静水圧と処理温度の相互作用による 食肉の色調変化

三代達也[§], 府中英孝, 小玉芳郎,
杉山雅昭, 松本 正*

丸大食品株式会社
*滋賀県工業技術総合センター

Interaction of Temperature and Pressure in The Color Changes of Meat

Tatsuya Mishiro[§], Hidetaka Fuchu, Yoshiro Kodama,
Masaaki Sugiyama and Tadashi Matsumoto*

Marudai Food Co., Ltd.,
21-3 Midori-cho, Takatsuki, Osaka 569-8577, Japan
*Industrial Research Center of Shiga Prefecture,
232 Kamitoyama, Ritto, Shiga 520-3004, Japan

The whitening of meat caused by the interaction of pressure and temperature during pressure processing was analyzed using minced beef, pork, and chicken. L-Values of the meat heated from 45°C to 75°C for 1 min followed a sigmoid curve. The whiteness of the meat pressured with 400 MPa for 10 min was evaluated to the heat-treatments of approximately 60°C by the linear equation transformed from the heat-curves.

From the relationship between the calculated temperature/pressure and processing temperatures, the temperature sensitivity in pressure processing differed with the type of meat. It was suggested that the increase of whiteness with temperature during pressure processing was dependent on the myoglobin concentration.

(Received Jul. 2, 2003 ; Accepted Jan. 21, 2004)

食品の加熱処理による有用成分の分解や有害物質の生成, 味, 臭いの変化等が問題となるなか, 静水圧による加圧処理は, 食品の非加熱処理方法として注目されている. 現在までに数多くの加工食品への応用が検討されていることから¹⁾, 食品加工技術の選択肢の一つとして有効な手法と考えられている.

食肉や食肉製品への静水圧の適応では, 加圧処理が食肉の性状変化を促し, 200 MPa 以上では圧力依存的に肉色が白味を帯びる²⁾³⁾ことが知られている. また生肉としての外観を保つためには 300 MPa が上限とも考えられている⁴⁾. 一方, 処理時の温度環境は食肉の物性⁵⁾や色調⁶⁾に影響するなど, 加圧後の食肉性状を配慮する上で重要な因子と考えられる. そこで, 幾つかの温度で加圧処理した食肉の白色化率から加熱に相当する温度を求めると共に, 肉種

間における処理温度の影響について比較検討した.

1. 実験方法

(1) 試料の調製

加圧および加熱処理に用いた試料は米国産牛モモ肉, 中国産鶏ササミ肉 (ともに冷凍) および国内産豚モモ肉 (冷蔵) を用いた. 脂肪および結合組織を取除いた各々の赤身部分を, オープンカッター (ザイデルマン社製, K21RAS 型) で細切した. その後, ポリエチレン製袋に 5 g ずつ充填して脱気包装し, 直ちに -20°C で凍結して処理試験まで保管した. 試料サイズは幅 30 mm, 長さ 60 mm, 厚さ 3 mm とした.

(2) 試料の加圧および加熱処理と色調の評価

室温下で約 10°C まで解凍した試料は, 恒温水循環式の温度制御装置を備えた食品用高圧処理試験機 (三菱重工業製, MFP-7000 型) を用いて圧力を 100 MPa から 400 MPa まで, 処理槽内温度を 5°C, 15°C, 25°C および 35°C に調整して 10 分間処理した. また, 同様に解凍した試料をウォーターバスで 45°C から 75°C まで 5°C 間隔に温度を設定し, 各温度で 1 分間浸漬した後, 直ちに氷水中で 5 分間冷却して当該温度における加熱処理試料とした. 試料の色調は, 冷却後直ちに色彩色差計 (ミノルタ社製, CR-300 型) を用いて L, a, b 値を各試料毎に 3 回測定した.

得られたデータの基本統計量, 線形変換および最小二乗法に基づく回帰分析は全てマイクロソフトエクセルを用いて処理した. また平均値の有意差は t 検定で評価した.

2. 実験結果および考察

(1) 加圧および加熱処理後の色調変化の比較

加熱処理した試料の L, a, b 値 (Fig. 1A) から, 外部エネルギーの増大とともに全ての肉種で L 値はシグモイド型の増加傾向を示した. 加圧処理試料の L 値 (Fig. 1B) も同様の挙動を示したことから, 加熱処理と加圧処理の関係を L 値を介して比較できるものと考えた.

生物増殖曲線に代表されるシグモイド曲線の連続関数の一つにロジスティックモデルが考えられている⁷⁾. ここで, ロジスティックモデル (式 1) は, 従属変数を変換 (式 2) することで線形変換⁸⁾ (式 3) できることが知られている.

$$P(x) = \exp(a + bx) / (1 + \exp(a + bx)) \quad \cdots \cdots \text{式 1}$$

$$P'(x) = \ln(P(x) / (1 - P(x))), 0 < P(x) < 1 \quad \cdots \cdots \text{式 2}$$

$$P'(x) = a + bx \quad \cdots \cdots \text{式 3}$$

そこで, 肉種毎に L 値の変化率 ($P'(Li)$) を求め (式 4), 式 2 による変換値 $P'(Li) = \ln(P(Li) / (1 - P(Li)))$ を白色率を示す従属変数, 独立変数を加熱温度とし, 最小二乗法に基づく単回帰分析を行った.

$$P(Li) = (Li - L_{\min}) / (L_{\max} - L_{\min}) \quad \cdots \cdots \text{式 4}$$

ここで, $L_{\max}$ と $L_{\min}$ は単一肉種における L 値の最大値と

* 〒569-8577 大阪府高槻市緑町 21-3

§ 〒520-3004 滋賀県栗東市上砥山 232

連絡先 (Corresponding author), mishiro_tatsuya@marudai.co.jp

Fig. 1 Variation of meat color with high hydrostatic pressures processing and heat-treatments

A : Heat-treatments, ■, pork ; ▲, beef ; ●, chicken

B : High hydrostatic pressures treatments on differential unit temperature,

(1), pork ; (2), beef ; (3), chicken, ■, 5°C ; □, 15°C ; ●, 25°C ; ○, 35°C, Perpendicular line indict S.D.,

Fig. 2 The linear equation transformed to the L-value sigmoid curve of heat-treated meat

A, pork ; B, beef ; C, chicken

最小値, L_i は $L_{\min} < L_i < L_{\max}$ を示す.

その結果, 全ての肉種で加熱温度と白色率との間に相関係数 0.90 以上 ($p < 0.05$) の直線関係 (Fig. 2 A~C) を得たので, 加圧時の L 値の変化率から加熱到達温度を求めることとした.

5°C から 35°C まで 10°C 間隔に調整した処理槽中で 400 MPa の処理を施した試料の L 値を同様にして白色率に換算し, 先の回帰式を適用することで牛肉の加熱到達温度は $(59.9 \pm 4.48^\circ\text{C})$, 豚肉では $(63.7 \pm 1.79^\circ\text{C})$, 鶏肉では $(61.6 \pm 0.94^\circ\text{C})$ と推測された. ここで, 推測値の変動係数は, 牛肉 (7.5%), 豚肉 (2.8%) および鶏肉 (1.5%) の順で小さくなり, 肉種毎の温度依存的な性質に違いがあるように思われた. また, 豚肉と鶏肉および豚肉と牛肉の推計値間に各々差が認められたが ($p < 0.05$), 圧力耐性を持つ種々の

タンパク質やその構成比, さらにには処理温度が反映するばらつきも影響したものと推察された.

(2) 加圧処理時の温度が食肉の色調変化に及ぼす影響

Fig. 3 A~C に加圧条件と各処理温度における予測到達温度との関係を示した. ここでは, 100 MPa 以上で直線関係が成立するものとし, 各肉種毎に平均値に基づく傾きを求め, 加圧時の温度に対してプロットした (Fig. 4). 牛肉と豚肉および鶏肉の間には処理温度の上昇に伴い変化率に差 ($p < 0.05$) が認められる傾向にあることから, 圧力処理時の温度が肉種毎の外観上の変化, 特に白色化に影響しているものと思われた.

これまで加圧処理された食肉の色調変化は, 牛肉³¹⁾ や豚肉⁹⁾ 等の肉種で個々に観察されており, 温度感受性を示す結果も示唆⁹⁾ されている. 圧力処理時の温度感受性は牛

Fig. 3 Predicted heat temperature from the whiteness of pressured meat using the L-value equations

A, pork ; B, beef ; C, chicken, ■, 5°C ; □, 15°C ; ●, 25°C ; ○, 35°C, Perpendicular line indict S.D.,

Fig. 4 Changes of the whiteness ratio of pressure treated meat with temperature

■, pork ; ▲, beef ; ●, chicken, ※, significantly difference ($p < 0.05$). The changes ratio were obtained from the slope of a calculated temperature vs., pressure on each meat spices, Perpendicular line indict S.D.,

肉が最も高く、次いで豚肉、鶏肉の順で低くなり、未処理試料の a 値の分布と一致した。また、 a 値はミオグロビン（以下、Mb）含量と正の相関¹⁰⁾があり、さらに食肉中の Mb は圧力依存的に極大吸収ピークが消失し、メト化の促進も観察⁴⁾されていることから、肉種間の温度感受性の違いは、食肉中の Mb の含量に依存しているものと推察された。

食肉製品の製造では、加工時の環境温度および品温管理が重視されており、加圧処理の実用の場における処理温度は制約を受ける。しかしながら、処理温度の設定は食肉を加圧処理する上で重要な因子であることから、処理目的や肉種に応じて圧力、処理槽の雰囲気温度、試料温度、熱容量を左右する処理槽への充足率といった諸条件を加味した設定も必要であると考えられた。

3. 要 約

(1) 加圧および加熱処理により食肉は白色化して L 値が上昇し、全ての肉種でシグモイド型の挙動を示した。

(2) 加熱処理した試料の L 値を線形変換し、加熱温度と白色化率の関係から、加圧試料の白色化率に相当する加熱温度を求めたところ、400 MPa で 10 分間処理した試料は、全ての肉種で 60°C 前後の加熱処理に相当する白色化率を示した。

(3) 圧力処理した食肉は圧力依存的に白味を帯びるが、処理温度の影響は肉種毎に異なり、食肉中の Mb 含量に関係していることが示唆された。

文 献

- 1) Suzuki, A., High pressure-processed foods in Japan and the world, Trends in High Pressure Bioscience and Biotechnology, Hayashi, R., (Elsevier Science B.V.), pp. 365-374 (2002).
- 2) 岡本 明, 鈴木敦士, 超高压処理が豚骨格筋に及ぼす影響, 食科工, **48**, 891-989 (2001).
- 3) Carlze, A., Veciana-Nogues, T. and Cheftel, J.C., Changes in color and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing, *Lebensum. -Wiss. u.-Technol.*, **28**, 528-538 (1995).
- 4) 大治司郎, 重久 保, 大森 丘, 食肉の熟成前処理方法, 特開平 5-68508 (1991.9.17).
- 5) Bouton, P.E., Ford, A.L., Harris, P.V., Macfarlane, J.J. and O'shea, J.M., Pressure-heat treatment of post-rigor muscle: objective-subjective measurements, *J. Food Sci.*, **42**, 857-859 (1977).
- 6) Cheah, P.B. and Ledward, D.A., High pressure effects on lipid oxidation in minced pork, *Meat Sci.*, **43**, 123-134 (1996).
- 7) 藤川 浩, 予測食品微生物学とその現状, 防菌防黴, **26**, 423-437 (1998).
- 8) 高橋善弥太, ロジスチック解析の理論, 「ロジスチック・Cox 回帰入門」, (日本医学館, 東京), pp. 25-28 (1995).
- 9) 野瀬正敏, 岩城 朗, 服部真之, 食肉加工への高圧処理の応用, 「食品産業の未来を拓く高圧技術と高密度培養」, 食品産業超高压利用技術研究組合編, (健康産業新聞社(株), 東京), pp. 273-299 (1993).
- 10) Boulianne, M., Biochemical and color characteristics of skinless boneless pale chicken breast, *Poultry Sci.*, **74**, 1693-1698 (1995).

(平成 15 年 7 月 2 日受付, 平成 16 年 1 月 21 日受理)