

## 畜肉の加熱量とゼラチン化率の関係

稲田 有美子

### Relationship between heat value of meat and gelatinization rate

Yumiko Inada

The value of packaged meat stored at ambient temperature greatly depends on the meat texture. The connective tissue collagen present in membranes containing muscle fibers is hydrolyzed and gelatinized by moist heating. Consequently, muscle fibers are loosened, thereby changing the meat texture. Because collagen becomes water-soluble by gelatinization, the gelatinization rate can be determined by quantifying hydroxyproline, which is an amino acid peculiar to collagen. Although there are reports on heating and gelatinization rate for cuttlefish and prawns, there are no such quantitative reports on livestock meat. Therefore, we quantified the effect of different heating conditions on the gelatinization rate and loosening of packaged pork.

We quantitatively demonstrated that the gelatinization rate was proportional to the increase in heating, and as the gelatinization rate increased, the pork easily loosened.

**Key words:** meat, texture, collagen, gelatinization rate, hydroxyproline, heating, loosening

### 1. 諸言

常温保存可能な容器詰食品において、畜肉のテクスチャーは商品価値に大きな影響を及ぼす。テクスチャーに関する要因は、硬さ、弾力、ほぐれやすさ、多汁性等様々あり、これらは筋線維の太さ、長さ、筋形質タンパク質と筋原線維タンパク質の量的関係、結合組織の量、脂肪と水分の量が関係すると言われている<sup>1)</sup>。中でも多汁感、しなやかさ、硬さといった特性は保水性によって影響を受け、また、ほぐれ感は筋周膜により束ねられた筋線維同士の結合状態によって影響を受ける。ほぐれ感は、筋線維を束ねている筋周膜が脆くなり、筋線維がほぐれることにより発現する食感である。それら膜などを構成する結合組織中のコラーゲンは湿熱加熱により加水分解してゼラチン化し、筋線維がほぐれやすくなる<sup>2)</sup>。コラーゲンはゼラチン化により水溶性となるため、コラーゲンに特有のアミノ酸であるヒドロキシプロリン (Hyp) 量を測定することによりゼラチン化率を求めることができる<sup>3, 4)</sup>。モンゴウイカ<sup>3)</sup>およびエビ<sup>4)</sup>について加熱とゼラチン化率の報告はあるが、畜肉に関しての定量的な報告は見あたらない。前報<sup>5)</sup>では、ほぐれやすさの測定方法を報告した。本報では加熱量の異なる容器詰豚肉のゼラチン化率を測定し、加熱量とゼラチン化率およびほぐれやすさとの関係を定量的に確認した。

### 2. 材料と方法

#### 2-1. 材料、包材および供試試料

豚肉（外もも）は部分肉の状態で専門店より調達した。ゼラチン化率を測定するサンプルの作製にはフィルム構成が 12  $\mu$ mPET / 15  $\mu$ mPA / 7  $\mu$ mAL / 60  $\mu$ mPP で内寸 90 × 70 mm のパウチを用いた。ほぐれやすさを測定するサンプルの作製には東罐興業（株）製ラミコンカップ LS 115-325 T と東洋製罐（株）製アルミ積層の蓋 12  $\mu$ mPET / 7  $\mu$ mAL / 15  $\mu$ mPA / 50  $\mu$ mPP を使用した。また、3-メルカプトプロピオン酸および9-フルオレニルメチルクロロフォーメートは東京化成工業（株）社製、それ以外は富士フィルム和光純薬（株）社製を使用し、メタノールおよびアセトニトリルは HPLC 用、それ以外は全て特級グレードの試薬を用いた。

#### 2-2. サンプル調製

ゼラチン化率測定用サンプルは以下の方法で調整した。豚肉は皮、脂、筋等を可能な限り除去した後、外もも肉を 15 × 25 × 50 mm (15 ~ 20 g) で、筋線維に平行となるよう切断した。パウチに切断した肉 1 切れを充填し、活性炭処理水を 32 g となるよう注入した。余分な熱履歴および調味液による影響を受けないよう生詰で水煮とした。空気をなるべく抜きながらインパルスシーラー（富士インパルス（株）社製 F1-400Y-10W PK, ダイアル 6）でヒートシールした。殺菌温度を 121.1℃とし、それぞれ

肉の中心が  $F_0=1, 8, 25$  分となるよう、肉の中心温度を測定しながら熱水シャワー方式で加熱殺菌（東洋製罐製シミュレーターレトルト (H130-C110)）を行った。その時の加熱量 (Heat value: Hv) は次の式で算出した (式 1)。なお、ほぐれやすさに関する  $z$  値は不明なため、暫定的に  $10^\circ\text{C}$  を採用した。

ほぐれやすさ測定用のサンプルは以下の方法で調整した。ラミコンカップに  $2.5\text{ cm}$  角に切断した豚肉を  $110 \sim 120\text{ g}$  充填し、活性炭処理水をカップに  $215\text{ g}$  となるよう注入した。窒素：炭酸ガス =  $1:1$  の混合ガスを  $5\text{ L/min}$  で  $15$  秒間フラッシュしてヘッドスペースのガスを置換した後、ヒートシール（(株) シンワ機械社製 SN-2S,  $175^\circ\text{C}$  - $1.5$  秒間）した。ゼラチン化率測定用サンプルと同様に肉の中心温度を測定しながら、加熱殺菌後冷却した。

$$\text{加熱量 Hv} = \int 10^{\frac{T-121.1}{z}} dt \quad \cdots \text{式 1}$$

T: 中心温度 ( $^\circ\text{C}$ )、 $z=10$  ( $^\circ\text{C}$ )、 $t$ : 時間 (分)

## 2-3. ゼラチン化率測定方法<sup>3,4)</sup>

### 2-3-1. 前処理

#### 2-3-1-1. 全 Hyp 量測定用試料の調整

細かく刻んだ生肉を約  $150\text{ mg}$  採取し、 $6\text{ N}$  塩酸を  $5\text{ mL}$  加え、 $110^\circ\text{C}$  で  $24$  時間加水分解し、 $10\text{ N}$  水酸化ナトリウム溶液で中和した後、 $10\text{ mL}$  に定容した。

#### 2-3-1-2. 水溶性画分の Hyp 量の定量

細かく刻んだ生肉を約  $30\text{ g}$  採取し、 $15 \sim 20\text{ mL}$  の超純水と共にホモジナイズし、遠心分離 ( $4^\circ\text{C}$ ,  $10,000 \times g$ ,  $20$  分間) 後、上清を  $25\text{ mL}$  に定容し、生肉の水溶性画分を調製した。その  $2\text{ mL}$  に  $6\text{ N}$  塩酸を  $4\text{ mL}$  加え、 $150^\circ\text{C}$  で  $1$  時間加水分解し、中和後、 $10\text{ mL}$  に定容した。また、パウチ詰した加熱量の異なるサンプルを全量ホモジナイズし、上清を  $25\text{ mL}$  に定容し、レトルト後の水溶性画分を調製した。その  $2\text{ mL}$  を生肉サンプルと同様の方法で  $150^\circ\text{C}$  で  $1$  時間加水分解後、 $10\text{ mL}$  に定容した。HPLC 測定後、生肉重量  $100\text{ g}$  あたりで Hyp 量を算出した。

### 2-3-2. HPLC 分析

島津製作所製高速液体クロマトグラフィー HPLC-20A および蛍光検出器 RF-10A XL を用いて OPA, FMOC プレカラム誘導体化法<sup>4)</sup> で測定した。移動相は A 液:  $40\text{ mM}$  リン酸二水素ナトリウム水溶液 ( $\text{pH}7.8$ )、B 液: アセトニトリル: メタノール: 超純水 =  $45:45:10$  を用いた。ガードカラム Agilent Technologies ZORBAX Eclipse AAA  $\phi 4.6 \times 12.5\text{ mm}$ , 粒径  $5\ \mu\text{m}$ , カラム Agilent Technologies ZORBAX Eclipse AAA  $\phi 4.6 \times 150\text{ mm}$ , 粒径  $5\ \mu\text{m}$  を装着し、注入量  $1\ \mu\text{L}$ , カラムオープン温度  $40^\circ\text{C}$ , 流速  $1.0\text{ mL/min}$ , 励起波長  $265\text{ nm}$ , 検出波長  $305\text{ nm}$ , 分析時間  $50$  分間で分析した。

### 2-3-3. ゼラチン化率の算出

ゼラチン化率は次式 (式 2) を用いて算出した。

$$\text{ゼラチン化率}(\%) = \frac{HW-LW}{LT-LW} \times 100 \quad \cdots \text{式 2}$$

HW: 加熱肉の水溶性画分中の総 Hyp 量

LW: 生肉の水溶性画分中の総 Hyp 量

LT: 生肉全体の総 Hyp 量

### 2-4. ほぐれやすさ測定方法

前報<sup>5)</sup> の方法により行った。島津製作所製 小型卓上試験機 EZ-S 500 N に直径  $118\text{ mm}$  の円盤状治具を装着し、歪み率  $60\%$  まで圧縮した時の圧縮強度を測定し、歪み率  $50\%$  の単位面積当たりのエネルギー値で表される逆数として求めた。

## 3. 結果および考察

### 3-1. ゼラチン化率と加熱量

ゼラチン化率と加熱量の関係を図 1 に示した。加熱量に比例して、ゼラチン化率が高くなり ( $R^2=0.996$ )、豚肉においてゼラチン化率と加熱量の正の相関関係が確認された。

コラーゲンは加熱すると、いったん収縮し、さらに加熱するとコラーゲンの鎖間の結合が切れ、ゼラチン化が起こる。その結果、結合組織の強固な線維状の構造は弱化し、結合組織で囲まれていた筋線維がほぐれ、肉はほぐれやすく軟らかくなる。動物種、年齢、運動の程度などによってコラーゲンの量や架橋結合の強さなどが異なるため、ゼラチン化の難易も異なる。一般に、肉のコラーゲンの収縮は約  $65^\circ\text{C}$  で起こり、 $65^\circ\text{C}$  以下ではゼラチン化はほとんど起こらないか長時間を要する。 $75 \sim 85^\circ\text{C}$  を超えるとゼラチン化は急速に進み、加熱温度が高いほど短時間に進行すると言われている<sup>6)</sup>。今回は、 $121.1^\circ\text{C}$  のレトルト領域の温度帯で実験していることからゼラチン化が進みやすく、ゼラチン化率と加熱量は正の相関関係になったと考えられた。これは筋線維を束ねている膜等の結合組織の脆弱化を示していると考えられる。

また、 $z$  値が変わってもゼラチン化率と加熱量の関係性には影響しなかったことから、殺菌値を計算する際に最も広く使用される  $z$  値である  $10^\circ\text{C}$  を採用して算出した。

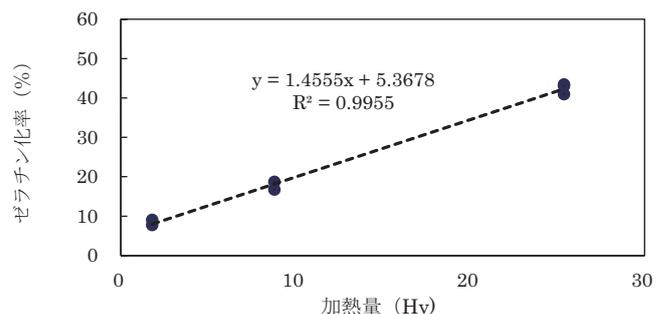


図 1 加熱量とゼラチン化率

### 3-2. ゼラチン化率とほぐれやすさ

ゼラチン化率とほぐれやすさの相関関係を図2に示した。ゼラチン化率の上昇に比例してほぐれやすくなり ( $R^2=0.999$ )、豚肉のゼラチン化率とほぐれやすさの関係についても、正の相関関係が確認できた。

加熱量が増加するにつれ、ほぐれやすくなり、軟らかく感じることを既に報告している<sup>5)</sup>が、今回の結果からゼラチン化が上記現象の一因と言える。加熱量が増加するにつれ、ゼラチン化率が高くなり、ゼラチン化率が高くなるとほぐれやすくなることを豚肉において定量的に示した。

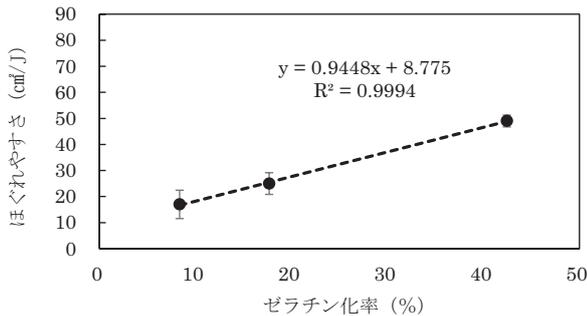


図2 ゼラチン化率とほぐれやすさ

### 引用および参考文献

- 1) 唐沢恵子 豚肉の保存, 調理法が官能検査に及ぼす影響, 日本養豚学会誌, 31(4), 121-126 (1994)
- 2) 渋川祥子編集 食品加熱の科学 p91, 朝倉書店 (1996)
- 3) 安藤真美 凍結解凍したモンゴウイカ外套膜の加熱調理に伴う物性変化へのコラーゲンの関与, 日本家政学会誌, 48(4), 315-321 (1997)
- 4) 竹内友里 レトルト殺菌によるウシエビ組織の脆弱化原因の研究, 日本水産学会誌, 77(5), 887-895 (2011)
- 5) 稲田有美子 畜肉のほぐれやすさ測定方法 東洋食品研究所 研究報告書, 32, 77-79 (2018)
- 6) 中谷明紘編集 シリーズ<食品の科学> 肉の科学 p114, L12 ~ 21, 朝倉書店 (1996)