食肉の比熱に及ぼす脂肪含量の影響

宮原晃義・谷口 慎¹・森地敏樹

日本大学生物資源科学部, 藤沢市 252-8510

¹ 農林水産省動物検疫所名古屋支所, 名古屋市港区 455-0032

(1998. 12. 1 受付, 1999. 5. 21 受理)

要 約 食肉の比熱は, 水分, 脂肪およびそれ以外の成分に影響される. 示差走査熱量計を用いて, ゼラチン, 寒天, 脂肪酸および食肉(牛肉, 豚肉, 鶏肉)の比熱を 0~100℃ の温度範囲で測定した.

水分の影響をみると, 酸化アルミナで $C_p = 0.04x + 0.50$ (C_p : 30℃ での比熱, x : 水分%) の関係があった. ゼラチンと寒天を用いて比較すると, 乾燥品の比熱 (10~100℃ の範囲の平均値) はそれぞれ 1.49, 1.37 kJ/kg · K であり, 水分 92% を加えるとそれぞれ 3.53, 3.46 kJ/kg · K となり, ほぼ同程度の影響が確認された.

ウシ, ブタ, ニワトリの脂肪の主成分である $C_{16:0}$, $C_{18:0}$, $C_{18:1}$, $C_{18:2}$ 脂肪酸の比熱は融解潜熱により, 融点付近で高くなった. また 4 者の等量混合物では 5℃ と 60℃ 付近の比熱がやや高い値を示した.

牛肉, 豚肉, 鶏肉の 10~100℃ の範囲の比熱を比較すると, 赤肉では畜種による差はほとんど認められず, 温度上昇に伴って, 約 0.5 kJ/kg · K の直線的な温度依存性が見いだされた. ウシ, ブタ, ニワトリの脂肪の比熱は, いずれも融点付近で高い値を示した. そのため, 脂肪含量の高い試料ほど畜種による比熱の差が明瞭になり, 牛肉と豚肉では 35℃ 付近で比熱の上昇が認められた.

日本畜産学会報, 70 (9) : J184-J188, 1999

食肉加工や肉製品製造の熱処理工程において, 熱エネルギー利用の適正化を図るため, 比熱は重要な熱物性値の一つであり, 例えば著者⁴⁾らが報告した熱移動予測の計算などには必須の数値である. しかし食肉は不均質な構造をもつ多成分系であるため, その比熱は測定法や試料調製法などの条件の違いによって, かなり幅の広い値を示す. そのため比熱に関する報告^{5,6)}は少なく, 古い報告が多い. 最近では測定技術などが改善されるにつれて, 食品の熱物性値を再検討しようとする傾向⁷⁾があり, 直接測定した値を用いる方が良いとする考え方⁹⁾が有力である.

一般に食品の比熱は, 成分間の相互作用がない場合, 食品の系全体の比熱と構成成分の比熱との間に加成性が成り立つため, Siebel の式²⁾を用いて水分と水分以外の成分の比熱から近似的な値を求めている. しかし, 計算によって得られた比熱は実験で求めた値よりも小さいといわれている^{1,10)}. また, 従来から食品の比熱は, 凍結点以上とそれ以下の温度では異なることが知られている¹¹⁾. 一方, 食品中の脂肪は温度によっては状態変化を起こし, 吸熱や発熱現象が生ずる. 熱処理過程での脂肪

の状態変化は食品内部の温度に影響を与えると考えられ, 温度変化を正確に予測できなくなることもある.

食肉および肉製品の中には, 脂肪を多く含む製品があり, その脂肪は一般に 20~45℃ の加熱でほとんどが融解するため, この温度付近では比熱が大きく変化するはずである. このことから, 水分とそれ以外の成分とはせず, 水分, 脂肪およびそれ以外の成分を考慮する必要がある. 本報では食肉に脂肪を配合して, 温度変化に伴う食肉の比熱(脂肪の融解潜熱も含める)を測定し比較した. その結果, 脂肪を多量に配合した牛肉と豚肉の試料では 35℃ 前後で比熱が大きく変化した. これに対して脂肪をほとんど含まない食肉では 10~100℃ の範囲で比熱が温度上昇に伴ってわずかずつ, ほぼ直線的に増加したが, 35℃ 前後の変化がほとんど見られないことを明らかにした.

材料および方法

1. 実験材料と試料の調製

1) ゼラチンと寒天試料

タンパク質など高分子物質の比熱に対する水の影響を

連絡者: 宮原晃義 (fax : 0466-84-3661, e-mail : miyahara@brs.nihon-u.ac.jp)

食肉の脂肪含量と比熱

Table 1. Moisture content (%) of meat samples

Amount of fat added to lean meat	Moisture (%)		
	Beef	Pork	Chicken
0%	72.9±0.2*	73.2±0.5	75.6±0.7
10	67.1±0.1	67.2±0.3	67.5±0.6
20	61.5±0.3	60.9±0.4	61.9±0.3
30	56.9±0.2	55.8±0.2	54.2±0.4
Fat only	17.2±0.4	17.3±0.4	12.8±0.3

* Mean±Standard deviation.

知るため、ゼラチンと寒天を用いて比熱測定を行った。ゼラチンと寒天（和光純薬工業）は40℃で12時間乾燥させた粉末を用い、それぞれ2, 4, 6, 8%を水に加え加温溶解した後、内径約3mmのストローに詰めて放冷したゲルを調製した。測定直前にストローからゲルを押し出し、DSC 試料用 Al 製簡易密封容器（アロジン処理）に約10mgを秤取したものを供試した。

2) 脂肪酸試料

リノール酸 (C_{18:2})、オレイン酸 (C_{18:1})、パルミチン酸 (C_{16:0}) およびステアリン酸 (C_{18:0}) は和光純薬工業の試薬を用いた。各脂肪酸とその等量混合物は、Al 容器に約10mgを秤取し、簡易密封した。

3) 食肉試料

食肉は日本大学付属農場で生産されたウシ（ホルスタイン種）、ブタ（ランドレース種×大ヨークシャー種のF₁×デュロック種）、ニワトリ（白色レグホーン系）の腿肉を用いた。

食肉試料の調製は、腿肉の脂肪組織、筋膜、腱をできるだけ除去して挽肉とした。また、脂肪はウシとブタは皮下脂肪、ニワトリは腹腔脂肪を挽いて乳鉢で混練した。脂肪の配合率は、各食肉（赤肉）にそれぞれの畜種の脂肪を0, 10, 20, 30%を配合したものおよび脂肪100%の5種類とした。混練後、Al 試料容器に約10mg秤取の後、簡易密封して比熱測定用の試料とした。

2. 水分と脂肪の測定

脂肪を配合調製した食肉試料の水分と粗脂肪分は、それぞれ常圧加熱乾燥法（125℃で2時間乾燥）とソックスレー脂肪抽出法（18時間抽出）による常法で測定した。

3. 比熱の測定

比熱の測定には、セイコー電子工業製示差走査熱量計 DSC-5200-220C（以下 DSC）を用いた。温度設定はクーリングコントローラで液体窒素により-4℃まで冷却し5分間保持したのち、10℃/min で120℃まで昇温して5

Table 2. Crude fat content (%) of meat samples

Amount of fat added to lean meat	Crude fat (%)		
	Beef	Pork	Chicken
0%	4.1±0.3*	4.2±0.5	3.6±0.5
10	11.1±0.1	9.2±0.3	12.5±0.4
20	19.6±0.2	18.1±0.5	19.6±0.3
30	28.9±0.2	27.8±0.2	28.3±0.4
Fat only	81.7±0.4	81.5±0.4	84.8±0.3

* Mean±Standard deviation.

分間保持した。比熱は基準物質（サファイア）と空容器および試料の値から DSCCP ソフトウェアにより算出した。

結果および考察

1. 試料中の水分と粗脂肪含量

食肉試料の水分と粗脂肪含量をそれぞれ表1と表2に示した。赤肉の水分は鶏肉が多く、粗脂肪は豚肉と牛肉がやや多い傾向であったが、食肉試料間には著しい差は認められなかった。試料に配合した皮下脂肪の脂肪酸は、主に C_{16:0}, C_{18:0}, C_{18:1}, および C_{18:2} の4種が多く、この4種の脂肪酸の構成比率は畜種により異なるが、総量としては脂肪中の88~92%を占めていた。この測定結果は省略するが、文献値³⁾とほぼ同じ値であった。

2. ゼラチンおよび寒天の水分と比熱

本報で測定した水の比熱（20℃）は4.2±0.01 (kJ/kg・K) であった。また、加熱による物性値の変化が比較的小ない酸化アルミナ粉末に水を5, 15, 25 および90%（重量%）加えて得られた30℃の比熱は、水分量に比例した値（ $r=0.995$, $C_p=0.04x+0.50$, C_p ; 比熱 kJ/kg・K, x ; 水分%）が得られた。

ゼラチンおよび寒天の比熱は一般にタンパク質よりも炭水化物の方が低いとされている²⁾。本報でも10~100℃におけるゼラチンと寒天（複合多糖類）の平均値はそれぞれ1.49, 1.37kJ/kg・Kで、水分を92%加えるとゼラチンは3.53, 寒天は3.46kJ/kg・Kとなり、ほぼ同様の結果が得られた。ゼラチンゲルは45℃でわずかに変化するが、これより高温度になると約0.01 kJ/kg・K ずつ上昇した。また40℃におけるゼラチンと寒天の比熱はゼラチンで約0.3 kJ/kg・K 高くなり、いずれも含有量が高くなるにつれて比熱は低下した。このことから水分とそれ以外の構成成分との間に加成性があることが確認された。

3. 脂肪酸の比熱

Fig. 1. Specific heat of 4 fatty acids and the mixture.

—●— stearic acid ---△--- palmitic acid —□—
linoleic acid —○— oleic acid —◆— mixture

Fig. 3. Specific heat of pork.

—○— 100% meat ---◇--- 90% meat —△— 80%
meat —□— 70% meat —●— 100% fat

Fig. 5. Effect of fat content on specific heat of 3 kinds of meats at 15°C or 35°C.

—◆— chicken at 15°C —■— beef at 35°C —▲—
pork at 35°C

水分を多く含む食品では、 $-10\sim 5^{\circ}\text{C}$ 付近の比熱が急激に上昇する¹¹⁾ のと同様に、脂肪の多い食品でも脂肪の融解潜熱の影響を受けて比熱が変化する。また、食肉の脂肪は畜種によって構成脂肪酸が異なるため、温度による比熱の変化は畜種で異なると考えられる。食肉の脂質は主にトリグリセリドの形で分布していて、純粋に近い脂肪酸と畜肉脂肪とでは脂質の化学構造や理化学的性質などが異なるが、食肉に比較的多く含まれている4種の

Fig. 2. Specific heat of beef.

—○— 100% meat ---◇--- 90% meat —△— 80%
meat —□— 70% meat —●— 100% fat

Fig. 4. Specific heat of chicken.

—○— 100% meat ---◇--- 90% meat —△— 80%
meat —□— 70% meat —●— 100% fat

脂肪酸と、それを等量混合したときの比熱を測定し、その結果を図1に示した。 $\text{C}_{18:2}$ は -9.5°C が融点であるため融解潜熱による比熱の変化は少なく、本報の温度範囲では明確な差は認められなかった。 $\text{C}_{18:2}$ 以外の各脂肪酸の比熱は融点付近で高くなった。また、4種混合の脂肪酸の比熱は融点降下により 5°C と 60°C でやや大きな変化を示した。

4. 食肉の比熱

牛肉、豚肉および鶏肉の $5\sim 100^{\circ}\text{C}$ の範囲の比熱をそれぞれ図2, 3および4に示した。赤肉100%では畜種による差はほとんどみられず、温度の上昇に伴って約 $0.5\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ の温度依存性がみられた。また、畜種による比熱の差は脂肪含量の多い試料ほど大きく、脂肪100%についてみると、牛脂は 35°C を中心として比較的幅広い温度範囲で比熱の変化が観察された。牛脂の脂肪酸組成から見ると $\text{C}_{18:1}$ が約半分を占め、 65°C 付近に融点がある $\text{C}_{16:0}$ と $\text{C}_{18:0}$ は36%程度含まれていたが、この温度付近では比熱の変化はみられなかった。また、豚脂では $\text{C}_{18:1}$ と $\text{C}_{18:2}$ が約55%を占めているため、 10°C と 35°C 付近で大きな変化がみられた。一方、鶏脂は $\text{C}_{18:2}$ 多く、比熱は 15°C で高く、 35°C ではほとんど変化しな

かった。

脂肪を配合した牛肉と豚肉の 35℃ と鶏肉の 15℃ における比熱の変化を図 5 でみると、脂肪含量の増加に伴って比熱が高くなることが認められた。

通常、食肉の比熱は凍結点以下 (−1.7〜−3.8℃) と凍結点以上においてそれぞれ一定の温度で示されている⁸⁾。食肉の熱容量について Sanz ら⁹⁾ は 30〜−40℃ で検討を行っているが、この熱容量から換算した比熱は本報の数値とよく一致した。Sanz ら⁹⁾ は水分含量を主に示し、特定の温度における比熱を記載している。それに対して本報では水分と脂肪含量を段階的に変えて 10〜100℃ の範囲で連続的に比熱を測定した。さらに著者ら⁴⁾ は有限要素法による加熱食肉製品の熱解析を検討したが、この熱解析において比熱は不可欠な因子であり、本報の数値は効果的に利用できる。本報では 10〜100℃ の範囲において、脂肪を多く配合した試料では脂肪の融点付近の比熱は上昇するが、脂肪が少ない試料や脂肪の融解熱の影響を受けない温度範囲では一定の温度依存性が認められることを明らかにした。これらの成績は食肉の加熱や冷却などの熱処理予測をさらに正確にすることに役立つと考えられる。

文 献

- 1) Freeman ME. Heat capacity and bound water in starch suspension. *Archives of Biochemistry*, 1 : 27-39. 1943.
- 2) 林 弘通. 食品物理学. 91-97. 養賢堂. 東京. 1989.
- 3) 科学技術庁資源調査会. 日本食品脂溶性成分表 (脂肪酸・コレステロール・ビタミン E). 90-112. 大蔵省印刷局. 東京. 1988.
- 4) 宮原晃義・木幡聡美・森地敏樹. 有限要素法によるロースハムの製造工程における熱解析. 日本食品科学工学会誌, 45 : 261-264. 1998.
- 5) Mohsenin NN. Thermal Properties of Foods and Agricultural Materials. 25-38. Gordon and Breach. London. 1980.
- 6) Moline SW, Sort AJ, Short AJ, Rinfret AP. Thermal properties of foods at low temperatures. *Journal of Food Technology*, 15 : 228-231. 1961.
- 7) 長島 昭. 日本熱物性研究会創立 10 周年記念セミナー. 1-2. 1989.
- 8) 日本熱物性学会編. 熱物性ハンドブック. 446. 養賢堂. 東京. 1990.
- 9) Sanz PD, Alonso MD, Mascheroni RH. Thermophysical properties of meat products : General bibliography and experimental values. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineers*, 30 : 283-296. 1987.
- 10) Stitt F, Kennedy EK. Specific heat of dehydrated vegetables and egg powder. *Food Research*, 10 : 426-436. 1945.
- 11) Woolrich WR. Specific heat and latent heat of foods in the freezing zone. *ASHRAE Journal*. 4 : 43-47. 1966.

Effect of Fat Content on Specific Heat of Meats

Mituyoshi MIYAHARA, Shin TANIGUCHI¹ and Toshiki MORICHI

College of Bioresource Sciences, Nihon University, Fujisawa-shi 252-8510, Japan

¹ Animal Quarantine Service Nagoya Branch, Minato-ku, Nagoya-shi 455-0032, Japan

Corresponding : Mituyoshi MIYAHARA (fax : +81(0) 466-84-3661, e-mail : miyahara@brs.nihon-u.ac.jp)

Specific heat of meats is considered to be affected by moisture, fat and other components. Using a differential scanning calorimeter, specific heats of gelatin, agar-agar, fatty acids and meats (beef, pork and chicken) were measured in the temperature range from 0 to 100°C.

The effect of moisture content on specific heat of aluminium oxide could be expressed in the equation as follows :

$C_p = 0.04X + 0.50$ (C_p ; specific heat at 30°C, X ; moisture content%).

Average values of specific heats of dry gelatin and agar-agar in the range from 10 to 100°C were 1.49 and 1.37(kJ/kg · K), respectively. Addition of 92% amount of water to gelatin and agar-agar resulted in the increase of specific heat to 3.53 and 3.46 kJ/kg · K, respectively.

Specific heats of fatty acids ($C_{16:0}$, $C_{18:0}$, $C_{18:1}$ and $C_{18:2}$) exhibited higher values at the melting points due to latent heat. Mixture of 4 fatty acids of the equal quantities was found to increase specific heat at the melting points of the mixture, i.e. ca. 5°C and 60°C.

Specific heats of beef, pork and chicken were compared in the temperature range from 10°C to 100°C. In the case of lean meats, there was little difference among the specific heats of 3 kinds of meats. A linear temperature dependence of ca. 0.5 kJ/kg · K was observed with the rise of temperature. Tallow, lard and chicken fat showed higher values of specific heat at the melting point, and a distinct difference of specific heat was detected in 3 kinds of meats in the sample containing a large amount of fat. The increase of specific heat was recognized at around 35°C in beef and pork.

Animal Science Journal, 70 (9) : J184-J188, 1999

Key words : Meats, Beef, Pork, Chicken, Specific heat