

The availability of high pressure-induced soybean protein isolate gel products for a dysphagia diet as Chinese medicated diets

Ai TOKIFUJI, Hong LENG and Keiko YOSHIOKA

*Graduate School of Health and Nutritional Sciences, Nakamura Gakuen University, 5-7-1 Befu, Johnan-ku, Fukuoka, 814-0198, Japan
(Received 25 March, 2011)*

Key word: soybean protein isolate, high pressure treatment, textural properties, Chinese medicated diets, dysphagia diet

Abstract

Dysphagia patients and the elderly who decline in food intake owing to aging tend to be in the risk of aspiration or malnutritional condition, so that the high protein diet suitable for each individual is in need. Soybean is a source of good quality vegetable protein supply and Chinese medicine states five grain, rice, barley, millet, corn and beans are essential to maintain our lives. Soybean is one of those and we also have taken soybeans since old times in Japan. Soybean protein isolate is the one defatted from soybean and the purity of protein is over 85%. The main components of the soybean protein are glycinin and conglycinin. Under high pressure the covalent bond of protein in gel formation is hardly cut off. The physical property of pressure-induced protein gel is smoother and softer compared to the one induced by heating.

In this study we prepared gels induced by heating or high pressure treatments with soybean protein isolate and measured physical properties, analyzed protein components, evaluated sensory tests and investigated the availability of soybean protein isolate gels for a dysphagia diet using as one of the food materials of Chinese medicated diets.

From the results of the textural properties the hardness of pressure-induced gels was the half value of the heat-induced gels. 13 to 17% pressure-induced gels were conformed to the diet criteria II of food for special dietary uses for dysphagia patients. In the SDS-PAGE patterns the subunit dissociation of 7S and 11S was detected in pressure-induced gels. The pressure-induced gels in each concentration were softer, more solid, easier to mash with the tongue than the heat-induced gels in the sensory evaluation. Besides the pressure-induced gels were easy to form a bolus and easy to swallow. Therefore it is suggested pressure-induced gels might be utilized for a dysphagia diet and enhance the availability of a food material of Chinese medicated diets.

超高压処理による分離大豆タンパク質ゲルの薬膳および嚥下食への利用性

時藤 亜衣・Leng Hong・吉岡 慶子
中村学園大学大学院 栄養科学研究科

(2011年3月25日受理)

要 旨

本研究では分離大豆タンパク質を用い、加熱または加圧処理によるゲルを調製した。それらの物性測定、タンパク質組成の解析および官能評価から分離大豆タンパク質ゲルの薬膳の食素材への応用性および嚥下食への利用

性を検討した。

物性測定から、超高压処理分離大豆タンパク質は加熱処理と比較し、いずれの濃度においても保形性のある軟らかいゲルであった。また、分離大豆タンパク質ゲルのかたさ、付着性、凝集性は嚥下困難者用食品許可基準Ⅰ～Ⅲの3段階へ分類すると、13%～17%加圧ゲルは許可基準Ⅱに準拠した。

SDS-PAGE によるタンパク質組成の分析では、加熱ゲルと加圧ゲルのゲル構成成分の相違が認められ、加圧ゲルでは充填効果によるサブユニットの解離が認められた。

加熱および加圧処理分離大豆タンパク質ゲルの官能評価では、加圧ゲルの方が加熱ゲルより軟らかく、弾力があり、さらに、飲み込みやすく、残留感も少ないとされた。また、加圧処理分離大豆タンパク質ゲルの至適濃度について、飲み込み易さ、風味および舌での押しつぶし易さが総合評価へ影響を与えていることが明らかとなった。

以上のことから、薬膳食材である大豆から抽出された分離大豆タンパク質は、栄養性、機能性成分に富み、薬膳の食素材としての有効性が示唆された。また、超高压処理を利用することで、分離大豆タンパク質ゲルの食感、食味が改質され、食塊形成や嚥下がされ易いテクスチャー特性であったことから、超高压処理による分離大豆タンパク質ゲルおよび嚥下食への利用性が明らかにされた。

結 論

摂食・嚥下障害者および加齢に伴い摂食機能が低下した高齢者は、誤嚥や低栄養状態に陥りやすいため、個々に対応した食事形態を有する高タンパク性食品が求められている。我が国の平成21年度の老年人口は22.7%¹⁾を占め、今後、加齢に伴う生理機能の低下や脳血管疾患、神経・筋疾患等の後遺症として、さらに摂食・嚥下障害者が増加することが推測される。個々の摂食能力に対応した嚥下食を提供するためには、加工技術、調理方法により、段階的にテクスチャー特性を調整できる食素材が必要とされている。

大豆はタンパク質を30～40%含み、アミノ酸スコアは100[FAO/WHO/UNU 設定(2～5歳)1985年]と算定され、必須アミノ酸をバランスよく含有している植物性の良質なタンパク質給源である²⁾。また、大豆にはカリウム、カルシウム、マグネシウム、鉄およびマンガンなどの無機質が多く、重要なミネラルの供給源となる。さらに、その他の微量成分としてはビタミンB₁、ビタミンE、サポニン、イソフラボンなどの配糖体を含有する。中医学においては、「五穀(米、麦、粟、黍、豆)」は人の生命を養うものとされ、その一つである大豆は薬膳食材として、四性では平性、五味では甘味、帰経では脾や大腸へ分類されている³⁾。わが国においても大豆は9～10世紀に全国的に栽培が奨励されて以来、大豆加工品を含め、伝統的に食されてきた⁴⁾。一方、分離大豆タンパク質は大豆を脱脂し、タンパク質純度を85%以上に高めた

もので、血中のLDLコレステロール濃度低下作用、中性脂肪濃度低下作用など、脂質異常症に対する生理調整作用が認められている^{5,6)}。そのタンパク質の約75%はグリシニンやB-コングリシニンなどのグロブリンが占め、保水性、乳化性、ゲル形成性など、食品として有効に作用する機能的性質が報告され、各種加工食品へ利用されている⁷⁾。それらの基礎研究としては、大豆タンパク質の加熱によるゲル形成について、特に、グリシニン、β-コングリシニンとゲル形成性との関連はサブユニットレベルおよび分子レベルで解析されている^{8,9)}。このように、分離大豆タンパク質は栄養成分や機能的性質から、健康の維持、増進に重要な役割を果たすことが期待され、薬膳の食素材としての可能性が考えられる。

近年、新食品加工技術として、タンパク質の水溶液に超高压を加えると、加熱によるゲル形成とは異なり、共有結合は開裂せず、三次構造を形成している非共有結合が圧力変性し、凝固やゲルを形成する¹⁰⁾ことが明らかにされている。そのため、従来の加熱処理により形成されたゲルとは異なる食感が得られ、超高压処理を利用した食品開発が進められている¹¹⁾。しかし、大豆タンパク質における超高压処理がゲルの食感、食味におよぼす影響についてはほとんど明らかにされていない。

本研究では良質なタンパク質給源となり、食品加工の分野で既に食品素材として利用されている分離大豆タンパク質を用い、薬膳の食素材への応用性を検討した。また、超高压処理利用による分離大豆タンパク質ゲルの調製を試み、それらの物性測定、タンパク質組成の解析、官能評価を行い、分離大豆タンパク質ゲルの嚥下食への利用性を検討した。

試料調製および実験方法

1) 分離大豆タンパク質ゲルの調製

実験試料は粉末状分離大豆タンパク質(不二製油製; フジプロ-F)を用い、10℃の冷蔵庫で保管し、実験に供した。分離大豆タンパク質の一般分析値は水分5.3%、粗タンパク質(乾物換算)90.8%、灰分(乾物換算)4.4%であった。

分離大豆タンパク質ゲルの調製方法をFig.1.に示した。分離大豆タンパク質ゲルに精製水を加え、濃度は13%、15%、16%、17%とした。ファイバーミキサー(National製; MX-X53-G)を用いて攪拌し、30mmφのケーシングに充填した。加熱処理は各試料を85℃の恒温槽中で、中心温度が80℃に達するまでの30分間加熱した(以下加熱(H)ゲルとする)。加圧処理は食品加圧試験装置(三菱重工業製; MFP-7000)を用い、400MPaの静水圧で20分間加圧した(以下加圧(P)ゲルとする)。

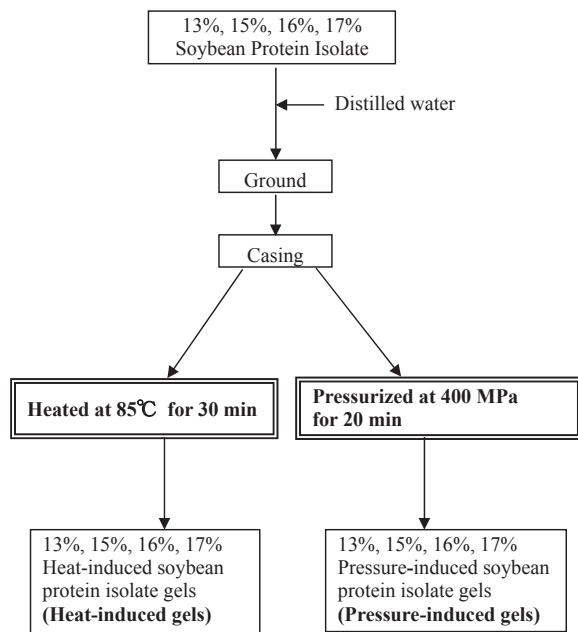


Fig. 1. Preparation of heat and pressure-induced soybean protein isolate gels

2) 分離大豆タンパク質ゲルの物性測定

13%、15%、16%、17%分離大豆タンパク質ゲルを試料とし、品温を $20 \pm 2^\circ\text{C}$ で、クリープメーター（山電製；RE2-33005S）を使用して破断強度試験、クリープ試験およびテクスチャー試験を行った。破断強度試験の測定条件はロードセル，20N；プランジャー，V字型；測定歪率，80%とした。試料片は高さ13mm、40mm ϕ のシャーレに充填し、破断応力、破断歪率および破断エネルギー値を算出した。クリープ試験については、ロードセル，20N；プランジャー，40mm ϕ 円板状；測定時間，120秒とした。試料片は $20 \times 20 \times 10\text{mm}$ に成形し、測定荷重は測定前に破断強度試験を行い、線形性範囲の歪率10%における荷重を算出し、粘弾性定数および力学モデルを解析した。テクスチャー試験はロードセル，20N；プランジャー，20mm ϕ 円板状；測定歪率，70%とした。各加圧および加熱大豆タンパク質ゲルは試料片を高さ13mmとし、40mm ϕ のシャーレに充填し、かたさ、付着性および凝集性を算出した。

3) 7S、11S グロブリンゲルおよび分離大豆タンパク質ゲルのポリアクリルアミドゲル電気泳動 (SDS-PAGE)

ポリアクリルアミドゲル電気泳動 (SDS-PAGE) によるタンパク質組成の分析は、大豆より抽出した7S、11S（不二製油製）および分離大豆タンパク質を試料とした。7Sの一般分析値は水分7.3%、粗タンパク質（乾物換算）

86.3%、灰分（乾物換算）5.2%であった。11Sの一般分析値は水分7.0%、粗タンパク質（乾物換算）93.7%、灰分（乾物換算）2.1%であった。未処理、加熱処理および加圧処理を行った7S、11S グロブリンおよび分離大豆タンパク質ゲルを10mg ずつ計量し、20mg/ml の Pro-Prep Buffer で溶解させ、超音波（Handy Sonic model UR-20P）処理後、遠心分離（Eppendorf F Centrifuge; 13000rpm、5 min、 4°C ）し、得られた溶液はBCA法によりタンパク質濃度を測定した。各試料に、同量の Sample Buffer（0.5 M Tris-HCl、2% SDS、5% 2-ME、40% Glycerol、0.02% BPB、25% MilliQ）を加え、沸騰水中で3分間加熱し、試料液とした。試料液のタンパク質量が $15.5 \mu\text{g}$ になるようにSDS-PAGEに供した。ポリアクリルアミドゲル濃度10～20%のゲル板（e・パジェルゲル1 mm）を用い、加熱した試料液を注入し、Laemmli 法¹²⁾に従い、電気泳動装置（ATTO 製；AE-8750型 Power Station 1000XP）でSDS-PAGEを行った。濃縮ゲルは、電流40mA、電圧200Vの条件下で1時間30分泳動した。泳動後、CBB（Coomassie Brilliant Blue R-250）染色液で20分間染色し、2時間脱色した。

4) 分離大豆タンパク質ゲルのポリアクリルアミドゲル電気泳動 (SDS-PAGE)

分離大豆タンパク質ゲルのSDS-PAGEは未処理、加熱処理および加圧処理を行った分離大豆タンパク質ゲルを試料とした。各試料は2.0g ずつ計量し、超遠心分離（BECKMAN L-70 Ultracentrifuge）（36000rpm、1h、 20°C ）し、上清部および沈殿部に分離した。沈殿部は、500 μl のSDS Buffer（0.125M Tris-HCl、6.25mM EDTA、12.5% SDS、pH8.0）で溶解させ、超音波（Handy Sonic model UR-20P）処理した。各試料は同量の Sample Buffer（0.5 M Tris-HCl、2% SDS、5% 2-ME、40% Glycerol、0.02% BPB、25% MilliQ）を加え、沸騰水中で3分間加熱し、試料液のタンパク質量が $2.0 \mu\text{g}/\mu\text{l}$ になるようにSDS-PAGEに供した。ポリアクリルゲル濃度10～20%のゲルを用い、ゲル板（e・パジェルゲル1 mm）に加熱した試料液を注入し、Laemmli 法に従い、電気泳動装置（AE-8750型 Power Station 1000XP、ATTO 製）でSDS-PAGEを行った。濃縮ゲルは、電流40mA、電圧200Vの条件下で1時間30分泳動した。泳動後、CBB（Coomassie Brilliant Blue R-250）染色液で20分間染色し、2時間脱色した。

5) 分離大豆タンパク質ゲルの官能評価

加熱および加圧処理分離大豆タンパク質ゲルの官能評価について、検査試料は、13%、15%加熱および加圧分離大豆タンパク質ゲルの4試料とした。室温 22°C 、湿度

60%、品温 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の条件で行った。検査員は、健常な若年女子（中村学園大学栄養科学部学生）12名で5段階評点尺度法を用い、検査した。検査項目は、風味（-2：非常に悪い→+2：非常に良い）、軟らかさ（-2：非常に硬い→+2：非常に軟らかい）、弾力（-2：非常に弾力がない→+2：非常に弾力がある）、なめらかさ（-2：非常にざらつく→+2：非常になめらかである）、舌での押し潰し易さ（-2：非常に舌で押し潰しにくい→+2：非常に舌で押し潰し易い）、飲み込み易さ（-2：非常に飲み込みにくい→+2：非常に飲み込み易い）、残留感（-2：非常に残留感がある→+2：非常に残留感がない）および総合評価（-2：非常に悪い→+2：非常に良い）の8項目とした。研究の趣旨からは、摂食・嚥下障害者を対象とすることが望ましいが、誤嚥の危険性などを考慮して今回は若年健常者を検査員とし、基礎資料を得ることとした。

さらに、加圧処理分離大豆タンパク質ゲルの至適濃度を調べるため、15%、16%、17%加圧ゲルの3試料を検査試料として、加熱および加圧処理分離大豆タンパク質ゲルの官能評価と同様の条件で官能評価を行った。

被験者からは、ヘルシンキ宣言に基づいてインフォームド・コンセントを取得し、検査を行うことに同意を得た。本研究の実施に当たっては、中村学園大学倫理規定に基づく同倫理委員会の承認を得た。

6) 統計処理

分離大豆タンパク質ゲルの物性測定および官能評価の統計処理については、Statistical Package for Social Science (SPSS) (16.0J, SPSS Inc., Chicago, USA) を使用し、2試料間の有意差検定には student's t-test を用い、3試料以上の検定には一元配置分散分析後、Tukey による多重比較を行った。また、加圧処理分離大豆タンパク質ゲルの官能評価については、食感、食味に関する項目の総合評

価への影響度として、ステップワイズ法による重回帰分析を行った。統計学的有意水準はいずれも $p < 0.01$, $p < 0.05$ とした。

実験結果

1) 分離大豆タンパク質ゲルの物性特性

分離大豆タンパク質ゲルの破断強度特性について、剪断による破断応力は、加熱ゲルでは13%ゲル 0.84×10^4 [N/m²] ~ 17%ゲル 10.13×10^4 [N/m²]、加圧ゲルでは、13%ゲル 0.91×10^4 [N/m²] ~ 17%ゲル 9.69×10^4 [N/m²] の範囲であった。同じ濃度の加熱ゲルと加圧ゲル間に有意な差は認められなかった。また、分離大豆タンパク質ゲルの破断応力は、ゲル濃度が増すにつれて高くなり、破断歪率においても同様の傾向がみられた。一方、加圧ゲルの破断歪率は約24 ~ 48%加熱ゲルよりも有意に高く ($p < 0.01$)、15%ゲルでは、加圧ゲルが加熱ゲルの1.5倍の値を示した。

分離大豆タンパク質ゲルのクリープ試験における粘弾性定数を Table1. に示した。加圧ゲル、加熱ゲル共にゲル濃度が高くなるにつれて、初期変形部および遅延変形部における弾性率と粘性率は高い値を示した。また、クリープコンプライアンスカーブから、垂直方向に一定の応力を加えると、加熱ゲルよりも加圧ゲルの方が瞬間変形部、遅延変形部共にひずみが大きく、除重後の回復はいずれの試料もクリープコンプライアンスと同様のパターンの挙動を示した。瞬間変形部をフック弾性体、遅延変形部をフォークト粘弾性体、定常流動部をニュートン粘性体の模型に対応させた結果、6要素フォークト体粘弾性模型と解析された。

各分離大豆タンパク質ゲルのテクスチャー試験の結果を Fig.2. に示した。加熱ゲルでは、13%ゲル 0.59×10^4 [N/m²] ~ 17%ゲル 3.40×10^4 [N/m²] であり、加圧ゲルで

Table 1. The viscoelastic parameters of heat and pressure-induced soybean protein isolate gels

	$E_0 \times 10^3$ (Pa)	$E_1 \times 10^4$ (Pa)	$E_2 \times 10^4$ (Pa)	τ_1 (sec)	τ_2 (sec)	$\eta_1 \times 10^5$ (Pa·s)	$\eta_2 \times 10^4$ (Pa·s)	$\eta_n \times 10^6$ (Pa·s)	
H	17%	18.503	4.243	5.396	10.625	1.469	4.508	7.926	3.195
	16%	10.905	1.540	3.862	9.874	1.842	1.521	7.113	1.312
	15%	7.746	1.335	1.872	10.385	1.642	1.386	3.074	1.230
P	17%	6.200	1.913	4.668	10.496	1.732	2.008	8.086	1.288
	16%	4.638	1.062	2.174	9.986	1.758	1.060	3.821	0.665
	15%	4.445	0.692	1.678	10.233	2.055	0.709	3.449	0.531

H : heat-induced gel, P : pressure-induced gel.

Measuring conditions : sample height, 10mm ; plunger, 40mm ϕ ; within the linear range of 10% ; E_0 , elastic modulus of Hookean body ; E_1 , E_2 , elastic modulus of Voigt body ; τ_1 , τ_2 , relaxation time ; η_1 , η_2 , viscosity of Voigt body ; η_n , viscosity of Newtonian body.

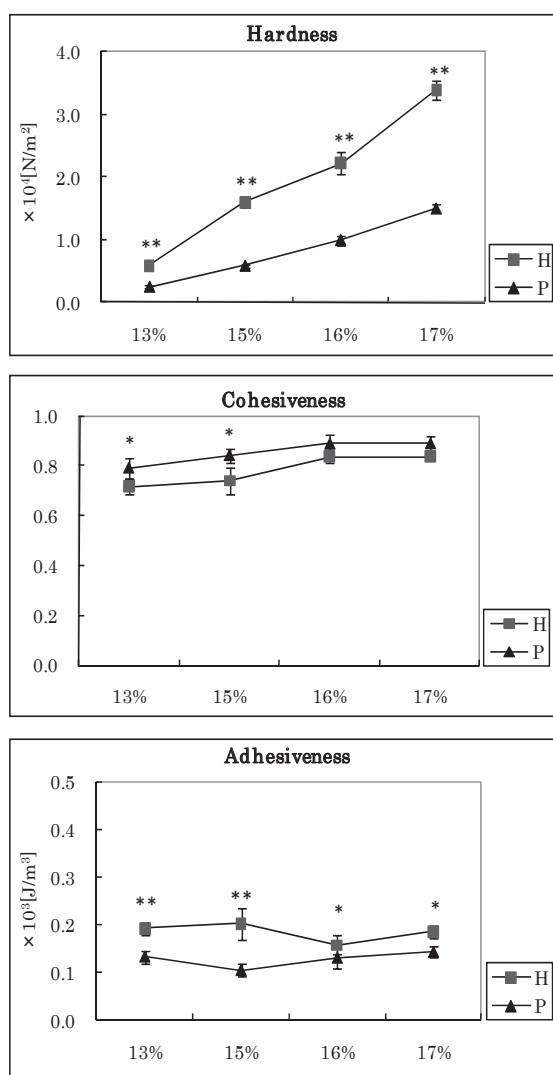


Fig. 2. Textural properties of heat and pressure-induced soybean protein isolate gels

H: heat-induced gel; P: pressure-induced gel; Measuring condition: plunger, 20mm ϕ ; deformation rate, 70%; test speed, 1.0mm/sec. Mean \pm SD; n=6; *: significant difference at $p < 0.05$, **: significant difference at $p < 0.01$.

は、13 % ゲル $0.25 \times 10^4 [N/m^2]$ ~ 17 % ゲル $1.50 \times 10^4 [N/m^2]$ であった。かたさの値は加熱ゲル、加圧ゲルともにゲル濃度が増すにつれて高くなる傾向がみられた。また、同じ濃度の加熱ゲルと加圧ゲル間で、かたさはいずれの試料においても加熱ゲルの方が有意に高い値を示し ($p < 0.01$)、加圧ゲルは加熱ゲルの約 1/2 の値であった。凝集性について、加熱ゲルは $0.72 \sim 0.84$ 、加圧ゲルでは $0.79 \sim 0.89$ の範囲であり、13%、15%加圧ゲルは加熱ゲルより有意に高い値が認められた ($p < 0.05$)。付着性において、加熱ゲルは $0.16 \times 10^3 [J/m^3]$ ~ $0.20 \times 10^3 [J/m^3]$ 、加圧ゲルでは $0.11 \times 10^3 [J/m^3]$ ~ $0.14 \times 10^3 [J/m^3]$

で、いずれの試料においても加熱ゲルが加圧ゲルより高値を示した ($p < 0.01$, $p < 0.05$)。

2) 分離大豆タンパク質ゲルの SDS-PAGE パターン

未処理、加熱処理、加圧処理7S、11S グロブリンおよび分離大豆タンパク質ゲルの SDS-PAGE パターンを Fig.3-1. に示した。7S グロブリンでは未処理、加熱処理、加圧処理のいずれも α' 、 α 、 β サブユニットと思われるバンド (71kDa, 67kDa, 50kDa) が検出された。11S グロブリンでは未処理、加熱処理、加圧処理のいずれも、35 ~ 45kDa 付近に酸性サブユニット (A_1 、 A_2 、 A_3)、20kDa 付近に塩基性サブユニット ($B_1 \sim B_3$) と思われるバンドが検出された。分離大豆タンパク質ゲルでは、未処理、加熱処理、加圧処理のいずれも7S、11S グロブリンの主な構成サブユニットのバンドが検出された。

Fig.3-2. に未処理、加熱処理、加圧処理した分離大豆タンパク質ゲルの上清部および沈殿部の SDS-PAGE パターンを示した。未処理および加圧処理の上清部と沈殿部では、7S、11S グロブリンの主な構成サブユニットのバンドが検出された。加熱処理後の上清部では、7S グロブリン (β -コングリシニン) の β 、 α' 、 α サブユニットおよび11S グロブリン (グリシニン) の塩基性サブユニット ($B_1 \sim B_3$) のバンドがほとんど検出されなかった。

3) 大豆および分離大豆タンパク質の栄養的特性

大豆の一般成分は「日本食品標準成分表2010」によると、エネルギーは417kcal/100g で、タンパク質35.3%、脂質19.0%、炭水化物28.2%、灰分5.0% および水分12.5% である¹³⁾。

そのタンパク質の主成分であるグリシニンおよび β -コングリシニンは両者で約70% を占めている¹⁴⁾。灰分については、5.0% のうち、カリウム1.9%、リン0.58%、カルシウム0.24%、マグネシウム0.22% である。一方、本研究に用いた分離大豆タンパク質の栄養量は、タンパク質は90.8% に濃縮され、灰分は4.4% 含有されている。さらに分離大豆タンパク質の消化吸収率は約90% とされている¹⁵⁾。

4) 加圧処理分離大豆タンパク質ゲルの官能評価

加熱ゲルおよび加圧ゲルの官能評価の結果を Fig.4. に示した。軟らかさの項目においては、13%加圧ゲル、15%加圧ゲル、13%加熱ゲルおよび15%加熱ゲルの順に評価され、4 試料間全てに有意差が認められた ($p < 0.01$)。弾力性の項目では、いずれも加圧ゲルの方が高く評価され、13%加圧ゲルと15%加熱ゲルの間、13%加熱ゲルと15%加圧ゲルの間および15%加圧ゲルと15%加熱ゲル

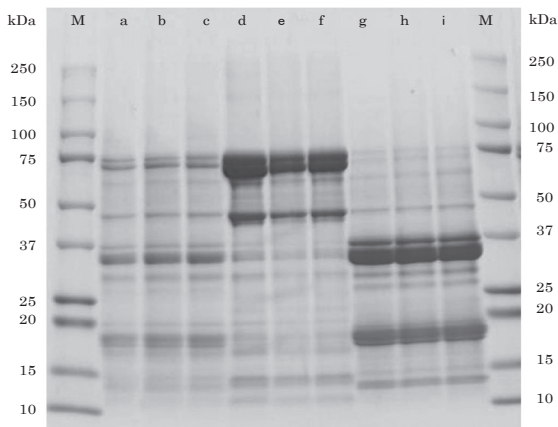


Fig. 3-1. SDS-PAGE patterns of heat and pressure – induced 7S, 11S globulin and soybean protein isolate gels

Abbreviations are as follows: a, un-treated soybean protein isolate; b, heat-induced soybean protein isolate gel; c, pressure-induced soybean protein isolate gel; d, un-treated 7S globulin; e, heat-induced 7S globulin gel; f, pressure-induced 7S globulin gel; g, un-treated 11S globulin; h, heat-induced 11S globulin gel; i, pressure-induced 11S globulin gel; M, molecular weight maker.

の間に有意差が認められ ($p<0.01$)、15%加圧ゲルが最も弾力性があるとされた。なめらかさ、飲み込み易さおよび総合評価の項目においても加圧ゲルが高い評価値を示し、13%加圧ゲルと13%加熱ゲルの間、13%加熱ゲルと15%加圧ゲルの間、13%加圧ゲルと15%加熱ゲルの間および15%加圧ゲルと15%加熱ゲルの間に有意差がみられ ($p<0.01$)、15%加熱ゲルが最も低値を示した ($p<0.01$)。残留感の項目では、13%加圧ゲルが15%加熱ゲルよりも残留感がないとされた ($p<0.01$)。

15%、16%、17%加圧分離大豆タンパク質ゲルの食感、食味に関する項目の評価が総合評価におよぼす影響について重回帰分析を行い、ステップワイズ法によって選択された変数を Fig. 5. に示した。加圧分離大豆タンパク質ゲルの総合評価への影響度は標準偏回帰係数 (β) より、飲み込み易さ ($\beta=0.630$, $p<0.01$)、風味 ($\beta=0.440$, $p<0.01$)、舌での押しつぶし易さ ($\beta=0.297$, $p<0.01$) の順に大きく、それらの寄与率 (R^2) は0.759であった。

考 察

1) 分離大豆タンパク質ゲルの物性特性

破断強度試験では、破断歪率が加熱ゲルより加圧ゲルの方が有意に高値を示した。また、クリープ・コンプライアンスカーブから、15%加圧ゲルおよび16%加圧ゲルは軟らかく、粘弾性に富んだ性状を示した。テクスチャー試験では、加圧ゲルのかたさが加熱ゲルより有意

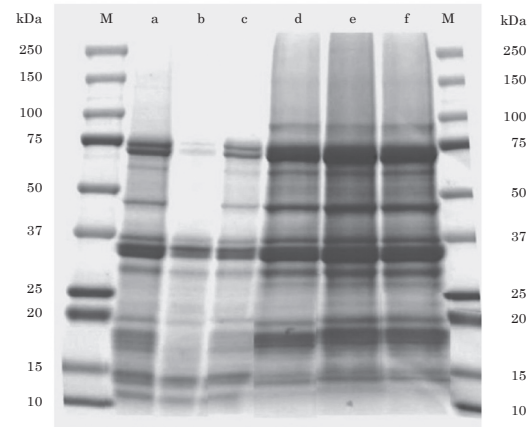


Fig. 3-2. SDS-PAGE patterns of heat and pressure – induced soybean protein isolate gels

Abbreviations are as follows: a, supernatant of un-treated soybean protein isolate; b, supernatant of the heat-induced soybean protein isolate; c, supernatant of the pressure-induced soybean protein isolate; d, sediment of un-treated soybean protein isolate; e, sediment of the heat-induced soybean protein isolate; f, sediment of the soybean pressure-induced protein isolate gel; M, molecular weight maker.

に低値を示し、凝集性が高く、付着性が低い傾向がみられた。

分離大豆タンパク質ゲルの「かたさ」、「付着性」、「凝集性」の3要素について、特別用途食品嚥下困難者用食品許可基準¹⁶⁾の物性規格である許可基準Ⅰ～Ⅲの3段階へ分類すると、13%加熱ゲルおよび13%～17%加圧ゲルは許可基準Ⅱに準拠し、15%加熱ゲルは、許可基準Ⅲに該当した。

以上のことから、ゲル濃度が増すにつれて、ゲルのかたさは高値を示したが、13%～17%加圧ゲルおよび13%、15%加熱ゲルは、嚥下困難者用食品許可基準の物性の範囲内であった。その中でも13～16%加圧ゲルは軟らかく、凝集性が高く、付着性が低いため、嚥下食としての利用の可能性が示唆された。

2) 分離大豆タンパク質ゲルの SDS-PAGE パターン

7S、11S グロブリンゲルおよび分離大豆タンパク質ゲルの SDS-PAGE パターンについて、各処理後の7S、11S グロブリン、分離大豆タンパク質ゲル沈殿部の SDS-PAGE パターンは、7S グロブリン (β -コングリシニン) および11S グロブリン (グリシニン) の大部分がゲル形成に利用されていることを示していた。 β -コングリシニンは三量体のタンパク質 (150～200kDa) で、主な構成サブユニットは α' 、 α 、 β であるため¹⁷⁾、抽出された7S グロブリンは主に β -コングリシニンであった。また、グリシニンは六量体のタンパク質 (300～380kDa)

The availability of high pressure-induced soybean protein isolate gel products

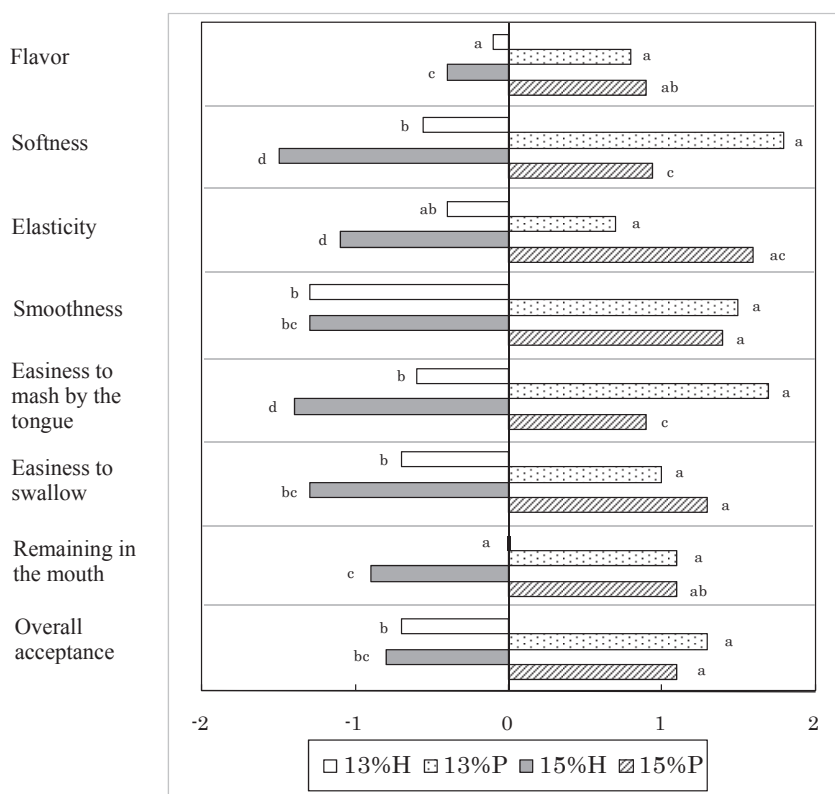


Fig. 4. Sensory evaluation test of heat and pressure-induced soybean protein isolate gels

H: Heat-induced gel; P: Pressure-induced gel.

Sensory evaluation tests were examined with a five- grade scale in regard to 13% and 15% Soybean protein isolate gels. Different letters (a,b,c,d) within the same column show significant difference $p < 0.05$ at determined by Tukey's method.

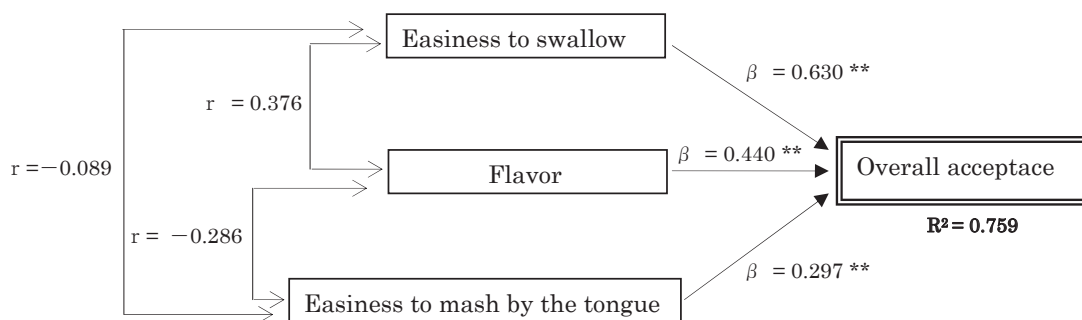


Fig. 6. Sensory evaluation test of pressure-induced soybean protein isolate gels

Abbreviations are as follows: R^2 , contribution ratio ; β , standard partial regression coefficient; r , correlation coefficient; **, significant difference at $p < 0.01$.

で、主要な構成サブユニットは酸性サブユニット ($A_1 \sim A_3$) および塩基性サブユニット ($B_1 \sim B_3$) から形成されるため¹⁸⁻²⁰⁾、抽出された11S グロブリンは主にグリシニンと考えられる。このことから、大豆から抽出した7S および11S グロブリンの主なサブユニット構成を確認する

ことができた。

分離大豆タンパク質ゲルのSDS-PAGEによるゲル構成成分の分析から、加熱変性と加圧変性の相違が認められた。加熱ゲルの上清部では、7S グロブリンの主なサブユニットのバンドがほとんど消失していたことから、加熱

処理では、7S グロブリンは解離せずに、そのまま重合すると考えられる。さらに、 β -サブユニットバンドが完全に消失したことから、熱安定性が強いと考えられた。一方、加圧処理ゲルの上清部では、主な大豆タンパク質成分が検出され、加圧により解離しやすいゲルであることが示唆された。

タンパク質はペプチド結合に非共有結合が寄り集まって構成され、従来の熱変性は分子運動により、弱い共有結合が切断され、立体構造が崩壊することで起こる²¹⁾。これに伴い、分子間での会合反応が起こり、疎水性物質同士の集合による疎水性相互作用やジスルフィド結合が関与して加熱によるゲル形成が生じるとされている²²⁾。一方、タンパク質の加圧変性は、圧力をかけることによって、圧縮され、アミノ酸側鎖を分子内部から水中へ露出させ、そこに結合水が増加することでタンパク質の体積を減少させるとされている⁹⁾。このような充填効果により、イオン結合、水素結合および疎水結合等の非共有結合が変化し、サブユニットの解離、さらには立体構造を崩壊が生じるものと考えられた。

3) 大豆および分離大豆タンパク質の栄養的特性

「中国薬膳大辞典」によると、薬膳とは「中医学理論の指導のもとで、中薬と食物を配合し、伝統的飲食調理技術と現代的加工法を用い、色・香・味・形の全てによく、保健と治療に効果のある食療食品、料理の総称」と記載されている^{3,23)}。薬膳食材の一つである大豆は、古くから豆腐、油揚げ、納豆などの加工食品として利用されている他に、分離大豆タンパク質等の食素材として、種々の水産練り製品や畜肉加工品などに添加されている。分離大豆タンパク質は大豆を脱脂することで、エネルギー量の低減化、タンパク質の濃縮により、血中トリグリセリド低下作用、血中LDL コレステロール低下作用などの機能性が挙げられている。また、それらのタンパク質の消化分解により生成される大豆ペプチドは、血圧上昇抑制効果、抗腫瘍活性、抗酸化効果を示すとされている²⁴⁾。これらのことから、分離大豆タンパク質は身体調節機能を高める薬膳の食素材として有効であると考えられる。また、溶解性のある粉末状で、大豆よりも消化吸収がされ易いとされている。さらに、黒大豆品種では種皮に含まれるアントシアニンやプロシアニジン等ポリフェノール類を含有する²⁵⁾ため、抗酸化性が期待でき、今後、分離大豆タンパク質ゲルの薬膳食素材としての実用化に向けて、原料大豆の品種についても検討中である。

4) 分離大豆タンパク質ゲルの官能評価および嚥下状況 加熱および加圧処理分離大豆タンパク質ゲルの官能評

価では、加圧ゲルの方が加熱ゲルより軟らかく、弾力があり、舌で押しつぶしやすいとされ、物性値と対応する結果が得られた。さらに、飲み込みやすく、残留感も少ないとされたことから、高圧処理による分離大豆タンパク質ゲルの食感、食味は加熱ゲルよりも良好と評価された。

加圧処理分離大豆タンパク質ゲルの官能評価では、飲み込み易さ、風味および舌での押しつぶし易さが総合評価へ影響を与えていることが明らかとなった。本研究の被験者は健康者であったが、飲み込み易さが最も重要視された。しかし、どの濃度が飲み込みやすく感じるかについては個人差が大きく、個人の摂食機能に応じて段階的に調製することで、嚥下食としての利用性の幅を広げることができると考えられた。分離大豆タンパク質ゲルの嚥下状況に関して、加圧ゲルは加熱ゲルに対して、咀嚼回数、嚥下回数は少なく、嚥下時間も短いことから、食塊の形成が容易であることが示された。

謝 辞

本研究の試料をご提供して頂いた不二製油（株）つくば研究開発センターの方々に感謝の意を表します。また、官能評価の検査員としてご協力いただきました栄養科学部学生の皆様に深謝いたします。

文 献

- 1) 厚生統計協会編：厚生指針 国民衛生の動向．57, 9, p37 (2010)
- 2) 真鍋久：大豆タンパク質の機能性を探る．日本調理科学会誌, 38, 2, 204-208 (2005)
- 3) 徳井教孝, 三成由美, 帳再良, 郭 析：薬膳と中医学．p.2-4, p11-19, 建帛社, 東京 (2003)
- 4) 杉山信太郎：大豆の起源と伝播について．恵泉女学園短期大学紀要, 18, 123-142 (1985)
- 5) Anderson, J. W. et al.: Meta-analysis of the effects of soy protein intake on serum lipids. N. Engl J. Med., 333, 276-282 (1995)
- 6) Zhan, S. and Ho, S. C.: Meta-analysis of the effects of soy protein containing isoflavones on the lipid profile. Am. J. Clin. Nutr., 81, 397-408 (2005)
- 7) 山内文男：大豆タンパク質の構造と食品特性．醸協, 89, 9, 665-671 (1994)
- 8) 森友彦：大豆タンパク質のゲル形成機構．日本農芸化学会誌, 62 (5), 882-885 (1988)
- 9) 森友彦：大豆タンパク質のゲルと物性発見の分子構造要因—第二世代の研究—．日本調理科学会誌, 38 (3), 221-225 (2005)
- 10) 林力丸編：食品への高圧利用．p1-27, さんえい出版 (1989)
- 11) 山崎彬：超高压処理による食品物性の改質と圧力殺菌の展望．日本調理科学会誌, 35, 2, 97-216 (2002)

- 12) Laemmli, U.K.: Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227, 680-685 (1970)
- 13) 文部科学省：日本食品標準成分表2010. 文部科学省 科学技術・学術審議会資源調査分科会報告，全国官報販売協同組合 (2010)
- 14) 山内文男：大豆タンパク質の構造と機能特性. *New Food Industry*, 24 (8), 43-58 (1982)
- 15) 西村直道，三田由紀，桜井麻衣子：大豆たん白質難消化性画分による大腸内フローラの変動解析. *大豆たん白質研究*10 (28), 48-54 (2007)
- 16) 厚生労働省：<http://www.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syokusanzen/hokenkinou/houretsuti.html> (厚生労働省ホームページ)，特別用途食品の表示許可等について。(平成21年2月12日付け食安発第0212001号)
- 17) N. Maruyama, T. Katsube, Y. Wada, Moon Hun OH, Ana Paulina Barba De La Rosa, E. Okuda, S. Nakagawa and S. Utsumi: The roles of the N-linked glycans and extension regions of soybean β -conglycinin in folding, assembly and structural features. *Eur. J. Biochem.*, 258, 854-862 (1998)
- 18) S. Utsumi, T. Nakamura and T. Mori: Role of constituent subunits in the formation and properties of heat-induced gels of 11S globulins from legume seeds. *J. Agric. Food Chem.*, 31, 503-506 (1983)
- 19) S. Utsumi, Srinivasan Damodaran and John E. Kinsella: Heat-induced interactions between soybean proteins: preferential association of 11S basic subunits and β subunits of 7S. *J. Agric. Food Chem.*, 32, 1406-1412 (1984)
- 20) K. W. Clara Sze, Harshal H. Kshirsagar, Mahesh Venkatachalam and Shridhar K. Sathe: A circular dichroism and fluorescence spectrometric assessment of effects of selected chemical denaturants on soybean (*Glycine max* L.) storage proteins glycinin (11S) and β -conglycinin (7S). *J. Agric. Food Chem.*, 55, 8745-8753 (2007)
- 21) 林力丸：加圧調理－原理と特徴. *調理科学*, 24, 3 (1991)
- 22) 添田孝彦：加熱による大豆タンパク質分子形態変化の検討. *日本食品工業学会誌*, 41, 10 (1994)
- 23) 王省悦主編：中国薬膳大辞典，大連出版社 (1992)
- 24) 塚本知玄，田山一平：調理加工から見た大豆の健康機能成分. *日本調理科学会誌*, 40, 3, 121-126 (2007)
- 25) 的場輝佳：食材の健康増進機能に対する調理の意義. *日本調理科学会誌*, 40, 20, 52-58 (2007)