

豚肉の凍結：塩可溶性窒素の抽出性並びに 保水性に対するマイクロ波解凍の影響

永山精美・杉沢康男・大高文男・矢野幸男*・高坂和久*

Freezing of Pork : Influence of Microwave Defrosting on Extractability of Salt-Soluble Nitrogen and Water Holding Capacity

KIYOMI NAGAYAMA, YASUO SUGISAWA, FUMIO OHTAKA

SACHIO YANO* and KAZUHISA KOHSAKA*

凍結肉の解凍には、流水中または低温空气中で解凍する、いわゆる外部加熱法が一般に実用されている。近年、300 MHz～30 GHzの周波数を利用したマイクロ波誘電体内部加熱法が注目されている。この方法は、外部加熱法に比べて解凍時間の大幅な短縮が可能であり、しかも品質に与える影響が少ないという^{1,2)}。このように凍結肉を短時間で均一に解凍し、しかも肉質を損ねることがなければ、実用上好ましいことである。

先に、著者の一人である矢野は、他の共同研究者とともに、凍結ボンレスマトンを材料として、915 MHzのマイクロ波急速解凍装置を用いた時の解凍条件を種々検討し、さらにその際の肉質の変化についても報告した³⁾。

著者らは、矢野らが用いた装置を使用して、凍結豚肉の蛋白質抽出性および保水性に対する915 MHzマイクロ波解凍の影響について、低温空气中で自然に解凍したもののそれと比較しながら検討したのでその結果を報告する。

実験材料および方法

1. 材 料

と殺時の体重がほぼ一定(90 kg)なランドレース×ハンプシャー種のF₁の去勢した豚8頭から左右のロース肉をとり、-33℃で48時間凍結し、-18℃で1ヶ月間貯蔵した。解凍に際しては、凍結ロース肉を3分割し、カット部分および左右ともに平均するように各試験区に配分し、実験に供した。試料肉は1解凍区について8頭、計16点が供試された。

2. 解凍法

a. マイクロ波解凍区：伊藤ハム東京工場に設置された試験用の急速電子解凍装置(915 MHz,三洋EM25000D型)を用い、先に矢野らが報告した解凍条件³⁾に準拠して凍結豚肉を解凍した。すなわち、カートン詰めした凍結豚ロース肉を-10℃の照射室の試料台に取付け、915 MHz、マイクロ波出力10 kwの条件で、1分間照射して3分間休止することを5回繰返す間欠照射によって-2℃まで解凍した。この時の入力波の強さは3.75 mA、反射波は0.25 mAであった。吸収エネルギーは3.5 mAとし、また解凍体の全重量は120 kgとなるように水で補正した。

b. 空気解凍区：カートンで保護した凍結ロース肉を0±2℃の商業用冷蔵庫に7日間放置することにより空气中で自然に解凍した。

3. 塩可溶性窒素区分の分別定量

前記の解凍肉を一夜冷蔵庫内(2℃)に放置した後、目にみえる脂肪層および結合組織、並びに外周の肉を約1 cmの厚さに除去した後、ブレンダーで細砕して分析用の試料肉を調製した。塩可溶性窒素の抽出法は、WARD-LAW F. B.らの方法⁴⁾を参照して以下のように実施した。

(1) 塩可溶性全窒素(TENと略)の抽出

試料肉に対して5倍量のNa-phosphate - KCl Buffer (20 mM KH₂PO₄, 30 mM Na₂HPO₄, 0.9 M KCl, μ = 1.0, pH 7.0)を加え、2℃で1時間攪拌抽出した後、冷却遠心分離(20,000 G, 0℃, 30分)して上澄区分を得た。残渣はさらに2回抽出操作を同様に繰返し、これらの上澄液を合わせてTEN区分とした。なお、この方法によってさらに2回、計5回

* 日本食肉加工協会(東京都渋谷区恵比寿)
Japan Meat Processors' Association (Ebisu, Shibuya-ku, Tokyo)

抽出操作を繰返した場合の T E N の抽出量を 100 とすると、3 回の抽出操作では約 96 % が抽出されることをあらかじめ確認した。

(2) 筋原せんい、筋漿および非蛋白態窒素区分の分別
前記 T E N 区分のイオン強度を 0.04 として沈でん物を除き、上澄液の窒素を定量 (S_N) し、これを T E N から控除して筋原せんい蛋白態窒素とした。非蛋白態窒素区分は、T E N 区分に同量の 20 % T C A を加えて 30 分後に滷液の窒素を測定した ($N P N$)。筋漿蛋白態窒素区分は、前記の S_N から $N P N$ を控除して算出した。これら各区分の窒素の定量には、ケルダール法を用いた。

4. アクトミオシンのポリアクリルアミドゲルディスク電気泳動

前記 T E N 区分のイオン強度を 0.25 としてアクトミオシンを調製 (3 回繰返して精製) し、8 M 尿素を含む 7.5 % ポリアクリルアミドゲルを支持体とする前報の方法⁵⁾で泳動した。

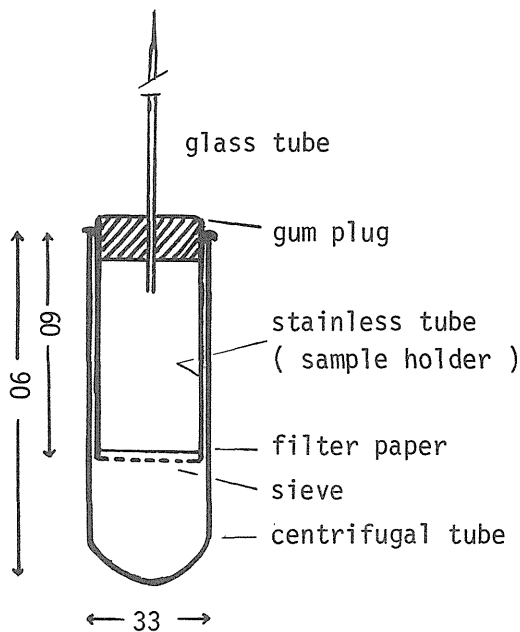


Fig. 1 WHC Determining Apparatus.

5. 保水性の測定

当研究室で考案し、再現性、精度などをあらかじめ検討した、第 1 図に示すような装置を用いた。⁶⁾ これは遠心沈でん管に装着できるようにしたステンレス製の円筒で、底面に多数の細孔を有するものである。これに滷紙

(東洋 No 2) を敷き、試料 25 g を採取し、70℃で 60 分間加熱後流水中で冷却し、さらに 3000 rpm で 15 分間遠心分離することによって遊離した水の重量を測定し、保水性を肉中の全水分量に対する残存水分量の割合として示した。また、肉重量に対して 3 % 量の食塩を均一に添加、混合し、4℃で 18 時間熟成した後の保水性についても前記の方法により測定した。

実験結果および考察

I マイクロ波解凍と豚ロース肉のサンプリング場所との関係

マイクロ波エネルギーによる凍結肉の解凍法は、解凍時間が短かいうえに、表層部と内部との昇温ずれも少なく、他の外部加熱解凍法ではみられない特徴を持つといわれている。^{1,2)}しかし解凍の条件によっては、解凍体に突起部分や角があったりすると、その部分に過熱が生じ、解凍が不均一となり、品質も低下する^{1,2,7)}。今回の解凍条件は、先に矢野らがボンレスマトンを用いて検討した時の最適条件³⁾によったものである。しかし、本実験で用いたような豚ロース肉の場合は、片側が厚い背脂肪でおおわれているためにマイクロ波エネルギーの受け方が異なるのではないかと考えられた。よって、ロース肉のサンプリング場所によってマイクロ波解凍の影響が異なるかどうかを調べる必要がある。

豚 A、および B、2 頭の左右のロース肉を 2 解凍区にふりわけ、それぞれの方法で解凍した後、背脂肪側 (back-fat side meat) とその反対側 (inside meat) とに 2 分し、それらの水分、pH、および蛋白質の抽出性を測定した。その結果は第 1 表に示す通りであった。

マイクロ波解凍したものの背脂肪側の赤肉部分と反対側の赤肉部分とでは、A、B いずれの豚ロース肉の場合も、その pH 値、水分含量、および T E N の抽出性に差異がなかった。また肉眼的にみても、前述したようなマイクロ波解凍による肉色の変化や過熱によるランナウエー現象は認められなかった。そして、マイクロ波で解凍したものは、解凍状態、肉色、ドリップの流出状態およびテクスチャーなどの点で、空気解凍したものとは比べ肉眼的に何ら変りがなかった。なお、空気解凍した場合も、サンプリングの場所による T E N の抽出性、その他の差異は、A および B の豚いずれにおいてもマイクロ波解凍の場合と同様に認められなかった。

このことから、たとえ片側が厚い背脂肪でおおわれて

Table 1 A comparison of moisture content, pH, and extractability of salt-soluble nitrogen between the back-fat side and the opposite side (inside) from LD muscle.

Sampling portion		Microwave defrosting		Air defrosting	
		Back - fat side	Inside	Back - fat side	Inside
Moisture (%)	A *	74.6	74.0	72.9	72.8
	B *	71.9	71.6	71.5	71.6
pH	A	6.25	6.18	6.20	6.16
	B	5.66	5.66	5.65	5.63
Total nitrogen (mg/g)	A	36.63	36.57	36.19	35.09
	B	35.48	36.28	36.38	35.72
TEN ** (mg/g)	A	20.36	21.26	20.52	19.74
	B	16.74	16.92	17.98	16.70
Extractability *** (%)	A	57.1	58.1	56.7	56.3
	B	47.2	46.6	49.2	46.8

* A and B : Pork

** Total salt-soluble nitrogen

*** $TEN / Total\ nitrogen \times 100$

いるような豚ロース肉の場合であっても、本実験で採用した915MHzのマイクロ波による解凍条件は、TENの抽出性および肉眼的な外観からみても、肉のサンプリングの場所によってマイクロ波解凍の影響が異なるということではなく、不均一解凍が生じたとは考えられなかった。したがって、以後の実験では、試料肉を背脂肪側とか内側とかに分けて分析することなく、実験の方法で述べたようにロース肉の中心部一箇所から採取して分析に供した。

II. マイクロ波解凍と空気解凍との比較

1. 水分およびpH

915MHzのマイクロ波で、または0℃、7日間空气中で解凍した豚ロース肉のpHおよび水分含量は第2表に示す通りであった。供試した豚ロース肉のNo1,2,3, および4はと殺後2日目、また5,6,7, および8はと殺後4日目に凍結貯蔵されたものである。

本実験と同じ条件でマイクロ波解凍したボンレスマトンの場合、そのpH値は空気解凍したものよりも有意に高かったという。³⁾ 本実験で用いた豚ロース肉の場合、解凍後のpH値は5.61~6.20の間に分布していて、個体による差異はかなりあるようであったが、両解凍区間に有意の差を認めることはできなかった。水分値は、両解凍区共に73%前後の値であって、マイクロ波解凍したものが空気解凍したものに比べてわずかに高い値を示すものもあったが、全体的にみると両解凍区ともほぼ同じ程度であって、統計的には有意差を認めることはできなかった。したがって、915MHzのマイクロ波による解凍間の水分損失は、少なくとも空気解凍の場合と同じ程度であったといえよう。

2. 塩可溶性窒素区分の抽出性

二つの方法で解凍した豚ロース肉の塩可溶性全窒素(TEN)量並びに全窒素に対する百分率(抽出性)を第3表に示した。

Table 2 pH value and moisture content of defrosted pork.

	Pork No	1	2	3	4	5	6	7	8
Microwave defrosting	pH	6.20	5.66	5.61	5.60	5.71	5.78	5.82	5.95
	Moisture (%)	74.3	71.8	73.0	73.4	73.2	74.1	72.9	74.0
Air defrosting	pH	6.18	5.66	5.61	5.60	5.71	5.78	5.82	5.92
	Moisture (%)	72.9	72.3	74.4	74.2	73.4	73.7	72.9	73.5

供試した豚ロース肉の全窒素量は、両解凍区いずれのものでも組織 1 g 当り 36 mg 前後の値であって、豚ロース肉の個体間で大差なかった。一方、 $\mu = 1.0$ の Naphosphate KCl Buffer で抽出された T E N 量は、マイクロ波で解凍したものでは組織 1 g 当り 11 ~ 21 mg の範囲、また空気解凍したものでは 17 ~ 23 mg の範囲であった。これらの抽出性を比較してみると、マイクロ波解凍したものは、空気解凍したものに比べ、やや低い傾向（平均値で 2.5 %）が認められた。しかし統計的には両解凍区間に有意差を認めることができず、むしろ供試したロース肉間での差の方が大であった（ $P > 0.05$ ）。

つぎに T E N 中の各構成成分、すなわち筋原せんい、筋漿、および非蛋白態窒素区分に分別し、それらの抽出性に対するマイクロ波解凍の影響を調べたところ、第 4 表に示す結果を得た。

T E N 中の各構成成分は、空気解凍区とマイクロ波解凍区のものとはやや異なり、また個体による差異も認

められた。筋原せんい蛋白態窒素の塩可溶性全窒素に対する割合は、マイクロ波解凍したものの方が、空気解凍したものよりも一般に低い傾向が認められ、多いものでは、その差が約 14 % に達するものもあった。一方、筋漿蛋白態窒素区分についてみると、マイクロ波解凍したものは、やや高い傾向にあった。非蛋白態窒素区分の割合は、いずれも 20 % 前後の値を示していて、マイクロ波解凍したものに 2、3 高いものもあったが、両解凍区間に差は認められなかった。

これらのことから、凍結豚ロース肉を 915 MHz のマイクロ波によって解凍した場合、塩可溶性全蛋白質の抽出性が、0℃、7日間の空気解凍したものそれとほぼ同程度であっても、その構成成分、特に筋原せんい蛋白質の抽出性には影響があるものと考えられた。

3. アクトミオシンの電気泳動像

マイクロ波解凍したロース肉の筋原せんい蛋白質区分の抽出性が空気解凍したものとは比べて有意に低いことが

Table 3 Extractability of salt - soluble nitrogen.

		Microwave defrosting			Air defrosting		
		Total -N (mg-N/g)	TEN* (mg-N/g)	TEN/TN** (%)	Total -N (mg-N/g)	TEN (mg-N/g)	TEN/TN (%)
Pork No	1	36.10	20.81	57.6	35.64	20.13	56.5
	2	36.88	16.52	44.9	35.55	17.34	48.1
	3	35.42	20.05	56.6	36.33	20.43	56.2
	4	36.02	20.00	55.5	35.57	18.80	52.9
	5	36.28	20.29	55.9	37.06	22.73	61.3
	6	34.55	20.90	60.5	35.20	22.90	65.1
	7	35.41	18.00	50.8	35.90	22.53	62.8
	8	34.80	17.22	50.3	36.87	18.07	49.0
	\bar{m}	36.69	19.26	54.0	36.02	20.37	56.5

* Total salt-soluble

** Extractability

Table 4 Distribution of nitrogen in salt - soluble fraction (%)

Defrosting method		Myofibrillar protein fraction		Sarcoplasmic protein fraction		Non protein nitrogen fraction	
		Microwave	Air	Microwave	Air	Microwave	Air
Pork No.	1	47.0	45.4	32.8	33.4	20.3	21.2
	2	34.3	39.4	42.6	36.2	22.0	23.4
	3	55.0	54.6	24.6	24.4	20.5	20.6
	4	49.7	52.0	31.2	28.9	19.2	19.2
	5	41.2	45.8	38.2	36.9	20.8	17.4
	6	36.6	41.3	43.8	38.5	20.2	18.3
	7	30.0	44.4	59.1	38.3	22.7	18.4
	8	36.3	40.0	41.8	41.6	21.9	20.6
	\bar{m}	41.3	45.6	39.2	34.8	20.9	19.8

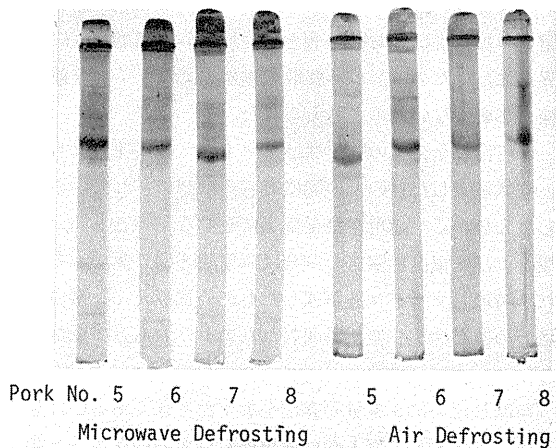


Fig. 2 Disc electrophoretic patterns of actomyosin fraction. Polyacrylamide gel disc electrophoresis was performed on 7.5% acrylamide gel with tris-glycine buffer (pH 8.6) containing 8 M urea. A current of 3 mA per tube was applied at 4°C. The gels were stained with amino-black 10 B.

認められた。そこで、この区分の約60%を占めるアクトミオシンを沈でん精製し、これについてポリアクリルアミドゲルディスク電気泳動分析を行ない、アクトミオシン構成成分に対するマイクロ波解凍の影響を調べた。その結果を第2図に示した。

マイクロ波解凍したもののアクトミオシンのパターンは、アクチンに相当する領域のバンド⁵⁾が空気解凍したものとは比べて不明瞭であった。しかし、マイクロ波解凍によって特に新しいバンドの出現、またはバンドの消失は観察されず、この区分に対するマイクロ波解凍の影響

は明瞭でなかった。しかしながら、これらをデンストメーターにかけて分析したところ、構成成分全体に対するミオシンに相当するバンド⁵⁾の割合が、空気解凍したもののそれよりも約10%程度少なく、また原点(濃縮ゲル内)から移動しない成分も認められたので、915 MHzのマイクロ波解凍によって、この区分に何らかの変化が生じていることが推察された。

4. 保水性

マイクロ波および空気解凍したロース肉の保水性について測定した結果を第5表に示した。

マイクロ波で解凍したものの保水性は、供試肉間でかなりの違いが認められたが($p > 0.01$)、これは、空気解凍した場合でも同じ傾向であって、個体の差に基づくものと考えられた。全体的にみた場合、マイクロ波解凍したものの保水性は、空気解凍したもののそれに比べて、2、3低いものもあったが、統計的には有意の差を認めることができなかった。

つぎに、肉重量に対して3%量の食塩を添加し、18時間熟成したときの保水性をみると、その結果は第5表に示したように、両解凍区いずれの場合も、加塩しないものに比べて約30%高い値を示した。しかし、食塩を加えないときの保水性と同様、両解凍区間に有意の差は認められなかった。

肉の保水性は、筋肉を構成する蛋白質の溶解性ときわめて密接な関係にあるといわれている^{8,9)}。つぎに T E N量と保水性の関係を第3図に示した。これによると、空気解凍した豚ロース肉では、T E N量と保水性との間に高い相関($r = 0.880$)が認められたが、一方マイク

Table 5 Water holding capacity of defrosted pork (%)

Defrosting method	Without NaCl		With 3% NaCl		
	Microwave	Air	Microwave	Air	
Pork No.	1	62.8	64.4	92.9	97.4
	2	55.6	56.6	83.3	88.9
	3	59.4	58.8	92.3	92.7
	4	56.7	58.8	91.7	89.8
	5	64.8	63.5	92.6	91.7
	6	67.4	65.4	92.8	92.2
	7	63.5	65.6	93.4	97.2
	8	52.5	56.8	91.4	86.0
	m	60.3	61.3	90.1	92.0

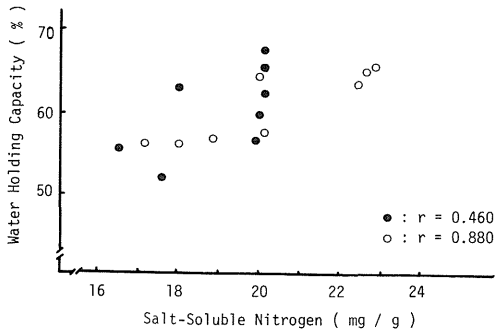


Fig. 3 Relationship between Water Holding Capacity and Salt-Soluble Nitrogen.
 ●: Microwave defrosted pork
 ○: Air defrosted pork

ロ波解凍したものでは、両者の相関が空気解凍したものよりもかなり低い値 ($r = 0.460$) であった。このことは、第4表に示したように、TEN区分のうちでも特に保水性や結着性と関連していると考えられているミオシンAやB^{9,10} 区分を含む筋原せんい蛋白質区分の構成割合が、空気解凍したものに比べて、マイクロ波解凍したものではかなり低かったことと関連しているのであろう。また、アクトミオシン区分の電気泳動像の変化からも推察されることであるが、915 MHzのマイクロ波の照射によって、凍結豚肉の塩可溶性蛋白質、特に筋原せんい蛋白質の性質に何らかの影響があったものと考えられるので、この点さらに検討を必要としよう。しかし今回の実験、すなわちTENの抽出性並びに保水性の点からみた場合、915 MHzのマイクロ波による解凍法で得た肉は、0℃、7日間の空気解凍法によったものとほとんど変りなく、また肉眼的にみた場合でも差異がなかった。以上のことから、915 MHzのマイクロ波を用いた解凍法は、凍結豚肉の解凍法の一つとして評価できよう。

要 約

凍結豚肉の塩可溶性窒素の抽出性並びに保水性に対するマイクロ波(915 MHz)解凍の影響について、0℃、7日間空気解凍したもののそれと比較しながら実験した。解凍したロース肉のpH、水分含量および塩可溶性全

窒素の抽出性は、背脂肪側とその反対側の赤肉とでは差異がなかったので、試料採取の場所によるマイクロ波解凍の影響はないものと考えられた。

塩可溶性全窒素の抽出性は、マイクロ波解凍したものと空気解凍したものと間に有意差は認められなかった。しかしながら、塩可溶性全窒素に対する筋原せんい、筋漿および非蛋白態窒素の割合は両解凍区間で異なっていた。特に、マイクロ波解凍したものの筋原せんい蛋白質区分の抽出性が、空気解凍したものよりも有意に低かった。

解凍した肉に3%量の食塩を加えたとき、あるいは加えない場合でも、マイクロ波解凍したものの保水性と空気解凍したもののそれとの間に有意差は認められなかった。

本研究を進めるに当り御協力並びに御助言いただいた日本食肉加工協会、電子解凍研究委員会および玉手六朗博士に対して感謝します。なお本報告の一部は、第63回日本畜産学会(1974年、日本大学)において講演した。

文 献

1. 露木英男・首藤 厚: 食品のマイクロ波加熱, p.19 (1974) 建帛社
2. 高島昌治: 食品工業, 15, (22), 20 (1972)
3. 電子解凍研究委員会: 冷凍食肉の急速電子解凍装置に関する研究報告 (1971)
4. Wardlaw F. B., L.H. McCaskill, and J. C. Acton: J. Food Sci., 38, 421 (1973)
5. 大高文男・永山精美・雨谷 厚: 茨大農学術報告, 21, 21 (1973)
6. 玉手六朗・大高文男: 農化関東支部会講演要旨, p 2. (1963)
7. 齊藤不二男: 日本食肉加工情報, 232, 5 (1969)
8. Hamm R., : Advances in Food Research, 10, 357 (1960)
9. 大高文男: 食肉肉製品ハンドブック (橋本, 木塚, 安藤, 藤巻編) p 293 (1963) 朝倉書店
10. Fukazawa T., Y. Hashimoto, and T. Yasui: J. Food Sci., 26, 541 (1961)

Summary

Effects of microwave (915 MHz) defrosting method on extractability of salt-soluble nitrogen and water holding capacity of frozen pork loin were investigated, comparing with air-defrosting (at 0°C for 7 days) method.

Differences in pH, moisture content, and extractability of total salt-soluble nitrogen were not observed between the back-fat side and the opposite side (inside) specimen from pork loin defrosted by microwave or air-defrosting method.

No significant differences were found in extractability of total salt-soluble nitrogen of defrosted pork between microwave and air defrosting. However, some differences were found in the proportions of myofibrillar, sarcoplasmic, and non protein nitrogen to total salt-soluble nitrogen between microwave-and air-defrosted pork. The microwave defrosted pork showed significantly less extractability of myofibrillar protein nitrogen than air-defrosted pork.

There were no significant differences in water holding capacity (with or without addition of NaCl) of defrosted pork between microwave and air defrosting.