高圧処理を利用した 大豆タンパク質添加ハイブリッドソーセージの製造について

鈴木敏郎^{*1}・多田耕太郎^{*2}

The manufacture of hybrid sausage with soy protein using high pressure processing

SUZUKI Toshiro^{*1} and TADA Kotaro^{*2}

^{*1} Tokyo University of Agriculture, Food Processing Center
1-1-1, Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502

^{*2} Toyama Food Research Institute
360, Yoshioka, Toyama-shi, Toyama 939-8153

The objective of this study is to develop low-salt hybrid sausages with soy protein using pressure processing. The quality of soy-hybrid sausages were modified by changing pressure (0~500 MPa), NaCl concentration (0, 1.0, 2.5%) and the amount of soy protein (10~40%). Water holding capacity of soy-hybrid sausages increased with increasing amount of soy protein regardless of the application of the pressure treatment. However, the gel strength and the work done values decreased proportionally with the amount of soy protein added. The largest pressurization effect was observed, when the pressure processing was performed at 200 MPa with 1% salt. With the treatment at 200 MPa, the gel strength and the work done values of soy-hybrid sausages with 1% salt were almost identical to 2.5% salt soy-hybrid sausages. When NEM was added, the gel formation was clearly inhibited in pressure-treated soy-hybrid sausages with 1% salt. This result strongly suggests that the S-S exchange reaction of SH group increased by pressure treatment and that this increase played an important role for the gel formation of soy-hybrid sausages with low salt concentration. According to sensory evaluation, it became clear that the pressure-treated soy-hybrid sausages at low salt concentration (1.0% NaCl) with 10% soy protein had almost the same quality of pork sausage at usual salt concentration (2.5% NaCl). These results show that using pressure treatment at 200MPa produced good quality soy-hybrid sausages without excessive salt, as well as food additives such as phosphates.

(Received Oct 15, 2002; Accepted Nov. 3, 2002)

これまで筆者らは、食肉中の主要タンパク質であるミオシンとアクトミオシンに200MPa程度の加圧処理を施すと、通常は自立するゲルを形成しない0.2M程度の低塩濃度においても、良好な加熱ゲルを形成することを明らかにした^{1),2)}。また、最適加熱ゲル形成温度の異なる乳清タンパク質や大豆11Sグロブリンをアクトミオシンと混合し加圧処理を行うと、アクトミオシンのゲル形成温度帯である70℃においても良好な加熱ゲルを形成することもすでに報告している^{3)~5)}。一方、この高圧処理技術をソーセージ製造に利用すると、1%程度の食塩濃度においてリン酸塩などの食品添加物を使用せずに良好な低塩濃度ソーセージを製造できることも明らかにした⁶⁾。そこで本報告では、これまでの研究結果を踏まえて、近

年の健康志向の高まりから、畜肉タンパク質の代替えとしてその使用量が増加している大豆タンパク質に着目し、加圧処理技術を用いた新しいタイプの低塩濃度ハイブリッドソーセージを製造することを目的として研究を進め、新しい知見を得たので報告する。

実験方法

1. 試料の調製

(1) 原材料の配合 ソーセージは豚背脂の添加量を20%に固定し、豚モモ肉量(70~40%)と大豆タンパク量(フジプロE, 不二製油製, 10~40%)が総量で80%になるように計量した。

(2) 大豆エマルジョンの調製 大豆タンパク量に対

^{*1} 東京農業大学食品加工技術センター (〒156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1)
E-mail: tosuzuki@nodai.ac.jp

^{*2} 富山県食品研究所 (〒939-8153 富山県富山市吉岡360)
E-mail: kotaro@agri.pref.toyama.jp

して通常は5倍量の水を添加し、背脂とともに真空カッター中で2分間混合してエマルジョンを調製した。なお、大豆タンパクに対する加水の影響試験では、大豆タンパクに対し3倍量から7倍量の水を添加した。

(3) 塩漬および充填 モモ肉重量に対して20%の氷水と0.01%の亜硝酸塩、全固形分量に対し食塩が0, 1.0, 2.5%になるように添加し(通常は1.0%添加)、前もって調製しておいた大豆エマルジョンとともに真空サイレントカッター中で5分間カッティングした。次に、調製原料を4℃の冷蔵庫中で24時間塩漬後、内径20mm、長さ100mmの亚克力管に充填した。

2. 加圧および加熱処理

調製原料を充填した亚克力管は真空包装し、加圧処理装置(IHI社製ITP-70)を用いて0℃で15分間、100~500MPaの圧力処理を行った(通常は200MPaで処理)。加圧試料は無加圧のものとともに70℃の水槽中で30分間加熱した後、流水中で冷却して試験用試料とした。

3. 保水率の測定

加圧・加熱処理後の試料重量を加圧処理前の試料重量で割り、次式により保水率(%)を求めた。

$$\frac{\text{加圧・加熱後の試料重量 (g)}}{\text{加圧前の試料重量 (g)}} \times 100$$

4. 色調の測定

25mmの幅に切断した試料断面のL値(明度), a値(赤色度), b値(黄色度)を色彩色差計(ミノルタ社製CT 210)を用いて測定した。

5. ゲル強度およびワークダン値の測定

インストロン万能試験機(インストロン社製5560)を用いて、直径20mm、高さ25mmの切断試料のゲル強度(N)とワークダン値(mJ)を測定した。すなわち、直径75mmの円盤を用い、移動速度50mm/min、圧縮率80%で試料全体を圧縮して測定した。

6. 復元率の測定

インストロン万能試験機で圧縮した試料の5分後の高さをノギスにて測定し、次式により復元率(%)を求めた。

$$\frac{\text{圧縮後の試料の高さ (mm)}}{\text{圧縮前の試料の高さ (25mm)}} \times 100$$

7. N-Ethylmaleimide (NEM) 添加試験

食塩濃度(0, 1.0, 2.5%)を変えた10%大豆タンパク添加ソーセージの全水分量に対し、最終濃度が50mM NEMとなる試料を調製した。製造法および加圧処理は、上述した方法と同様に行い、加熱後のゲル強度およびワークダン値を測定した。

8. 官能評価

20名(男女各10名)のパネラーにより、大豆タンパク10%を添加した低塩濃度(1.0%)および高塩濃度(2.5%)の加圧と無加圧ハイブリッドソーセージと、大

豆タンパクを含まない食塩濃度2.5%のポークソーセージ(対照)について、色、きめ、歯ごたえ、味、塩味および総合評価について5点評価法(1点:非常に悪い, 2点:悪い, 3点:普通, 4点:良い, 5点:非常に良い)で官能評価を行った。得られた結果は、分散分析法^{7,8)}により有意差検定を行った。

実験結果および考察

1. 保水率に与える大豆タンパク添加の影響

大豆タンパク添加量がハイブリッドソーセージの保水率に与える影響をFig. 1に示した。また、大豆タンパクへの加水量の影響を図中にインセットした。食塩を2.5%添加した場合、加圧区、無加圧区ともに大豆タンパク添加量に関係なく98%以上の保水率を示し、加圧処理および大豆タンパク添加量は保水率に影響を与えなかった。食塩を1.0%添加した場合には、大豆タンパク添加量が10%の時に保水率が加圧区で94.9%, 無加圧区で93.1%と食塩2.5%添加区に比べ若干減少した。食塩無添加では、大豆タンパク10%添加の加圧区における保水率は85.1%, 無加圧区で78.2%を示し、食塩無添加は食塩を添加したものに比べて明らかに保水率は低くなった。しかし、大豆タンパク添加量30%でその保水率は加圧区、無加圧区ともに98%以上となり、1.0および2.5%食塩添

Fig. 1 Effect of the amount of soy protein on water holding capacity (W.H.C.) of soy-hybrid sausages with different NaCl concentration (pH 6.0, pressure treatment at 200 MPa for 15 min, heating temperature at 70℃ for 30 min)

2.5% NaCl: ■ Pressure-treated, □ Non-pressure-treated
1.0% NaCl: ● Pressure-treated, ○ Non-pressure-treated
0 % NaCl: ▲ Pressure-treated, △ Non-pressure-treated
Inset: (Effect of the amount of water on the WHC of soy-hybrid sausages with 1.0% NaCl and 10% soy protein)
● Pressuer-treated, ○ Non-pressure-treated

加のものと同様の保水率であった。インセット中に示した大豆タンパクに対する加水量の影響は、無加圧の場合、4倍量以上の加水で保水率は急激に減少したが、加圧処理を行うと7倍加水までは保水率の減少は約2%に留まり、明らかな加圧効果が認められた。

以上の結果より、大豆タンパク量が30%以上では、大豆タンパクの持つ保水性改善作用によりハイブリッドソーセージ自体の保水率が向上し、食塩濃度と加圧処理は保水率に影響を及ぼさないことが明らかになった。食塩無添加で大豆タンパクが10%の場合には、大豆タンパクの添加量が少ないため高い保水率を維持できず、また食塩無添加では加圧処理を行ってもミオシンおよびアクチンミオシンが加熱ゲルを形成しないために^{1), 2), 9)~11)}、ソーセージの保水率が著しく低下したと推察された。

2. ソーセージの色調に与える大豆タンパク質添加の影響

大豆タンパク添加量がソーセージの色調に与える影響をFig. 2に示した。無加圧区では大豆タンパク添加量が20%以上になると明度(L値)が減少したのに対し、加圧区においては30%の大豆タンパク添加でL値は上昇

Fig. 2 Effect of the amount of soy protein on color (L, a, b) of soy-hybrid sausages with different NaCl concentration (pH 6.0, pressure treatment at 200MPa for 15 min, heating temperature at 70°C for 30 min)

2.5% NaCl : ■ Pressure-treated, □ Non-pressure-treated
1.0% NaCl : ● Pressure-treated, ○ Non-pressure-treated
0 % NaCl : ▲ Pressure-treated, △ Non-pressure-treated

し、40%の添加で減少した。赤色度(a値)は食塩の添加量に関係なく、加圧区、無加圧区ともに大豆タンパクの添加によって低下し、10%添加の約7.5から40%添加の約2.5まで直線的に減少した。一方、黄色度(b値)はa値とは逆に大豆タンパク10%添加の約8.0から40%添加の約11.5まで、すべての実験区において上昇した。

以上の結果より大豆タンパクの添加量が増加するに従い、a値が低くb値が高くなるため、ハイブリッドソーセージの色調は若干黄色味を帯びることがわかった。

3. ゲル強度とワークダン値に与える大豆タンパク添加の影響

大豆タンパク添加量がハイブリッドソーセージのゲル強度とワークダン値に与える影響をFig. 3 A) B) に示

Fig. 3 Effect of the amount of soy protein on heat-induced gel strength and work done values of soy-hybrid sausages with different NaCl concentration (pH 6.0, pressure treatment at 200MPa for 15 min, heating temperature at 70°C for 30 min)

2.5% NaCl : ■ Pressure-treated, □ Non-pressure-treated
1.0% NaCl : ● Pressure-treated, ○ Non-pressure-treated
0 % NaCl : ▲ Pressure-treated, △ Non-pressure-treated

した。食塩無添加の加圧区、無加圧区および1%食塩添加の無加圧区のゲル強度はすべて20N以下を示しゲル組織は脆弱であった。しかし、1%食塩添加の加圧区と2.5%食塩添加の加圧区および無加圧区では、大豆タンパク10%添加でゲル強度が45~50Nを示し良好なゲルを形成した。大豆タンパク添加量が20%以上ではゲル強度は急激に低下し、大豆タンパク40%添加でゲル強度は20N以下となった。一方、ワークダン値もゲル強度と同様、1%食塩添加の加圧区は、2.5%食塩添加の加圧区、無加圧区とはほぼ同様の値を示した。

以上の結果より、食塩濃度1%で大豆タンパク10%添加のものに加圧処理を行うと、高塩濃度のものと遜色のないゲル強度とワークダン値を持つハイブリッドソーセージを製造できることが明らかになった。しかし、大豆タンパクの添加量が増加するとソーセージが脆弱になっ

Fig. 4 Effect of pressure intensity on heat-induced gel strength and work done values of 10% soy-hybrid sausage with 1% NaCl concentration (pH 6.0, pressure treatment for 15 min., heating temperature 70°C for 30 min)

たのは、90°C前後にゲル形成温度帯を持つ大豆タンパクが増え^{12),13)}、70°C前後にゲル形成温度帯を持つアクトミオシンのゲル形成が阻害を受けたためと推察された。

4. ゲル強度およびワークダン値に与える加圧量の影響

食塩濃度1%、大豆タンパク10%添加のハイブリッドソーセージのゲル強度とワークダン値に与える加圧量の影響をFig. 4 A) B) に示した。ゲル強度は200MPaまで急激に増加したが、それ以上の圧力で加圧処理を行うとゲル強度は減少した。ワークダン値もゲル強度と同様に200MPaまで上昇し、それ以上の加圧処理で減少した。

以上の結果は、ミオシンやアクトミオシンにおいてゲル形成に与える圧力効果が200MPa付近で最も発現するというこれまでの報告^{1),2)}とよく一致し、大豆タンパクを添加したハイブリッドソーセージにおいても200MPaの圧力処理が最適加圧量であることが明らかになった。

5. 復元率に与える大豆タンパク質添加の影響

大豆タンパク添加量がハイブリッドソーセージの復元率に与える影響をFig. 5に示した。また、処理圧力の復元率に与える影響を図中にインセットした。食塩0%の無加圧区では、大豆タンパク10%添加区においてその復元率が80%以下と他の実験区に比べ明らかに低かった。また、大豆タンパク添加量が増加するに従い、復元率はさらに減少し、40%の添加で復元率は60%まで減少した。一方、食塩0%で加圧処理を行った場合には、大豆タンパク添加20%まではその復元率が85%前後と加圧処理に

Fig. 5 Effect of the amount of soy protein on restitution of soy-hybrid sausages with different NaCl concentration (pH 6.0, pressure treatment at 200MPa for 15 min, heating temperature at 70°C for 30 min)

2.5% NaCl : ■ Pressure-treated, □ Non-pressure-treated
 1.0% NaCl : ● Pressure-treated, ○ Non-pressure-treated
 0% NaCl : ▲ Pressure-treated, △ Non-pressure-treated
 Inset : (Effect of pressure intensity on restitution of soy-hybrid sausages with 1.0% NaCl and 10% soy protein)

より復元率の改善がみられたが、それ以上大豆タンパクを増量すると急激に復元率は低下した。食塩を1.0%, 2.5%添加したものでは、1.0%添加の無加圧区において大豆タンパク10%添加で復元率が86%と若干低かったが、20~30%の大豆タンパク添加により復元率は90%前後を示した。また、1%食塩添加の加圧区は、2.5%食塩添加の加圧区および無加圧区とほぼ同じ復元率となった。しかし、大豆タンパクを40%添加すると、加圧区、無加圧区ともにその復元率は減少したが、1%食塩添加の無加圧区の減少率が最も大きかった。また、食塩濃度1%, 大豆タンパク10%添加の復元率に与える加圧量の影響を示したインセット図からわかるように、無加圧では74%であった復元率が200MPaの加圧処理で96%となり、明らかな加圧効果が認められた。しかし、それ以上加圧量を高くしても復元率の増加は認められなかった。

以上の結果より、加圧処理を行った低塩濃度ハイブリッドソーセージにおいて、大豆タンパクを30%程度まで添加しても復元率に影響を与えないことがわかった。

6. ゲル強度およびワークダン値に与えるSH基の影響

ハイブリッドソーセージのゲル強度とワークダン値に与えるSH基の影響をFig. 6 A) B) に示した。食塩無添加の加圧区、無加圧区ともにNEMを添加してもゲル強度およびワークダン値は大きく減少しなかったが、1%食塩添加の加圧区と2.5%食塩添加の加圧、無加圧区においてNEMを添加するとゲル強度とワークダン値は食塩無添加のゲル強度、ワークダン値の値まで急激に減少した。

以上の結果はすでに筆者らが報告しているアクトミオシンと大豆11S混合系の加熱ゲル形成にはSH基のS-S交換反応が重要な役割を演じているという報告¹⁴⁾を強く支持し、大豆タンパク添加ハイブリッドソーセージのゲル形成にもSH基のS-S交換反応が重要な役割を果たしていることが確認された。また、ハイブリッドソーセージのような複雑な系においても、加圧処理によりSH基量を増加させることができることが明らかになった。

8. 官能評価

食塩濃度を変えた10%大豆タンパク添加ハイブリッドソーセージの官能評価結果をTable 1 に示した。色調に

ついては、1%食塩添加の加圧区と無加圧区および2.5%食塩添加の無加圧区に有意の差は認められなかった。さめについては、1%食塩添加の無加圧区のものが1.61と最も評価が低く、次いで2.5%食塩添加の無加圧区が

Fig. 6 Effect of N-ethylmaleimide on heat-induced gel strength and work done values of soy-hybrid sausages with different NaCl concentration (pH 6.0, pressure treatment at 200MPa for 15 min, heating temperature at 70°C for 30 min)

Table 1 Sensory evaluation of pressure-treated and non-pressure-treated soy-hybrid sausages with high and low salt concentrations* (10% soy protein, pH 6.0, pressure treatment at 200MPa for 15 min, heating temperature at 70°C for 30 min)

	1 % salt Non-pressure	1 % salt Pressure	2.5% salt Non-pressure	2.5% salt Pressure	Control
Color	2.77 a	2.77 a	2.67 a	2.94 b	3.00 b
Grain	1.61 a	3.33 c	2.78 b	3.28 c	3.61 c
Texture	1.83 a	3.17 b	3.00 b	3.44 c	3.30 bc
Taste	1.67 a	2.88 b	2.78 b	3.11 c	3.05 bc
Salinity	1.94 a	2.94 b	3.28 b	3.39 bc	3.54 c
Total evaluation	2.11 a	3.00 bc	2.73 b	3.06 bc	3.36 c

* Values in the same row that are followed by the different letters are significantly different at $p < 0.05$

2.78と低い評価を受けた。他の3区については評点が3.0以上となり、各区間に有意差は認められなかった。歯ごたえ、味および塩味では、1%食塩添加の無加圧区の評価が最も低く、他の4区との間に明らかな有意差が認められた。また、1%食塩添加の加圧区と2.5%食塩添加の無加圧区の評価に有意差は認められなかった。総合評価において、1%食塩添加の加圧区は2.5%食塩添加の加圧区と対照としたポークソーセージとの間に有意差はなく、1%食塩添加においても加圧処理を行うことにより通常のソーセージと遜色のない品質のハイブリッドソーセージを製造することができた。

以上の結果、低塩濃度ハイブリッドソーセージの加熱前原料に加圧処理を行うと、通常の塩濃度のソーセージと官能評価においても遜色のないものを製造できたことより、加圧処理が今後の畜肉製品の低塩濃度化に十分応用できる加工技術であることが明らかになった。

要 約

加圧処理を利用して、大豆タンパクを添加した低塩濃度ハイブリッドソーセージの開発を目指し、加圧量（0～500MPa）、塩濃度（0, 1.0, 2.5%）、大豆タンパク添加量（10～40%）等を変えて試験を行った。大豆タンパク添加量が増加すると保水率は加圧処理の有無に関係なく増加したが、ゲル強度およびワークダン値は大豆タンパク添加量が増加するに従い直線的に減少した。加圧効果は1%食塩添加の試料に200MPaの圧力処理を行うと顕著に現れ、無加圧のものに比べて明らかにその値は高くなり、そのゲル強度とワークダン値は2.5%食塩添加の加圧区、無加圧区とほぼ同じ値となった。また、NEMを添加すると、1%食塩添加加圧区のゲル形成が著しく阻害されたことより、大豆タンパク添加ハイブリッドソーセージのゲル形成に加圧処理により増加したSH基のS-S交換反応が重要な役割を演じていることが明らかになった。また、200MPaで加圧処理を行った10%大豆タンパク添加ハイブリッドソーセージは、通常の塩濃度（2.5%）のポークソーセージと官能評価においても遜色のないものであり、低塩濃度ハイブリッドソーセージの製造に200MPa程度の圧力処理が非常に有効な技術であることが明らかになった。

文 献

- 1) SUZUKI, T. and MACFARLANE, J. J.: Modification of the Heat-Setting Characteristics of Myosin by Pressure Treatment, *Meat Science*, **11**, 263～274 (1984)
- 2) 鈴木敏郎・植原忠勝・鴨居郁三：加圧処理がアクトミオシンの加熱ゲル形成に与える影響, 日畜会誌, **62**, 154～160 (1991)
- 3) 多田耕太郎・鈴木敏郎：加圧処理がアクトミオシンと乳清タンパク質濃縮物共存系の加熱ゲル形成に与える影響, 日畜会誌, **65**, 868～874 (1994)
- 4) 多田耕太郎・鈴木敏郎：加圧処理がアクトミオシンと乳清タンパク質単離物（WPI）共存系の加熱ゲル形成に与える影響, 日畜誌, **66**, 644～650 (1995)
- 5) 鈴木敏郎・多田耕太郎：高圧処理がアクトミオシンと大豆11S混合系の加熱ゲル形成に与える影響, 日食保蔵誌, **28**, 59～65 (2002)
- 6) 鈴木敏郎・多田耕太郎：高圧処理を利用した低塩濃度ポークソーセージの製造について, 日食保蔵誌, **28**, 247 (2002)
- 7) 柴田寛三：新・生物統計学序説（創文，東京），p. 81 (1983)
- 8) 柳井久江：4 Stepsエクセル統計（星雲社，東京），p.135 (2000)
- 9) ISHIOBORO, M., SAMEJIMA, K. and Yasui, T.: Heat-induced Gelation of Myosin: Factors of pH and Salt Concentrations, *J. Food Sci.*, **44**, 1280 (1979)
- 10) ISHIOBORO, M., SAMEJIMA, K. and YASUI, T.: Heat-induced Gelation of Myosin Filaments at a Low Salt Concentration, *Agric. Biol. Chem.*, **47**, 2809～2816 (1983)
- 11) YAMAMOTO, K., SAMEJIMA, K. and YASUI, K.: The Structure of Myosin Filaments and the Properties of Heat-induced Gel in the Presence and Absence of C-protein, *Agric. Biol. Chem.*, **51**, 197～203 (1987)
- 12) HERMANSSON, A.-M.: Soy Protein Gelation, *JAOCs*, **63**, 658～666 (1986)
- 13) 芳賀聖一：筋原線維蛋白質および大豆蛋白質の加熱ゲル形成に関する研究, 宮崎農報, **32**, 1～77 (1985)
- 14) 鈴木敏郎・松本信二・鴨居郁三：加圧処理後のSH基量の変化がアクトミオシンの加熱ゲル形成に与える影響, 日畜会誌, **64**, 499～504 (1993)

（平成14年10月15日受付，平成14年11月3日受理）