからはサブユニットに起こった変性を知ることはできないが、グリシニン分子は加熱により分子形状が大きく変化するわけではなく、サブユニットの配置の変化、疎水領域の分子表面への露出、アミノ酸残基の状態変化が起こり、反応性が高まってゲル化を引き起こすことが明らかにされている。<sup>10)</sup>

表2に木綿豆腐のテクスチャーを示した。

表2 木綿豆腐のテクスチャー

呉汁の加熱条件	凝固剤添加温度	硬さkg	弾力性	凝集性	出来上がり量
95℃5分	60℃	2.016±0.373	0.209±0.031	0.197±0.028	900g
	70	3.133±0.315***a	0.188±0.031	0.204±0.027	880
	80	3.544±0.606**b	0.221±0.038*c	0.213±0.032	755
	95	5.272±0.669	0.218±0.026	0.234±0.019	665
100℃10分	60	凝固せず			
	70	2.134±0.180***a	0.213±0.007	0.185±0.015	180
	80	3.098±0.404**b	0.196±0.032*c	0.219±0.028	870
	95	5.341±0.727	0.222±0.022	0.244±0.032	620

アルファベットは同じものどうし有意差あり

\*\*\* 0.5%の危険率で有意差あり  
 \*\* 1%の危険率で有意差あり  
 \* 5%の危険率で有意差あり

また、表3、表4に凝固剤添加温度の違いによる有意差検定の結果を示した。

表3 呉汁の加熱温度95℃ 5分間の場合の凝固剤添加温度による有為差検定

凝固剤添加温度	60℃	70℃	80℃	95℃
60℃		硬さ***	硬さ***	硬さ*** 凝集性***
70℃			硬さ*** 弾力性***	硬さ*** 弾力性*** 凝集性***
80℃				硬さ***

\*\*\* 0.5%の危険率で有意差あり

表4 呉汁の加熱温度100℃ 10分間の場合の凝固剤添加温度による有為差検定

凝固剤添加温度	70℃	80℃	95℃
70℃		凝集性**	硬さ*** 凝集性***
80℃			硬さ*** 弾力性*** 凝集性***

\*\*\* 0.5%の危険率で有意差あり

\*\* 1%の危険率で有意差あり

木綿豆腐の硬さは、呉汁を95℃ 5分間加熱した試料では凝固剤添加温度の違いによりそれぞれ危険率0.5%で有意差が認められたが、呉汁を100℃ 10分間加熱した試料では、凝固剤添加温度70℃での試料が少量であったため70℃と80℃の試料間に有意差は認められなかった。しかしそれ以外の試料間には、それぞれ危険率0.5%で有意差が認められた。

木綿豆腐の硬さは、凝固剤添加温度が低いほど減少し、出来上がり量も多く保水性のある柔らかな木綿豆腐が得られた。凝固剤添加温度が高温になると

凝固物が硬くしまって、得られた木綿豆腐の硬さは市販の木綿豆腐 (1.970±0.498kg) の2.5倍以上の硬さになった。また、呉汁の加熱条件により、凝固剤添加温度が同じでも70℃と80℃の硬さにそれぞれ危険率0.5%と1.0%で有意差が認められ、呉汁の加熱を100℃ 10分間行った方が柔らかい木綿豆腐が得られることがわかった。しかし、呉汁の加熱が過度になると凝固剤添加温度70℃以下では、出来上がり量がきわめて少量となることから、呉汁の加熱は過度に行うとゲル形成能が著しく低下することが示唆され

た。凝固剤添加温度を低くして、柔らかい木綿豆腐を得ようとするならば呉汁の加熱条件を95℃5分間とした方が実用的であると思われた。

木綿豆腐の弾力性は、呉汁の加熱条件95℃5分間で、凝固剤添加温度70℃と80℃および95℃の試料間にそれぞれ危険率0.5%で有意差が認められ、100℃10分間では、凝固剤添加温度80℃と95℃の間に危険率0.5%で有意差が認められた。凝固剤添加温度が高い方が弾力性は大きくなる傾向がみられた。

また、凝固剤添加温度が80℃の場合のみ呉汁を100℃10分間加熱した方が危険率5.0%で有意に弾力性の小さい木綿豆腐が得られた。

木綿豆腐の凝集性は、呉汁の加熱条件が95℃5分間の試料では60℃と95℃、70℃と95℃の試料間に危険率0.5%で有意差が認められ、100℃10分間の試料では70℃と95℃、80℃と95℃の試料間に危険率0.5%、70℃と80℃の試料間に危険率1.0%で有意差が認められた。このことから凝固剤添加温度が高くなるに従って凝集性が増すことがわかった。しかし、呉汁の加熱条件の異なる試料では同じ凝固剤添加温度の試料間に有意差は、認められなかった。

以上のテクスチャーの測定結果や出来上がり量から、木綿豆腐の調製には呉汁の加熱は過度にならないようにし、凝固剤添加時の豆乳の温度は、70℃前後が適当であることがわかった。

グリシニンと $\beta$ -コングリシニンから調製した豆腐を比べるとグリシニン豆腐の方が硬く、凝集性も高くなることから<sup>11)</sup>加熱温度が高いほど熱に敏感な $\beta$ -コングリシニンの残存量が少なくなるために豆腐は硬くなるものと考えられた。

また、豆腐はSH基の多い状態で凝固させた方が硬くなるという報告もある。<sup>12)</sup>

100℃で加熱した呉汁ではグロブリン内部のSH基が完全に露出するため凝固剤を添加する時にはSH基の酸化が進んでおり、ゲル形成能が低下し凝固しにくくなると考えられた。

## 要 約

豆腐の調製過程における呉汁の加熱条件と凝固剤添加温度の違いによる木綿豆腐のテクスチャーへの影響を調べ次のような結果を得た。

1. 大豆タンパク質は、呉汁を95℃～100℃で5分～10分間加熱することにより、75%程度溶出され、未

加熱の呉汁より約6%溶出率が増加した。

2. ドデシル硫酸ナトリウム-ポリアクリルアミド電気泳動法による加熱条件の異なる豆乳の泳動パターンでは、分子量97400のバンドに加熱による消失が認められた。
3. 凝固剤添加時の豆乳の温度が高くなるほど豆腐の硬さ、凝集性は増加した。
4. 呉汁の加熱が過度になると凝固物は生成しにくくなり、100℃10分間加熱の方が95℃5分間加熱より凝固剤添加温度が70℃、80℃の場合は豆腐の硬さが有意に減少した。
5. 木綿豆腐の調製は、呉汁の過度の加熱をさけ、豆乳への凝固剤添加温度を70℃前後で行うのが適当であることがわかった。

## 文 献

- 1) 日本食品工業学会 新食品分析法編集委員会編；新・食品分析法，光琳，40(1996)
- 2) 泉 美治ら編；生物化学実験のてびき2 タンパク質の分離・分析法，化学同人，21(1985)
- 3) 古賀 克也編；食品加工実習，三共出版，30(1990)
- 4) K. Kitamura, et al; Agr. Biol. Chem., 40, 1837(1976)
- 5) K. Hashizume, et al; Agr. Biol. Chem., 43, 683(1979)
- 6) V. H. Thanh, et al; J. Agric. Food Chem., 26, 3, 692(1978)
- 7) F. Yamauchi, et al; Agr. Biol. Chem., 48, 645(1984)
- 8) 橋詰 和宗ら著；最新食品加工講座 大豆とその加工 I，建帛社21(1987)
- 9) K. Hashizume, et al; Agr. Biol. Chem., 39, 1339(1975)
- 10) 森 友彦；日本農芸化学会誌，62, 882(1988)
- 11) 山内 文夫ら編；大豆の科学，朝倉書店，175(1996)
- 12) 橋詰 和宗ら；日本食品工業学会誌，25, 7, 387(1978)