マイクロ波加熱による乾燥全卵・卵アルブミンの 膨化現象と練生地成分の変化

肥後温子*・野口 駿**・和田淑子*

Inflation Phenomena and Changes in Components of Dried Whole Egg, Egg Albumin-Water Mixtures by Microwave Irradiation

Atusko HIGO*, Shun NOGUCHI** and Yoshiko WADA*

* Kanto Gakuin Woman's Junior College, 4834 Mutsuura, Kanazawa-ku, Yokohama-shi 236

** Kyoritsu Women's University, 1-710 Motohachioji, Hachioji-shi, Tokyo 193

The inflation phenomena due to brief microwave irradiation on albuminous materials with a limited amount of water involve remarkable changes in their rheological properties. To investigate the inflation phenomena and the changes in physico-chemical properties of the materials, whole egg and egg albumin compounded with various amount of water were heated by microwave and conductive ovens and examined for some properties, and the following results were obtained: (1) Whole egg and albumin, ranged in 30~40% of their initial water content, were the most inflatable as indicated by higher velocities of temperature-rise and water evaporation. (2) The samples inflated by microwave heating were different from those by conductive heating in the following points. ① The rate of enzymatic digestion with trypsin was much higher. ② The rate of deuterium-protium exchange was higher at the earlier heating stage. ③ The amount of extractive protein were rather lowered of the samples in the limited water condition. ④ The release of lipid from whole egg on microwave heating was prevented much more than that on conductive heating.

(Received Jan. 27, 1997; Accepted Jun. 27, 1997)

マイクロ波を利用した膨化乾燥加工法は、膨化率が高く、加工時間が短く、仕上げ乾燥まで同時にできるなど利点が多く、非伝熱的な誘電特性を生かした画期的な加工法として注目されており、卵・魚肉等のタンパク質練生地、餅米等の澱粉質素材を用いた加工法が種々報告されている^{1)~5)}。しかし、こうしたマイクロ波の特殊加熱効果が実用的に研究されていることはあっても、基礎的に研究されることはきわめて少なく、そのために従来の熱伝導加熱法との本質的な違いがまだ充分認識されているとはいえない場合がある。

マイクロ波加熱における膨化現象が、低水分領域にある食品や練生地に発現しやすいことについて、すでに一部報告したが⁶⁾、膨化現象の起きやすい条件、膨化誘因、

膨化に伴う成分変化など未知の部分が多いので、本報告ではこれらについて恒温乾燥器を対照熱源として比較検討した。

実 験 方 法

1. 練生地の作成と加熱処理

乾燥全卵（キューピータマゴ製、水分 5.8、タンパク質 51.5、脂質 42.0 g/100 g）と卵アルブミン（和光純薬製、水分 7.0、タンパク質 93.0 g/100 g）を加水量 10~90%（水分量 16~91 g/100 g）の練生地とし、一夜密封保存して粉体と水とを十分に親和させた後、以下のように熱処理した。

マイクロ波加熱（以下 Mw と略記）：周波数 2450

* 関東学院女子短期大学（〒236 神奈川県横浜市金沢区六浦町 4834）

** 共立女子大学（〒193 東京都八王子市元八王子町 1-710）

MHz, 出力 500 W の電子レンジ (日立 MRO-5500 s, シャープ RE-B3) を用い, 200 ml 容ビーカーの底に広げた 50 g の試料 (直径 6 cm, 厚さ 1.8~3.1 cm) 1~2 個をターンテーブルの中心部より等距離に並べて急速短時間加熱を行なった。

熱伝導加熱 (以下 CH と略記): 同試料を 140°C 恒温乾燥器で加熱した。この際, 内部温度の昇温速度および水分蒸発速度から, CH 処理時間は Mw 処理の約 10 倍を用い, Mw 4 分と CH 40 分を主に対比した。

2. 生地温度, 蒸気圧の測定

生地温度の測定: 加熱後 5 秒以内に練生地の内部温度を, クロメル・アルメルの直径 0.3 mm カップル線とハイブリッドレコーダーを用いて測定した。この際, 直径 6 cm ビーカー内の 1 試料当たり 10 点の内部温度が計測できるよう支持具を作成して測定した (図 1 参照)。なお Mw 処理の場合のみ, 練生地の表面温度を赤外線放射温度計 (NEC 三栄, サーモレーサー 6 T 62, 放射率 1.0) を用いて測定した。

蒸気圧測定: 電子レンジ側面に直径 5 mm の穴をあけてテフロンチューブ (12 cm, 図 2 参照) を通し, 庫内に 50 g の練生地を入れた口つきビーカー (上面は三重のラップで密封) を, 庫外に 0~3000 mmH₂O タイプの微圧計 (長野計器 マノスターゲージ W 081) を置き, 出力 500 W で加熱開始後 20 秒ごとに, 各加水率練生地の Mw 処理による圧力変化を計測した。

3. 膨化による生地の伸長度, 容積ならびに破断応力測定

伸長度と試料容積の測定: 加熱後試料の縦方向の伸長高さを測定した後, 菜種法によりビーカーを満たす菜種容量と加熱後の試料を入れてビーカーを満たす菜種容量との差を測定して試料容積とした。

破断応力の測定: 加熱後の試料を 130~135°C で乾燥して水分含量をそろえた状態で, レオロメーターマックス RX-1600 (アイテクノ製) を用い, ステンレス製くさび型 (先端部 12×1 mm) プランジャー, 最大荷重 20 kg, 紙送り速度 120 cm/min, 圧縮速度 20 cm/min, 侵入度 1 cm で測定し, 曲線の高さから最大破断応力を算出した。

4. 消化速度の測定⁷⁾

全卵, 卵アルブミンとも加熱試料をドライアイスとアルコールとで急速凍結し, 80 メッシュ以下の乾燥粉体として未加熱粉体とともに分析した。この試料粉体 2 g に pH 7.6 リン酸緩衝液を加えて 0.5% 基質液として, 10 000 rpm で 1 分間ホモジナイズし均質化した基質液 20

ml 中に, 0.4% トリプシン (Sigma 社製) 2 ml, あるいは 0.2% サーマライシン (生化学工業製, from *Bacillus thermoproteolyticus*) 2 ml を加えて 37°C で 30 分間反応後, 10% トリクロロ酢酸と混合して反応を止め, 上清の 280 nm 吸光度を測定して消化速度を求めた。

5. 重水素交換速度の測定^{8) 9)}

約 100 mg の乾燥全卵および卵アルブミン粉体に重水 (D₂O, Merk 社製, 純度 99%) 2 ml を加えて, 20°C で 20, 40, 80, 160, 320 分間反応後, 経時的に乾燥剤中に取出し減圧乾燥して 2 分以内に重水を気化させ, 重水素交換した粉体 2 mg に乾燥した KBr 400 mg を混和し, 8 t の加圧下で KBr 錠剤として赤外分光光度計 IR 400 (島津製作所製) で赤外線分析を行い, [アミド II 吸収帯 (1530 cm⁻¹) の吸光度/アミド I 吸収帯 (1640 cm⁻¹) の吸光度] が重水素置換により指数関数 ae^{-bt} に従って減少するものとして速度定数 b を求めた。 a は反応時間 0 における吸光度の相対比, t は交換時間である。

6. 適定曲線の測定¹⁰⁾

卵アルブミン粉体 4 g を 0.6 M NaCl 液 20 ml 中に分散し, 0.6 M NaOH または 0.6 M HCl を 0.5 ml ずつ滴下して攪拌し, 5 分後の pH メーターによる測定値を順にプロットした。

7. タンパク質溶出量の測定

卵アルブミン粉体 2 g に 40 ml のリン酸緩衝液 (1/30 M, pH 7.6), 次いで 4.5 M 尿素, 0.02 M SDS を順に加え, 各々 40°C で 1 時間振とう膨潤させた後, 13 200 G で 10 分間遠沈し, 上清のフォリン呈色値よりタンパク質溶出量を求めた。

8. 赤外線吸収強度による脂質遊離量の測定¹¹⁾

乾燥全卵粉体を前述のように KBr 錠剤とし, 赤外線 (IR) 吸収曲線を記録して 1730 cm⁻¹ における吸収強度を比較した。この際, 乾燥全卵粉体をクロロホルム・メタノール (1:1) 中にて振とう抽出し脱脂した試料と, 抽出した脂質を溶媒とともに減圧乾燥して粉体にもどした遊離脂質試料を作成し対照とした。

結果および考察

1. 各種水分練生地の昇温速度, 水分蒸発速度および蒸気圧

乾燥全卵に加水し含水率 16~91% とした練生地 50 g をビーカー (直径 6.0 cm, 厚さ 1.8~3.1 cm) に詰め, 出力 500 W 電子レンジと 140°C 恒温器で加熱した時の各種練生地の平均温度 (表面と内部, 表面温度は Mw のみ) を図 1 に示した。図に示したように, Mw 処理では

低水分域での昇温が速く、1分加熱後に80℃以上になった。CH処理時間を約15倍長くとると内部温度はMw処理と近似したが、低水分域ではCH処理法の昇温が遅れ加熱法の差は拡大した。この詳細、理由については既報を参照されたい¹²⁾。

加熱初期において測定された全卵練生地50gの内部昇温速度を求めると、表1のように電子レンジでは36～64℃/min、恒温乾燥器では3.0～4.2℃/minとなり、練生地含水率50%以下では両加熱法の昇温速度に約20倍もの差があった。

以上の加熱試料につき、加熱後の重量を測定して水分蒸発量、水分蒸発速度を求めるとともに、同全卵練生地

50gを口つきビーカー内に入れて、出力500W電子レンジでMw処理し、20秒ごとに蒸気圧を計測した。その結果、含水率30～40%練生地では加熱時間40秒、100秒でそれぞれ1000mmH₂O以上、3000mmH₂O以上の蒸気圧、含水率16%でも80秒の加熱で約1000mmH₂Oの蒸気圧を示した(図2)。なお、含水率が高い練生地は加熱時間が長くなると蒸気圧が急上昇するが、Mw加熱初期においては含水率の低い方が明らかに蒸気圧が高く、昇温速度、水分蒸発速度の測定値(表1)と蒸気圧の測定値との間に相関性がみられた。

2. 各種含水率練生地の膨化体積とテクスチャー

MwとCH処理による全卵練生地の膨化体積と破断応力を図3に示した。低水分域ではMw処理において

Fig. 1 Temperatures of various whole egg-water mixtures during microwave or conductive heating

heating method : microwave (500 W, 1 min)
conductive (140°C, 15 min)

* 40% line is inflated point

Fig. 2 Vapor pressures of various whole egg-water mixtures on microwave heating

microwave power output setting : 500 W

*heating time/50 g samples

Table 1 Rate of temperature increase and evaporated water content of various whole egg-water mixtures during two way heating

Rate of temperature increase (°C/min)*				
Water content (%)	25	44	62	81
Microwave 500 W	64	61	53	36 (±4)
Conductive 40°C	3.0	3.4	4.2	4.0 (±0.2)
Rate of evaporated water (g/100 g sample/min)				
Microwave 500 W	7.2	12.5	10.2	7.9 (±0.3)
Conductive 140°C	0.60	0.60	0.82	1.26 (±0.02)

* temperature was measured at inner part.

Fig. 3 The inflation volumes of various whole egg-water mixtures and their rheological properties

heating method : microwave (500 W, 4 min),
conductive (140°C, 40 min)

加熱後の体積、高さが増大し、CH処理よりもはるかに膨化しやすいことがわかる。Mw処理において膨化のピークは含水率30~40%付近にみられ、CH処理では含水率60~70%にあった。なお、Mw処理試料は含水率にかかわらず膨化発泡して多孔質となる傾向があり、そのため組織が薄膜化し、もろくなって破断応力は大幅に低下した。一方、CH処理は膨化発泡が少ないかわりに内部の空洞化のみが進行し、特に低含水率の試料では表皮がMw処理に比べ厚く硬かった。

3. タンパク質成分の消化速度の比較

タンパク質の分子構造をさぐるために、古くから酵素消化法が用いられている。稠密な分子構造をもつ球状タンパク質は変性によって消化速度が速くなること、トリプシンはアルギニンやリジン残基の多い分子表面におもに作用し、サーモライシンは疎水基の多い分子内部に作用することが知られているので¹³⁾、作用部位の異なる2種の酵素を作用させることにより、unfoldな部位を推定しようとするものである。

含水率の異なる全卵および卵アルブミン練生地をMw4分およびCH40分処理し、凝固状態の異なるさまざまな加熱凝集体を凍結乾燥粉体として、2種のタンパ

Fig. 4 Enzymatic digestibility of egg albumin and whole egg samples after heating

samples : egg albumin and whole egg with various amounts of water

heating method : microwave (500 W, 4 min),
conductive (140°C, 40 min)

digestive method : for 30 min incubation with trypsin or thermolysin

ク分解酵素を作用させた。結果を図4に示す。

図から明らかなように、全卵、卵アルブミンとも練生地の含水率に関係なくMw処理の方が消化後の上清タンパク質量が多く、酵素が作用しやすい結果を示し、CH処理は大部分の含水率において明らかに消化が遅れた。

特にトリプシン消化の場合、広い含水率においてMw処理で消化速度差が大となり、膨化発泡によって酵素と基質とが接触しやすくなることに起因すると考えられる結果が示された。

未加熱試料(Rと略記)について同様のトリプシン消化を行い、Mw処理粉体のR粉体に対する消化速度比率(Rを100とした相対値)を比較すると、卵アルブミンの場合、含水率25%で158、44%で130となり、膨化する低水分域でトリプシン消化速度が未加熱時の1.5倍も向上し消化しやすくなる結果を示した(図4参照)

Mw処理の膨化発泡試料においてトリプシン消化速度が向上した理由としては、未加熱時に球状構造をしているタンパク質の場合、膨化して表面積が大きくなった方がより有利に酵素が作用できるためと推察される。

しかし、卵アルブミンのサーモライシンによる消化速

度は逆に含水量の多い方が消化しやすく、加熱による試料差を上まわる結果が得られているところから、マイクロ波加熱によってタンパク質が消化しやすくなるものの酵素特異性が大きく、タンパク質希薄溶液中の変性とはかなり異なると推察される。

4. タンパク質成分の重水素交換速度の比較

タンパク質を含む固体を重水素 (D) 中に入れて分子内で交換可能な水素 (例えばペプチド結合中の NH で H が D に置換されるアミド II の H) を D と置換させ、H-D 交換速度を調べる方法が、複雑なタンパク質の高次構造を知る手がかりになるとして注目されており、例えば分子内で水素結合すると交換速度が非常に遅くなることが知られている⁸⁾⁹⁾。そこで各種試料を H-D 交換し、D と交換可能なアミド II 吸収帯と交換がほとんど起きないアミド I 吸収帯との吸光度の比を求め、次いで Amide II/Amide I の対数値を縦軸に、時間 (min) を横軸に

Fig. 5 Time courses of hydrogen-deuterium exchange of whole egg samples by using IR-spectra (A) and Semilogarithmic Plot of the Same Data (B)

samples: whole egg-44% water mixtures heated at various stage

1, 2: microwave 500 W, 4 min, conductive 140°C, 40 min

3, 4: MW, CH heating at earlier stage (final temp. 80~85°C)

0: non heated

片対数プロットして、交換速度を比較した。

図5にみられるように、Mw 4分、40分処理試料では経時変化がきわめて少なく、試料間の差がみられなかったが、凝固直後の Mw 処理試料 (終温 80~85°C, 約1分加熱) と凝固直後の CH 処理試料 (同終温, 約10分加熱) はやや右下りの直線となり、わずかであるが勾配に加熱法の差がみられた。

図6は、交換が指数関数 ae^{-bt} に従って減少するとし、卵アルブミン試料の速度定数 b を求めたものである⁸⁾⁹⁾。全卵同様に、交換速度はかなり遅くなる傾向があったが、凝固直後 (終温 80~85°C), おける交換速度定数 b (min^{-1}) は Mw で $1.3 \times 10^{-3} \sim 2.7 \times 10^{-3}$, CH で $0.8 \times 10^{-3} \sim 2.5 \times 10^{-3}$ となり、わずかではあるが加熱法の差が得られた。ちなみに未加熱アルブミンの b (min^{-1}) は 2.4×10^{-3} であり、加熱試料との差が少なかったが、この件に関して、タンパク質の凝固以前に重水素交換が速くなる変性段階があるとの報告もある¹⁴⁾。

卵液を加熱すると、CH 処理では粘度が上昇した後に凝固するが、Mw 処理では加熱時間が短いため液状から急に凝固するように見える。凝固前後のこうした状況が Mw 処理において速い交換速度が得られた誘因となる可能性がある。

重水素交換速度は、タンパク分子の構造的な硬さ・柔

Fig. 6 Velocities of hydrogen-deuterium exchange of egg albumin samples

samples: various egg albumin-water mixtures heated at various stage

1, 2: microwave 500 W, 4 min, conductive 140°C, 40 min

3, 4: MW, CH heating at earlier stage (final temp. 80~85°C)

0: non heated

らかさ、主鎖構造のFlexible性、分子がゆらぎうる構造にあるかの判定に用いられると考えられており⁸⁾⁹⁾¹⁴⁾、蒸気圧が1 000~3 000 mmH₂Oへと急上昇する膨化直前にマイクロ波加熱試料の分子構造がまだ分子間結合の少ない柔軟性に富んだ状態(flexible状態)にあることが、次におきる膨化現象を補佐し、分子レベルから自由に変形して、多孔質の膨化発泡体を形成する重要な要因になるように思われる。

5. タンパク質側鎖の滴定曲線の比較

Mw処理によって膨化発泡した卵アルブミン試料(含水率44%)、CHおよび未加熱試料について滴定曲線を求めた。その結果、図7のようにpH3以下およびpH11以上において、pH変化が緩慢になる緩衝作用が認められ、 $R < Mw < CH$ の順にpH変動が大きくなる傾向がわずかながらみられた。

加熱処理により滴定される解離基が減少する傾向があるものの、マイクロ波加熱の方が解離基が残存している割合がわずかに大きいと推察される結果であり、前述の試験とも適合する内容と推察される。

6. タンパク質溶出量の比較

緩衝液、尿素、SDSなど溶出作用の強い溶媒を用いて卵アルブミン溶出率を比較し、図8に示した。

図にみられるように、低水分域の方が溶出率が低下する傾向があり、また低水分域において、Mw処理の方がCH処理より初期溶出率が少ない傾向がみられた。

Fig. 7 Titration curves of egg albumin samples

samples: egg albumin-44% water mixtures treated by two way heating

Fig. 8 Protein extractabilities of various egg albumin-water mixtures treated by two way heating

Mw処理では限られた水分域の加熱で生地連続性が増す傾向があり¹⁵⁾、一方CH試料では生地組織がもろくはがれ落ちやすい傾向があるので、溶出率の違いが出たと思われる。この点に関しては、水の状態変化を中心に引き続き検討している。

7. 赤外線吸収強度による脂質遊離度の比較

全卵練生地を熱処理すると、CH試料は練生地の含水率に関係なく黄色味が濃く、日本色研色名帖による修正マンセル記号により供試粉体を比較すると、色調はR: 2.5 Y 9/2, Mw: 2.5 Y 9/5, CH: 2.5 Y 8.5/9、遊離脂質試料(いったん脱脂した脂質を溶媒とともに乾燥して粉体にもどす処理を行なったもの、以下遊離脂質試料とする): 5.5 Y 8.5/9となり、また遊離脂質によると思われる光沢がみられた。そこで脂質の存在状態にも差があると考えて調べた。脂質遊離度の判定には非極性溶媒抽出法、転移熱測定法、ESR法などがあるが、赤外線吸収スペクトル法(IR法)も相対的な傾向を知ることができ、IR法を食品定量に用いて高い信頼度を得たとの報告もあるので¹⁶⁾この方法を採用した。

図9は、含水率44%乾燥全卵練生地を熱処理し脂質遊離度を比較したもので、脱脂処理と脂質遊離処理粉体を対照としてIR測定した結果である。図中、3 250, 1 640, 1 530 cm^{-1} はタンパク質による吸収、2 920, 1 730, 1 460 cm^{-1} は脂質による吸収で、脱脂すると前記

Fig. 9 Fat released from whole egg on different heatings

0 : defatted, 1 : non heated, 2 : microwave, 3 : conductive,

4 : fat-released (defatted+extracted fat)

* IR-spectra and its ratio determined with 44% water mixture

の3ピークが消失し、いったん脱脂した脂質を粉体にもどした遊離脂質試料では脂質ピークは大きくなった。

脂質の代表的な吸収帯がリン脂質、糖脂質、リポタンパク質においてきわめて弱くしか発現しないことが報告されており¹⁷⁾、 $1730\text{ cm}^{-1}/1640\text{ cm}^{-1}$ の吸光強度を比較すると、本実験でも未加熱試料(R)では遊離脂質試料の1/4以下であった。ちなみに、未加熱卵粉体の脂質遊離度($1730\text{ cm}^{-1}/1640\text{ cm}^{-1}$)は0.50、遊離脂質試料のそれは2.02、Mw 4分では0.68~0.74、CH (140℃) 40分では0.76~1.07であった。

熱処理によって 1730 cm^{-1} の脂質吸収強度が増大するものの、Mw処理では各含水率とも脂質遊離度が少なく、CH処理でのみ低水分域を中心に脂質の遊離が進む結果が得られたことになる。

試料表面が明らかに高温になり、乾燥が進むCH処理の方が脂質の加熱変化が進行しやすいと推察され、例えば含水率30%以下、加熱温度110℃以上で急激に脂質の遊離が進行するという報告や¹⁸⁾、表面温度が低いマイクロ波加熱の方が脂質の安定性が高いとの報告は多い^{19) 20)}。

脂質遊離度の違いは、色つや、風味に關与する度合いが大きいことに留意すべきであろう。

総合的考察

1. マイクロ波加熱による膨化現象の発現要因

含水率の異なる全卵練生地と卵アルブミン練生地を用

いて実験した結果、低含水率練生地をマイクロ波加熱すると膨化現象が起きやすい要因がいくつか把握できた。本実験の範囲内で発現要因を推察し列記すると、次のようになる。

(1) マイクロ波加熱では低含水域で昇温しやすく、生地内部のスピード加熱効果が発揮されやすい。

(2) 急速な昇温によって水分蒸発速度・蒸気圧が急上昇し、生地内部における蒸気圧がそのまま膨圧となる。

(3) マイクロ波加熱初期において重水素交換速度が速く、内部温度が上がる前に表面が凝固しはじめる熱伝導加熱の場合に比べて、練生地内部に未会合のタンパク構造が残っている。この状況時にタイミングよく蒸気圧が上昇すれば膨圧の方向に変化しやすいなど、膨化適合条件がそろっている。

2. マイクロ波加熱による膨化試料の特徴

膨化試料は次の特徴を備えていることがわかった。

(1) 膨化率が高く、発泡して多孔質な内部構造をもち、きわめて破断しやすい。

(2) 消化速度が速く、特にトリブシンで消化されやすい。重水素交換速度、滴定曲線の結果からも、膨化試料はマクロな生地レベルのみならず、ミクロな分子レベルにおいても、薄く引き伸ばされ露出基の多い構造になっていると推察される。

(3) 全卵膨化試料は、脂質の遊離度が少なく、風味、色、つやが熱伝導加熱に比べて劣るようにみえる。

従来より、マイクロ波加熱を行なうと化学反応や殺菌

作用が通常加熱より促進されるという報告があり、論議的になっている^{21) 22)}。本報では急速短時間のマイクロ波加熱法と約10倍長い熱伝導加熱法(140℃)を対比しているが、膨化試料は外見上きわめて激しい加熱変化が進行しているだけに、タンパク質や脂質成分の加熱変化が少ない(例えばタンパク質では分子会合が進んでいない)結果は、むしろ予想外であったともいえる。

マイクロ波加熱法において従来の加熱法と明らかに異なる非伝熱加熱的な物性変化が起きる場合、時に化学変化をも促進していると誤解する危険がある以上、膨化製品を安心して利用するためにもこうした成分分析が必要と言える。

低水分領域において物性変化を考えるためには、水和層を含めた水の状態変化を考慮する必要があると思われるので、続けて検討している。

要 因

乾燥全卵、卵アルブミンを種々の含水率の練生地として、マイクロ波加熱処理と熱伝導加熱処理を行なったところ、次の結果が得られた。

- (1) マイクロ波加熱では低水分領域の方が昇温が速く、水蒸気圧が上昇しやすい。
- (2) マイクロ波加熱では含水率30~40%で最大の膨化率となり、もろく破断しやすい多孔質組織となる。
- (3) マイクロ波加熱による膨化試料はトリブシンでかなり消化されやすい。
- (4) マイクロ波加熱初期の練生地は重水素交換速度が速い。
- (5) タンパク質の抽出速度はむしろマイクロ波加熱試料の方がやや遅い。
- (6) マイクロ波加熱試料は水分含量に関わらず脂質の遊離度が少ない。

本研究は、中部電力基礎技術研究所の助成により行なったものである。なお、本研究の一部は青山学院女子短期大学島崎通夫氏の協力により行なったもので、合せて感謝したい。

文 献

- 1) 露木英男・首藤 厚：食品のマイクロ波加熱(建

- 帛社、東京)、(1974)。
- 2) 荒木英之：マイクロ波加熱技術集成、越島哲夫編、(NTS、東京) p.317 (1994)。
- 3) 羽田英夫：ジャパンプードサイエンス、30 (3), 55, (1991)。
- 4) 露木英男：栄養学雑誌、46 (6), 249 (1988)。
- 5) 埴谷博一・宮崎芳郎：大分県農水産物加工総合指導センター報告、1994, p.1 (1995)。
- 6) 肥後温子・島崎通夫・野口 駿：家政誌、36, 596 (1985)。
- 7) 小崎道雄：酵素利用ハンドブック(地人書館、東京) p.121 (1986)。
- 8) NAKANISHI, M., TSUBOI, M., IKEGAMI, A.: *J. Mol. Biol.*, 75, 673 (1973)。
- 9) 坪井正道・中西 守：生化学実験講座1, タンパク質の化学Ⅲ, 日本生化学会編、(東京化学同人、東京) p.343 (1976)。
- 10) 林 勝哉：タンパク質の電気的性質(学会出版センター、東京)、p.49 (1971)。
- 11) 千原呉郎：脂質1、(共立出版、東京) p.596 (1970)。
- 12) 肥後温子・島崎通夫：家政誌、41, 585, 41, 733 (1990)。
- 13) 大井龍夫：生命の科学3, タンパク質と酵素(培風館、東京)、p.156 (1980)。
- 14) PRIVALOV, P.L. and KHECHINASHVILI, N.N.: *Bipolymer*, 10, 1865 (1971)。
- 15) 肥後温子：*New Food Industry*, 27 (7), 42 (1995)。
- 16) BJARNQ, O.C.: *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 65, 696 (1982)。
- 17) 野島庄七・永井克孝：脂質、(朝倉書店、東京) (1969)。
- 18) GRAHAM, E. and KAMAT, V.B.: *J. Sci. Fd. Agric.*, 28, 34 (1977)。
- 19) RUIZ, M.D., ARTACHO, R. and PINEDA, M.A.: *Lebensm. Wiss. Technol.*, 28(6), 644 (1995)。
- 20) HEARN, T.L., SGOUTAS, S.A., SGOUTAS, D.S., HEARN, J.A.: *J. Food Sci.*, 52 (5), 1430 (1987)。
- 21) 柴田長吉郎：マイクロ波加熱技術集成、越島哲夫編、(NTS、東京) p.733 (1994)。
- 22) 肥後温子：電子レンジ・マイクロ波食品利用ハンドブック(日本工業新聞社、東京) 21, 182 (1987)。

(平成9年1月27日受付、平成9年6月27日受理)