

# 大豆磨砕方法の違いが豆乳の性状に及ぼす影響

炭田友美, 伊藤敬恵, 小川宣子

家政学部健康栄養学科

(2006年11月8日受理)

## Influence of Differing Methods of Soybean Grinding on the Properties of Soymilk

Department of Health and Nutrition Faculty of Home Economics,  
Gifu Women's University, 80 Taromaru, Gifu, Japan (〒501 - 2592)

SUMITA Tomomi, ITOH Yukie and OGAWA Noriko

(Received November 8, 2006)

### I. 緒言

豆乳は丸大豆から磨砕抽出した性状良好な乳状の飲料であって、大豆固形分8%以上、蛋白質3.5%以上のものであり<sup>1)</sup>、豆乳は豆腐製造の中間産物として鎌倉時代から精進料理に用いられていたが、大変青臭くそのままでは飲用しにくいものであった<sup>1)</sup>。しかし、近年では食品による健康増進、健康維持による意識の高揚及び植物性食品に対する認識の向上によって豆乳に対する期待が生じ、青臭さの無い高品質の豆乳が製造されるようになったことから豆乳は一般的に広く普及してきた<sup>2)</sup>。また豆乳は、牛乳の代替食品としても用いられている食品である。

豆乳の製造方法は、大豆を浸漬、膨潤させた後、高速グラインダーなどの機械で磨砕し得られた呉を加熱、おからと分離することによって作製されるのが一般的である。本研究では、大豆の磨砕方法の違いが豆乳の性状に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

大豆の磨砕方法の違いが、大豆から豆乳へ

の成分の抽出量に及ぼす影響については、豆乳の水分、粗灰分、粗蛋白質、粗脂肪、糖質の一般成分濃度と、豆乳の残渣であるおからの表面構造との関連性と共に調べた。豆乳の蛋白質に関しては、豆乳に含まれる熱凝固性を持つホエー蛋白質の濃度が高いほど、加熱によって粘度が上昇する性質があるとされていることから<sup>3)</sup>、大豆の主要な蛋白質である、7Sグロブリン、11Sグロブリン、ホエー蛋白質の濃度が豆乳の粘度に及ぼす影響について調べた。

### II. 方法

#### 1. 試料

試料は岐阜県産大豆フクユタカを洗浄後、大豆重量の2倍量の水(16)に12時間浸漬後、大豆1に対して水1の割合で花雲母製石臼で磨砕し得られた呉を対流釜で4分間加熱後、ローラー式圧搾機により一回圧搾し分離した豆乳及びおから(以後:石臼豆乳、石臼おから)を用いた。対照試料は、大豆磨砕時にセラミック製高速グラインダーを用いて、得られた呉を蒸気圧力釜で30秒間加熱し、高

速遠心圧搾機にて二回圧搾を行った後分離した豆乳及びおから(以後:グラインダー豆乳,グラインダーおから)を用いた(図1)。

## 2. 豆乳の一般成分

大豆の磨砕方法の違いが,大豆から豆乳への水分,粗灰分,粗蛋白質,粗脂肪,糖質の抽出量に与える影響を豆乳の一般成分から調べた。

### (1) 水分

水分は,試料を常圧加熱乾燥法で測定し試料の重量に対する水分の割合で示した。

### (2) 粗灰分

粗灰分は,試料を直接灰化法で測定し,試料の重量に対する粗灰分の割合で示した。

### (3) 粗蛋白質

粗蛋白質は,試料をケルダール法で測定し,窒素量から窒素換算係数を用いて試料の重量に対する粗蛋白質の割合を求めた。

### (4) 粗脂肪

粗脂肪は,試料をソックスレー抽出法で測定し,試料の重量に対する粗脂肪の割合で示した。

### (5) 糖質

糖質は100%から,水分,粗灰分,粗蛋白質,粗脂肪,糖質を差し引いて算出した。

## 3. 豆乳のオリゴ糖

豆乳の糖質中のオリゴ糖であるスタキオース及びラフィノースは,腸内ビフィズス菌によって利用され<sup>4)</sup>,スタキオース及びラフィノースは大腸内ビフィズス菌によって酢酸,プロピオン酸, n 酪酸を主体とする短鎖脂肪酸に変換される<sup>5)</sup>。短鎖脂肪酸は回腸の蠕動運動を亢進し,腸の上皮細胞の増殖を促進する等の生理作用を示すことから<sup>6)</sup>,大豆の磨砕方法の違いが,豆乳のラフィノース及びスタキオースのオリゴ糖の試料の重量に対する濃度に及ぼす影響について調べた。

試料は,豆乳を超純水で10倍希釈(豆乳:5 ml / 超純水:50ml)した後,20 $\mu$ lを高速液体クロマトグラフィー(以後:HPLC)で測定した。HPLCの条件は,カラム:Asahipak GS 220,温度:40 ,移動相:超純水,流速:0.5ml/minで測定を行い,同条件で測定した0.2%,0.15%,0.1%,0.05%スタキオース及びラフィノース標準溶液の検量線の式を用いて豆乳中のスタキオース及びラフィノース濃度を計算した。

## 4. おからの表面構造

豆乳の残渣であるおからの表面構造から,大豆の磨砕方法の違いが,豆乳の水分,粗灰分,粗蛋白質,粗脂肪,糖質の一般成分に及

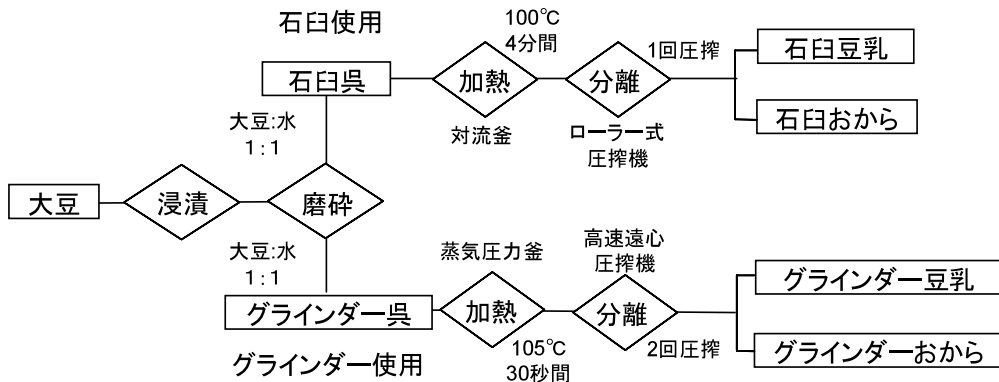


図1 試料作製工程

ぼす影響について調べた。

方法は, おからを走査電子顕微鏡(JSM6360LV)によりクールユニットを用いて低真空, 真空圧力50Pas, 加速電圧15kv, スポットサイズ70nmで観察した。

## 5. 呉の構成蛋白質

豆乳中に約3.6%含まれる蛋白質は<sup>7)</sup>, 加熱やpHなどの因子によって変性する。これらの因子によって蛋白質は, 沈殿, 凝固, 液体の粘性を増加させる等の影響を与える<sup>8)</sup>ことから, 大豆の磨砕方法の違いが豆乳の粘度に及ぼす影響を, 加熱する前の呉の構成蛋白質から調べた。

呉の構成蛋白質は, 呉を2倍量に希釈したものを試料とし, ポリアクリルアミド電気泳動法による電気泳動法から調べた。得られた泳動像は, 大豆より抽出した主要な蛋白質である7Sグロブリン, 11Sグロブリン, ホエー蛋白質の泳動像の移動度と照らし合わせて調べた。

蛋白質の濃度は各蛋白質の泳動帯の吸光度をデンスitomーター(DENSITO-PATTERN-ANALYZER EPA-3000丸善石油化学株式会社)で測定して調べた。泳動帯の吸光度は, 7Sグロブリンを基準として, 7Sグロブリンの吸光度に対するホエー蛋白質及び11Sグロブリンそれぞれの吸光度の割合を計算し, 比較を行った。

## 6. 豆乳の粘度

豆乳の粘性は調理加工上重要な性質であり, 攪拌, 加熱, 冷却などの操作は粘性に変化を与え, 調理・加工特性, 見た目, 食物の嗜好性に与える影響も大きい<sup>9)</sup>。異なる大豆磨砕方法により作製した豆乳のホエー蛋白質の濃度の違いが, 豆乳の粘度に及ぼす影響を調べることを目的とした。

方法は, 60 における豆乳のずり応力をE型回転粘度計(東機産業 VISCOMATER RE80L)でずり速度15.32 S<sup>-1</sup>から測定を開始し, その後1分ごとにずり速度を19.20 S<sup>-1</sup>, 38.30 S<sup>-1</sup>, 76.60 S<sup>-1</sup>, 191.50 S<sup>-1</sup>と上げていき, その後, 191.50 S<sup>-1</sup>, 76.60 S<sup>-1</sup>, 38.30 S<sup>-1</sup>, 19.20 S<sup>-1</sup>, 15.32 S<sup>-1</sup>と順に下げて測定を行い, みかけの粘度(mpa·s)からずり応力を求めた。

## III. 結果及び考察

### 1. 豆乳の一般成分

石臼豆乳は, 水分88.74%, 粗灰分0.65%, 粗蛋白質4.29%, 粗脂肪2.33%, 糖質4.03%であり, グラインダー豆乳の水分91.80%, 粗灰分0.48%, 粗蛋白質3.22%, 粗脂肪1.53%, 糖質3.03%と比較して水分が有意(p<0.05)に少なく, 粗灰分, 粗蛋白質, 粗脂肪, 糖質は有意(p<0.05)に多かった(図2)。これより大豆を石臼で磨砕するとグラインダーで磨砕する場合と比較して水分は有意(p<0.05)に少なくなり, 粗灰分, 粗蛋白質, 粗脂肪, 糖質は有意(p<0.05)に多くなることが分かった。

### 2. 豆乳のオリゴ糖

石臼豆乳は, ラフィノース濃度が0.16%, スタキオース濃度が0.61%であり, グラインダー豆乳のラフィノース濃度0.12%, スタキオース濃度0.53%と比較してラフィノース濃度, スタキオース濃度とも有意(p<0.05)に高かった(図3)。石臼豆乳のラフィノース及びスタキオース濃度が, グラインダー豆乳のラフィノース及びスタキオース濃度と比較してどちらも有意(p<0.05)に高かったのは, 石臼豆乳の糖質が4.03%であり, グラインダー豆乳の3.03%と比較して豆乳の重量に対する濃度が有意(p<0.05)に高かった

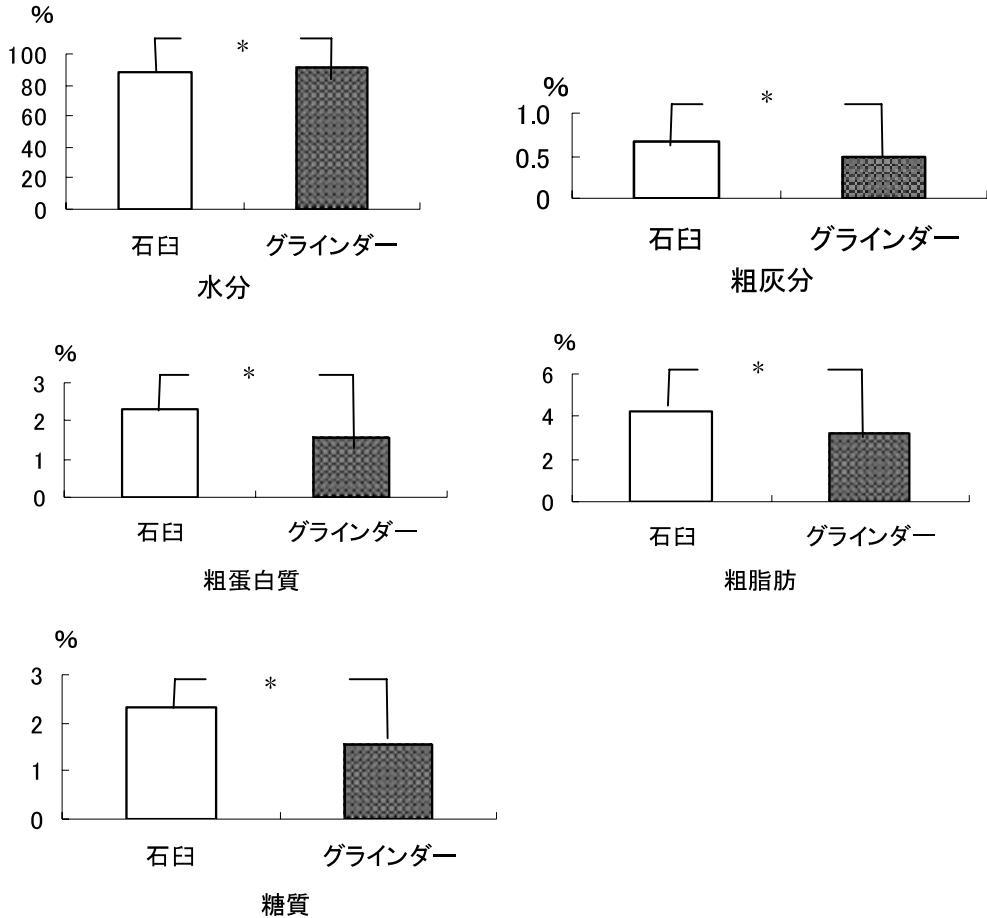


図2 石臼豆乳及びグラインダー豆乳の一般成分

・ \* は石臼豆乳とグラインダー豆乳の一般成分の間に 5 % 以下の危険率で有意な差があることを示す。

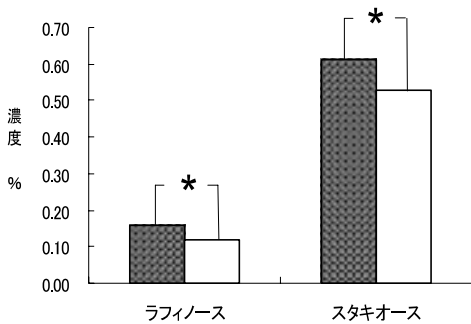


図3 石臼豆乳及びグラインダー豆乳のラフィノース及びスタキオース濃度

■ 石臼豆乳 □ グラインダー豆乳

・ \* は石臼豆乳とグラインダー豆乳のラフィノース及びスタキオース濃度の間に 5 % 以下の危険率で有意な差があることを示す。

(図2) ためであると考えられた。

ラフィノース及びスタキオースは、腸内ビフィズス菌増殖活性作用を持つ難消化性のオリゴ糖であり、ラフィノース及びスタキオースは腸内ビフィズス菌によって利用されることで、酢酸、プロピオン酸、n 酪酸等の短鎖脂肪酸が産生される。酢酸、プロピオン酸、n 酪酸は腸内の pH を下げ、病原菌の感染から守り、腐敗細菌の活性抑制、腸の蠕動運動の促進、発癌物質の分解などの生理作用を持つため<sup>4)</sup>、石臼豆乳のラフィノース及びスタキオース濃度がグラインダー豆乳と比較して有意に高かったことは、生理作用に影響を

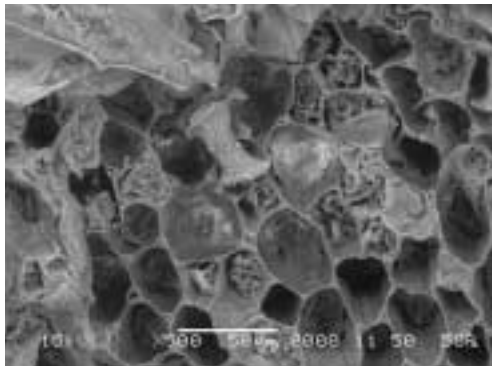
与えるのではないかと考えられた。

### 3. おからの表面構造

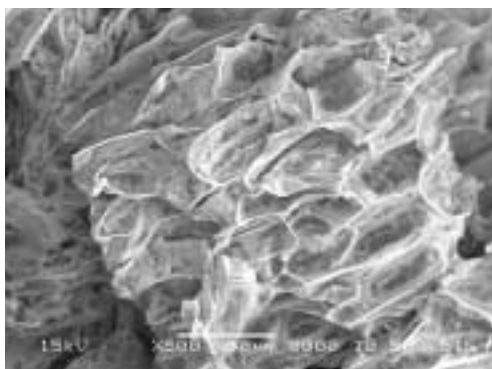
石臼おからは、細胞の中が抜けて23個の空洞ができていたのに対し、グラインダーおからの細胞はつぶれており空洞はなかった(図4)。

これより大豆磨砕時に石臼を用いると、グラインダーを用いる場合と比較して、おからの細胞が空洞になる部分が多くなることが分かった。

このことから一般分析の結果、石臼豆乳は、水分88.74%、粗灰分0.65%、粗蛋白質4.29%、



石臼おから



グラインダーおから

図4 おからの表面構造

加速電圧：15kv  
スポットサイズ：70nm  
真空圧力：50pas  
倍率：×500

粗脂肪2.33%、糖質4.03%であり、グラインダー豆乳の水分91.80%、粗灰分0.48%、粗蛋白質3.22%、粗脂肪1.53%、糖質3.03%と比較して、水分が有意( $p < 0.05$ )に少なく、粗灰分、粗蛋白質、粗脂肪、糖質は有意( $p < 0.05$ )に多かったのは、大豆を石臼で磨砕するとグラインダーを用いた場合と比較して、大豆の細胞内に存在していた粗灰分、粗蛋白質、粗脂肪、糖質が豆乳中へ多く抽出されたことによって、大豆の細胞は中身が抜け空洞が多くできたと考えられた。

### 4. 呉の構成蛋白質

呉の泳動像にはNo. 1～23までの泳動帯があり、石臼呉にはグラインダー呉にはないNo. 1, 2, 4の3つの分子量の小さな蛋白質の泳動帯が多くみられた(図5)。宮越らの報告より<sup>10)</sup>、呉の泳動像ではNo. 6が7Sグロブリン、No. 21が11Sグロブリン、No. 10がホエー蛋白質であると同定した。

泳動帯の吸光度を測定した結果、石臼呉はNo. 6の7Sグロブリンが0.480.D., No. 21

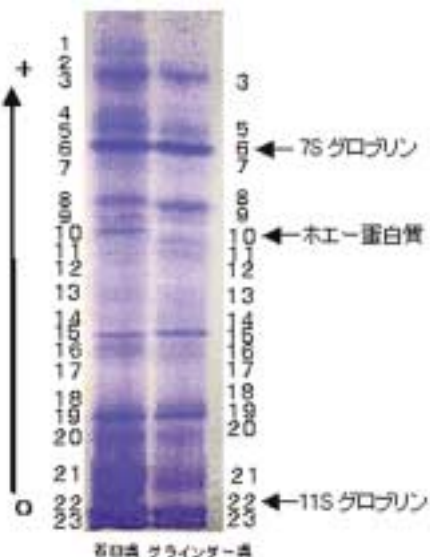


図5 石臼呉及びグラインダー呉のポリアクリルアミド電気泳動像

の11Sグロブリンが0.310.D., No. 10のホエー蛋白質が0.210.D.であり, グライNDER吳では7Sグロブリンが0.290.D., 11Sグロブリンが0.140.D., ホエー蛋白質が0.110.D.であったことと比較して石臼吳のいずれの泳動帯の吸光度は高く, 蛋白質の濃度が高いことが分かった。

特に石臼吳の熱変性しやすい蛋白質であるホエー蛋白質は<sup>3)</sup>, 吸光度が0.210.D.であり, グライNDER吳の0.110.D.と比較して濃かったため, 石臼吳とグライNDER吳で吸光度に比較的差がない7Sグロブリンの吸光度を基準として, 7Sグロブリンの吸光度に対するホエー蛋白質の吸光度の割合を計算した結果, 石臼吳の7Sグロブリンの濃度に対するホエー蛋白質の濃度の割合は44%であり, グライNDER吳の37%と比較して多かった。このことより, 大豆を石臼で磨碎するとグライNDERで磨碎する場合と比較して, 大豆から豆乳への粗蛋白質の抽出量が多くなり, ホエー蛋白質の濃度が高くなることが考えられた。

#### 5. 豆乳の粘度

60におけるずり速度 $38.30\text{ S}^{-1}$ の行きのずり応力は, 石臼豆乳が $5.75 \times 10^3\text{ Pa}$ であり, グライNDER豆乳のずり応力 $1.76 \times 10^3\text{ Pa}$ と比較して有意( $p < 0.05$ )に高かった(図6)。

石臼豆乳のずり応力が $5.75 \times 10^3\text{ Pa}$ であり, グライNDER豆乳のずり応力 $1.76 \times 10^3\text{ Pa}$ と比較して有意( $p < 0.05$ )に高くなったことには, 石臼吳は熱変性しやすい大豆の主要な蛋白質であるホエー蛋白質の7Sグロブリンに対する割合が44%であり, グライNDER吳の37%と比較して多かったことが影響したのではないかと考えられた。

石臼豆乳の粘度がグライNDER豆乳と比較して有意に高くなったことには, 豆乳作製時

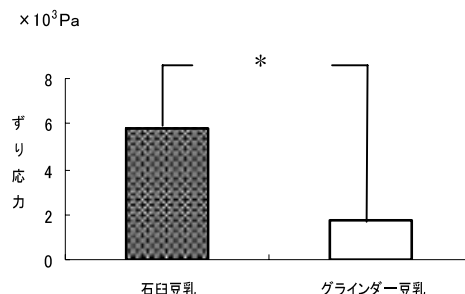


図6 石臼豆乳及びグライNDER豆乳のずり速度 $38.30\text{ S}^{-1}$ におけるずり応力

・\*は石臼豆乳とグライNDER豆乳のずり応力の違いに5%以下の危険率で有意な差があることを示す。

の吳の加熱の際に, 石臼豆乳は100 で加熱したのに対し, グライNDER豆乳は105 と5 高い温度で加熱したことで, ホエー蛋白質が熱変性し, 石臼豆乳のホエー蛋白質の濃度がグライNDER豆乳と比較して高くなったことが影響したのではないかと考えられた。

#### IV. 要約

豆乳作製時, 石臼又はグライNDERを用いて大豆を磨碎し作製した豆乳の性状について調べた。豆乳の性状については, 豆乳の水分, 粗灰分, 粗蛋白質, 粗脂肪, 糖質の一般成分, 特徴的な糖質としてラフィノース及びスタキオース濃度について調べ, 蛋白質については構成蛋白質について調べた。大豆から豆乳への成分の抽出についてはおからの表面構造から調べた。物性については豆乳の粘度から調べた。

石臼豆乳はグライNDER豆乳と比較して粗灰分, 粗蛋白質, 粗脂肪, 糖質が有意に多く, 糖質に関しては, 石臼豆乳のラフィノース量及びスタキオース量はグライNDER豆乳と比較して多くなった。このことは石臼おからの表面には多数の空洞があり, 石臼おからの細胞から成分が抽出されたことから確認できた。

豆乳の蛋白質に関しては、石臼呉の熱変性しやすい蛋白質であるホエー蛋白質の濃度はグラインダー呉と比較して高く、石臼呉の7Sグロブリンの吸光度に対するホエー蛋白質の吸光度の割合がグラインダー呉と比較して高いため、石臼豆乳の粘度はグラインダー豆乳と比較して高くなったと考えられた。

石臼豆乳のホエー蛋白質がグラインダー豆乳と比較して多くなったことには、豆乳作製時の呉の加熱の際に、石臼豆乳は100 で加熱したのに対し、グラインダー豆乳は105 と5 高い温度で加熱したことで、グラインダー豆乳のホエー蛋白質が変性してしまったのに対して、石臼豆乳のホエー蛋白質は熱変性されにくかったことが影響したのではないかと考えられた。

#### V. 参考文献

- 1) 山内文男, 大久保一良 (1992 『大豆の科学』, 株式会社朝倉書店, 83
- 2) 福場博保 (1984 『大豆 畑で生まれた健康タンパク』, 女子栄養大学出版部, 122
- 3) 藤野博史, 六車三治男, 伊藤肇躬, 大橋登美男 (1993 『ホエータンパク質濃縮およびホエータンパク質分離物の熱凝集性に及ぼす pH, 食塩および塩化カルシウムの影響』, 日食品工会誌, 40 ( 5 ), 6
- 4) 正井輝久 (1990 『大豆オリゴ糖の開発と今後の展望』, ニューフードインダストリー食品資材研究会, 5 ( 32 ), 11
- 5) 星清子, 矢島高二 (1998 『大腸内細菌の代謝と代謝産物の作用』 日本食物繊維雑誌 ( 独 ) 1 ( 2 ), 7
- 6) 坂田隆, 市川宏文 (1997 『短鎖脂肪酸の生理活性』 日本油化学会誌46 ( 10 ), 1210
- 7) 香川芳子 (1984 『5 訂食品成分表』 女子栄養大学出版部, 54
- 8) 加藤保子 (2002 『食品学総論』 株式会社南江堂, 74
- 9) 大越ひろ, 森高初恵 (1997 『おいしさのレオロジー』 引学出版株式会社, 79 80
- 10) 宮越典子, 渡辺いずみ (1994 『大豆タンパクゲルの調製過程の力学的特性と構造』 岐阜女子大学平成5年度卒業論文, 30 32