

58

助成番号 0058

電子レンジ加熱における食品の吸収エネルギーに及ぼす食塩の影響

助成研究者：中村 恵子 (福島大学 教育学部)

食塩は調味や加工上の必要性から食品に添加される成分であるが、電子レンジで食塩添加食品を加熱した場合、極端な加熱ムラを生じるという特徴的な温度変化を呈することが経験的に知られている。そこで、本研究では、電子レンジ加熱における食塩添加の影響を明らかにすることを目的とした。

液体モデル試料として蒸留水、及び塩化ナトリウム溶液 (1 ~ 20%)、固体モデル試料として塩化ナトリウム 0 または 1% 添加コーンスターチゲルを用いた。加熱には電子コンベック (出力 500W) を使い、加熱前後の試料平均温度、試料等の重量及び比熱、及び水の蒸発の潜熱から吸収エネルギーを求めた。また、熱画像装置 (サーモビューア) を用いて加熱直後の試料の温度分布を測定した。

液体モデル試料では、沸点以下において、試料平均温度は蒸留水より塩化ナトリウム溶液の方が低いにも拘わらず、水分蒸発量は多いという結果が得られた。そこで、電子レンジ加熱直後の表面温度分布を測定したところ、蒸留水は比較的均一に温度が上昇したのに対し、塩化ナトリウム溶液では上部と下部に著しい温度差が観察された。すなわち、食塩添加試料は内部に著しい温度分布を生じ、対流等によって上部が非常に高温となるため、試料平均温度は低いにも拘わらず水分蒸発量は多いと推察された。

また、試料に吸収されたエネルギー量を算出したところ、吸収エネルギーは 310 ~ 360W であり電子レンジ出力 500W より小さかったが、塩化ナトリウム濃度が高いほど吸収エネルギーは小さくなった。また、沸点以下の温度において、温度上昇に消費されるエネルギー量は、塩化ナトリウム溶液の方が蒸留水よりもさらに少なかった。すなわち、食塩添加試料は電子レンジからのエネルギー吸収自体が少ない上に、温度上昇に消費される比率も低いことが明らかになった。

固体モデル試料においては、対流等による熱移動が生じないために温度分布が顕在化し、極端な温度ムラを生じたが、液体モデル試料と同様の現象が観察された。

以上より、食品に食塩を添加して電子レンジで加熱した場合、吸収するエネルギー自体は減少するが、内部は部分的に高温となり水分蒸発量も増大することが明らかになった。今後は、食品添加によるこれら加熱の特徴を生かした調理方法の工夫が望まれる。

23

助成番号 0058

電子レンジ加熱における食品の吸収エネルギーに及ぼす食塩の影響

助成研究者：中村 恵子（福島大学 教育学部）

1. 研究目的

電子レンジは、生活様式の変化や個食の増加などに伴って戦後広く普及し、現在は90%以上の家庭が保有するに至った。食品を食器に入れたまま短時間で加熱できる便利な調理機器ではあるが、食品内の温度ムラや加熱の過不足など、電子レンジ特有の調理上の問題を生じやすく、家庭内での使用は主として料理の再加熱に用いられている。

電子レンジによる食品の加熱は、密封された閉鎖空間における多成分不均一混合系の誘電加熱である。電子レンジ加熱における試料のエネルギー吸収には、加熱に伴う熱物性値や食品成分の状態の変化などに加え、含有する各成分の誘電特性¹²⁾、成分の混合状態や分布状態³⁴⁾、試料の形状³⁷⁾なども影響すると考えられる。食塩は、調理加工上の調味に不可欠であり、小麦粉製品・魚肉練り製品のテクスチャー改変にも寄与する重要な成分であるが、電子レンジ加熱におけるエネルギー吸収への影響は未だに整理されていない。わずかに温度について測定され、食塩水の温度上昇は水よりも小さいという報告³⁾や、食塩添加食品では中心部よりも周辺部が加熱されやすいという報告⁹⁾があるのみである。

そこで、本研究では電子レンジ調理における食塩添加の影響を明らかにすることを目的に、試料の吸収するエネルギー量に着目して検討した。

2. 研究方法

2.1 試料

液体モデル試料として、50～1000mlの蒸留水、1、5及び20%(w/w)の塩化ナトリウム溶液を用いた。また、固体モデル試料として、塩化ナトリウム0及び1%添加の10%(w/w)コーンスターチゲル(200ml)を用いた。

2.2 電子レンジ加熱方法

加熱機器として、電子レンジ(RMC-703E、リンナイ、出力500W)を用いた。

液体モデル試料では、重量既知のビーカーに同体積の試料を入れ、一定時間あるいは一定温度(約50℃)に達するまで電子レンジで加熱し、加熱前後の重量変化から水分蒸発

量を算出した。また、加熱前後の試料平均温度を、E 熱電対及びデジタルサーモメーター (HL-3600、安立計器) を用いて測定した。

固体モデル試料の場合は、液体と同様に温度及び重量を測定した後に電子レンジで 60 秒間加熱し、重量測定後直ちに密封保温容器中に投入した。容器内の水温の経時変化を求め、試料等の重量及び比熱から、電子レンジ加熱直後の試料平均温度を算出した。

2.3 熱画像装置による温度測定

温度分布の計測には、電子レンジ (ERO-J2200、東芝、出力 600W) を用いて試料を加熱した。加熱直後の試料表面及び内部縦断面の温度分布は、熱画像装置 (サーモビューア、日本電子) により測定した。

2.4 試料に吸収されたエネルギー量の算出

試料に吸収されたエネルギー (P) は、試料及びビーカーの温度上昇に用いられたエネルギーと、水の蒸発に用いられたエネルギーとの和とし、(1)式より算出した。

$$P = (\Delta T (C m_s + 0.77 m_w) + 2300 \Delta M) / t \quad \dots (1)$$

ここで、 P は吸収エネルギー [W]、 ΔT は加熱前後の試料の平均温度差 [K]、 C は試料の比熱 [$J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$]、 m_s は試料重量 [g]、 m_w はビーカー重量 [g]、 t は加熱時間 [sec]、 ΔM は加熱前後の試料の重量差 [g] である。ビーカーの比熱として $0.77 [J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}]$ 、水の蒸発の潜熱として $2300 [J \cdot g^{-1}]$ を計算に用いた。

3. 研究結果及び考察

3.1 液体モデル試料の温度変化及び水分蒸発

蒸留水あるいは 5%塩化ナトリウム溶液 200ml を電子レンジで加熱した場合の、温度及び水分蒸発による重量変化を Fig.1 に示した。温度は、いずれの試料も加熱前の試料温度 15 °C から 80 °C 付近まではほぼ直線的に上昇し、沸点に達した後に一定となった。沸点までの温度上昇速度は、塩化ナトリウム溶液の方が蒸留水よりも小さかった。水分蒸発による重量減少量は温度の上昇と共に増大したが、蒸留水では温度が沸点に到達した 4 分以降から著しく増大したのに対し、塩化ナトリウム溶液ではすでに 3 分 60 °C 付近から温度と共に増大し、沸点に達する 6 分までに全体の 1 割弱の水が蒸発によって失われた。すなわち、液体モデル試料を電子レンジで加熱した場合、沸点以下において、食塩添加試料の試料平均温度は無添加試料よりも低いにも拘わらず、水分蒸発量は無添加試料よりも多いという、一見矛盾する結果が得られた。

そこで、電子レンジ加熱直後の試料温度分布を熱画像装置で撮影し、この原因について検討した。Fig.2 にその一例を示した。試料の平均温度はいずれも 38 ~ 43 °C の範囲であ

ったが、蒸留水は全体に温度が均一であったのに対し、塩化ナトリウム溶液では試料上面の温度が高く、63℃にまで達した部分もあった。この理由としては、試料の誘電特性の相違が考えられる。食塩水溶液の誘電損失係数は、1.2%濃度で27～43と水の2～20よりも大きいので(2450MHz、0～100℃)、マイクロ波のエネルギーは内部まで浸透することなく、数mmという表面のごく近傍で熱に変換される。そのため、ビーカー表面で高温となった液体は対流によって上面に集まり、塩化ナトリウム溶液試料における極端な温度ムラを生じたと考えられる。食塩添加試料においては、試料内部に極端な温度ムラが生じ、試料上面が高温になるため、試料平均温度は低いにも拘わらず水分蒸発量が多いという現象を引き起こしたと推察された。

この現象に対する食塩濃度の影響を検討したところ (Fig.3)、すでに濃度1%において、温度上昇速度の低下、水分蒸発量の増大という食塩添加の影響が顕著に観察されたが、濃度を20%まで増加させても5%の場合と大きな差はなかった。また、結果は示していないが、試料体積を50あるいは500mlとした場合も、200mlと同様の傾向が観察された。

一般に食品に添加される食塩濃度は、吸い物・スープで0.8～1.2%、漬け物で4.0～5.0%程度であり、味噌(6～13%)や醤油(15%)中の食塩含量も20%未満である。また、電子レンジ庫内に入れる食品の量も、日常では500ml以下と思われる。そこで、食塩を添加した液状食品を実際に電子レンジで加熱した場合には、モデル試料を用いた本実験の結果と同様に、内部の温度ムラ、試料平均温度の上昇速度の低下、水分蒸発量の増加という特徴を示すと考えられた。

3.2 液体モデル試料のエネルギー吸収

温度上昇や水分の蒸発は、電子レンジの出力エネルギーが試料に吸収され、熱エネルギーに変換された結果、観察される現象である。そこで、3.1で示した液体モデル試料が、電子レンジの出力に対してどの程度のエネルギーを吸収したかを次に検討した。

各加熱時間におけるモデル試料の吸収エネルギー(P)を求め、その一部を Fig.4 に示した。いずれの試料及び加熱時間の吸収エネルギーも300～360Wと電子レンジの出力500Wより小さかったが、同じ加熱時間で比較すると、塩化ナトリウム溶液の方が蒸留水よりもやや小さい傾向にあった。吸収エネルギーは、試料及び容器の温度上昇と水分蒸発に用いられるエネルギーの和であるが、単位時間あたりに消費したこれらエネルギーの比率を、沸点に達する前後の加熱時間において比較した。加熱4分(蒸留水97℃、5%塩化ナトリウム溶液73℃)では、容器や試料温度の上昇に費やされたエネルギーは蒸留水で約310Wであったのに対し、5%塩化ナトリウム溶液では約215Wと小さく、水分蒸発に吸収エネルギーの1/3程度が費やされていた。いずれの試料も沸点に達した以降の加熱8分で比較すると、温度上昇に費やされたエネルギーは両者とも約160Wとほぼ等しくなり、水分蒸発に費やされるエネルギー量に差が生じた。

塩化ナトリウム濃度別に各加熱時間における吸収エネルギーを平均し(Fig.5)、吸収エネルギーに対する食塩添加の影響を検討した。吸収エネルギーは蒸留水が354Wと最も大きく、塩化ナトリウム濃度が増加するに従って有意に減少し、20%塩化ナトリウム溶液では290Wと蒸留水のおよそ8割程度となった。吸収エネルギー低下の一部は、モデル試料からの熱伝達や熱伝導によるエネルギー損失の差によると推察されるが、誘電率の相違による影響も考えられることから、今後さらに詳しく検討したい。

さらに、吸収エネルギーに対する試料体積の影響を検討した(Fig.6)。その結果、蒸留水及び5%塩化ナトリウム溶液いずれの吸収エネルギーも、500ml以下では体積の増加と共に増加し、500ml以上において電子レンジ出力の500Wとほぼ等しく一定となった。いずれの体積においても、5%塩化ナトリウム溶液の吸収エネルギーは蒸留水のそれより若干小さく、体積に拘わらず吸収エネルギーは小さくなることが確認された。

これらの結果より、食塩添加試料は無添加試料よりも、試料の吸収するエネルギーそのものが少ない上に、水分蒸発に使われるエネルギー比率が高いため、温度上昇に使われるエネルギーはさらに少ないことが明らかになった。

3.3 固体モデル試料の加熱

食塩添加試料における水分蒸発のエネルギー比率が大きい理由として、試料上部のみが高温になる(Fig.2)こと、またその理由は対流によると先に推察した。しかし、一般に食品を電子レンジで加熱する場合は固体も多く、固体の場合には対流による熱の移動が生じない。そこで、固体モデル試料における温度分布及び吸収エネルギーについて検討した。

電子レンジ加熱後の固体モデル試料表面及び縦断面の温度分布をFig.7に示した。塩化ナトリウム無添加ゲルの場合、表面よりも内部の温度が高く、中心部ほど高温であった。一方添加ゲルの場合、上面及び下面の角の温度が高く、マイクロ波のエネルギーが内部まで浸透していない様子が観察された。また、吸収エネルギーを算出したところ(Fig.8)、固体モデル試料の値は、液体モデル試料よりもいずれも有意に低下した。これは、固体では温度ムラが固定され、熱伝導等によるエネルギー損失が液体の場合より顕著となるためと推察される。塩化ナトリウム添加の有無で比較すると、液体の場合と同様に、添加ゲルでは306Wと無添加ゲル333Wよりも有意に小さかった。また、加熱60秒における重量減少量は、添加ゲルで0.43gと無添加ゲル0.13gより多かった。すなわち、食塩添加固体モデル試料の場合、吸収エネルギーが少なく水分蒸発により多くのエネルギーが消費されることは先の結果と同様であるが、温度ムラは液体モデル試料以上に顕著であった。

4.今後の検討課題

本研究の結果、食品に食塩を添加し電子レンジで加熱すると、食品の吸収するエネルギー

一は若干減少し平均温度上昇速度が小さくなるにもかかわらず、内部は部分的に高温となり水分蒸発量も大きくなることが明らかになった。今後は、食塩添加によるこれら加熱の特徴を生かした、新たな電子レンジ加熱方法の開発や応用が期待される。

謝辞

本研究を行うにあたり、熱画像装置を快くお貸し下さいましたお茶の水女子大学の畑江敬子先生に感謝いたします。

引用文献

- 1) W.R.Tinga and S.O.Nelson : Dielectric Properties of Materials for Microwave Processing - Tabulated, J.Microwave Power, 8 (1), 23-65 (1973)
- 2) K.Sasaki, A.Shimada, K.Hatae and A.Shimada : Influence of State of Mixing of the Sample on Total Absorbed Energy in Microwave Cooking, Agric.Biol.Chem., 52 (9), 2273-2278 (1988)
- 3) 佐々木恵子、影山郁子、畑江敬子、島田淳子 : 電子レンジ加熱における試料の吸収エネルギーに及ぼす成分及び混合状態の影響、家政誌、41 (6)、535-538 (1990)
- 4) 島田淳子、佐々木恵子、畑江敬子 : 電子レンジ加熱による食品成分の温度上昇、家政誌、41 (6)、535-538 (1990)
- 5) 中沢文子、高橋淳子、高田昌子、杉本賢治、岩淵康司 : デンプン食品の電子レンジ加熱 (第2報) 加熱食品の温度分布、家政誌、37 (11)、941-947 (1986)
- 6) 中沢文子、高橋淳子、高田昌子 : 電子レンジで加熱した四角型食品の温度分布、家政誌、40 (1)、35-40 (1989)
- 7) 程裕東、酒井昇、半澤保 : マイクロ波加熱過程における偏平円筒型食品モデルの熱移動解析、日食科工誌、43 (11)、1183-1189 (1996)
- 8) 露木英男、首藤醇 : マイクロ波による液体の選択加熱、食品工業、11 下、97-103 (1969)
- 9) 肥後温子、島崎通夫 : マイクロ波加熱による昇温特性の分類 (第2報) 各種食品の昇温速度、家政誌、41 (8)、733-743 (1990)

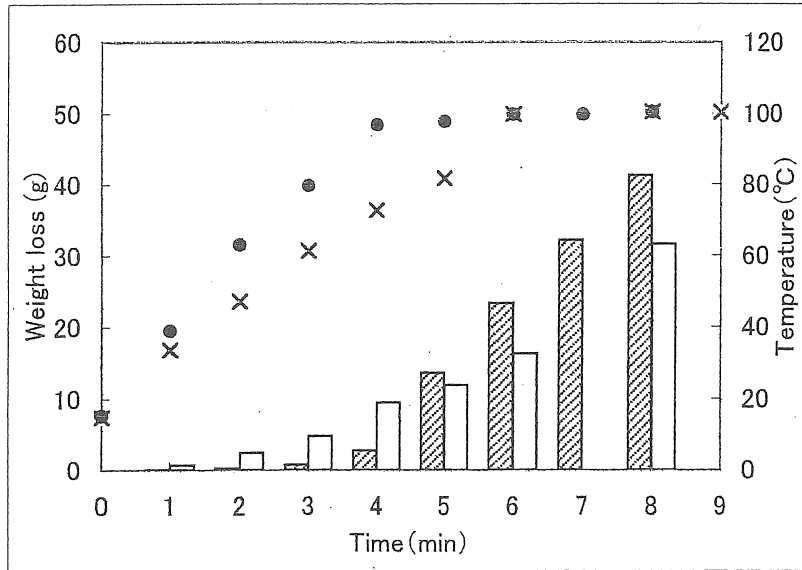


Fig.1 Changes in temperature and weight loss during microwave cooking. 200ml of samples in beaker were heated in microwave oven (RMC-703E, 500W). ●;temperature of distilled water, ×;temperature of 5% NaCl solution. ▨;weight loss of distilled water, □;weight loss of 5% NaCl solution.

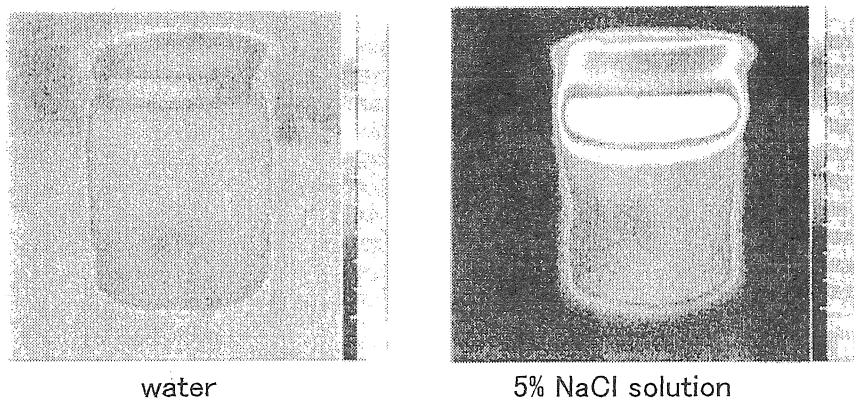


Fig.2 Temperature distributions of sample surface after microwave cooking. 200ml of samples were heated in microwave oven (ERO-J2200, 600W) for 80 sec. Color corresponded to temperature was shown in right side of the figures.

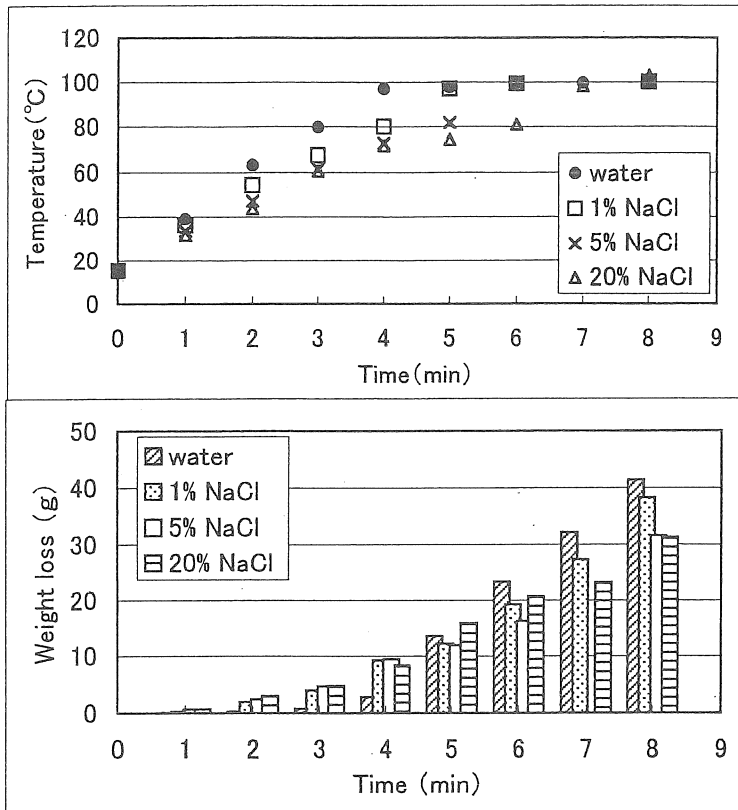


Fig.3 Effect of NaCl concentration on temperature and weight loss. during microwave cooking (200ml).
Microwave oven (RMC-703E, 500W) was used.

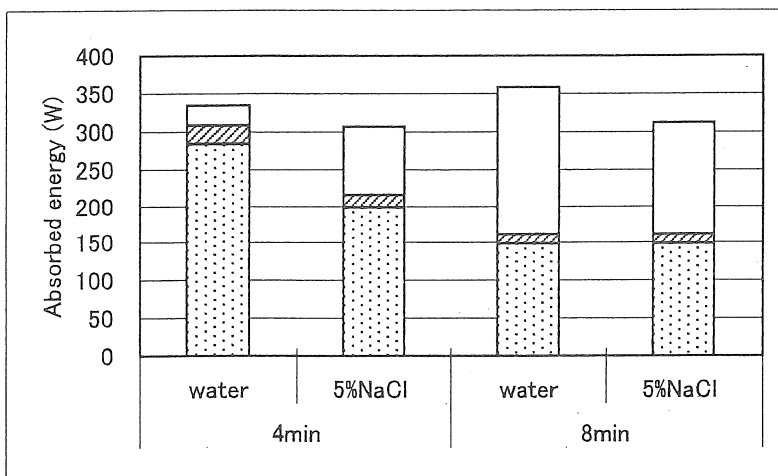


Fig.4 Absorbed energy of the samples.

- ▤; energy spent for rising sample temperature,
- ▨; energy spent for rising beaker temperature,
- ; energy spent for evaporation of water.

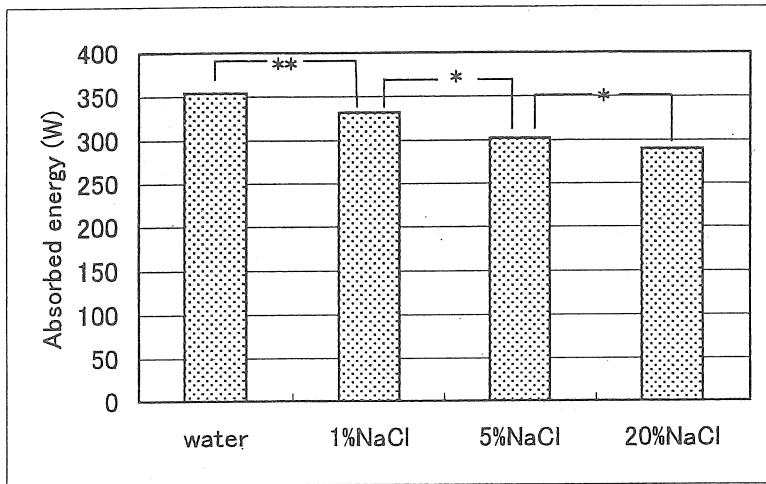


Fig.5 Effect of NaCl concentration on absorbed energy (200ml). Average of absorbed energy at various heating time were shown in the figure.

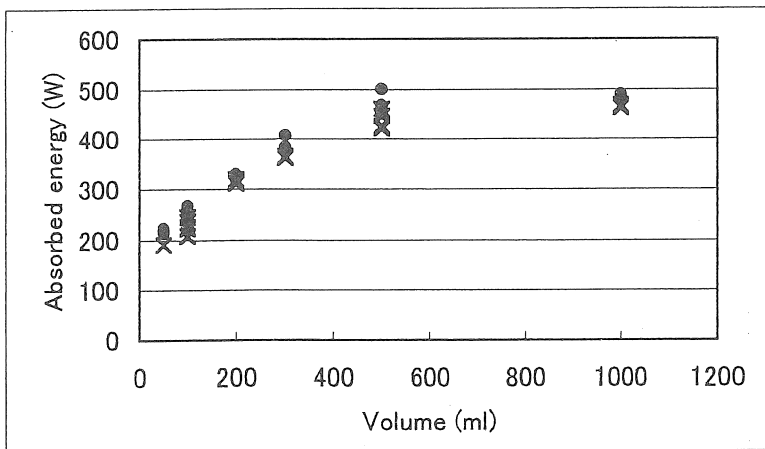


Fig.6 Effect of sample volume on absorbed energy. ●; distilled water, ×; 5% NaCl solution.

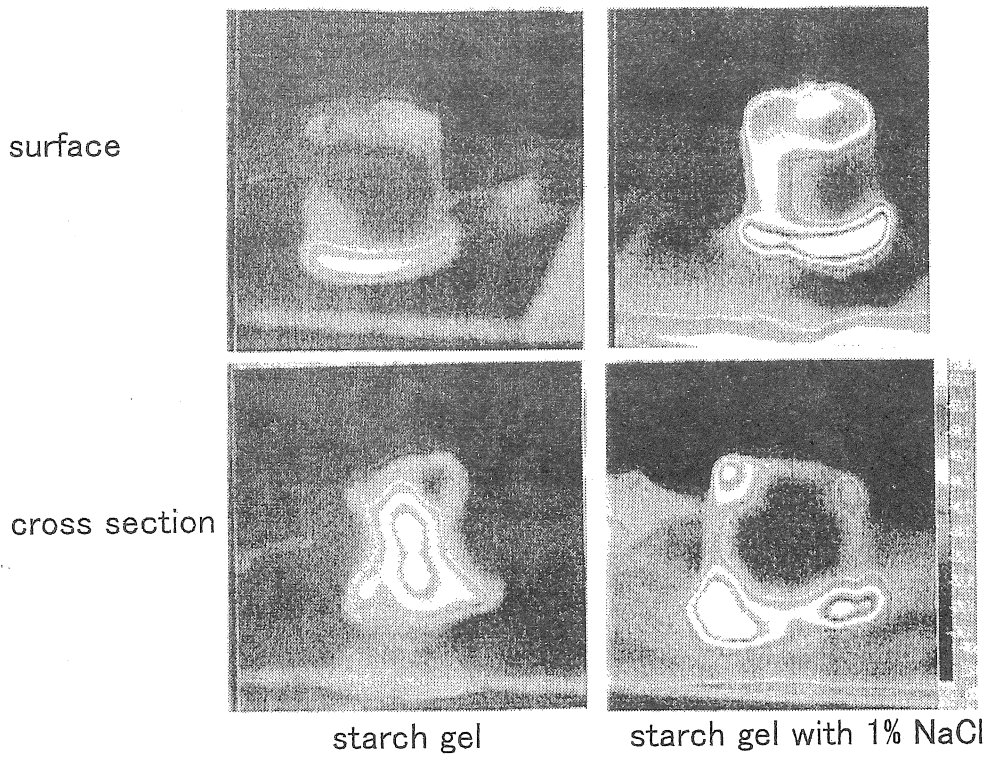


Fig.7 Temperature distribution of sample surface and cross section. 10% starch gels with or without 1% NaCl (200ml) were used and heated in microwave oven (ERO-J2200, 600W) for 80sec.

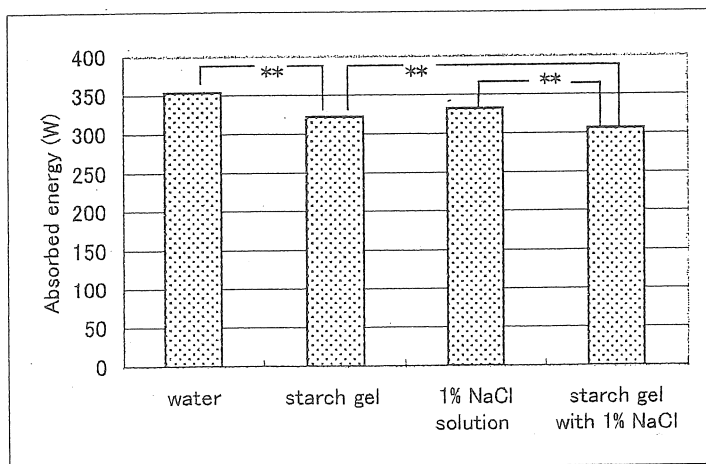


Fig.8 Absorbed energy of liquid and solid models (200ml). Microwave oven (RMC-703E, 500W) was used.

Effects of salt on absorbed energy of the food models during microwave cooking

Keiko Nakamura

Faculty of Education, Fukushima University

Summary

Salt is one of the most important substance as a seasoning or for food processing, however, its influence on the heating conditions during microwave cooking had not been explained. In this study, the effect of salt on cooking food models by microwave oven was investigated from the point of view of absorbed energy.

Two types of food models (liquid and solid models) were cooked in microwave ovens (500W or 600W). The changes of temperature and weight were measured and absorbed energy was calculated. Temperature distribution of the models was observed by thermal video system.

In case of liquid models, before their temperature reached boiling point, average temperature of 5% sodium chloride solution was lower than that of distilled water, though the amount of weight loss by water evaporation was larger. When temperature distribution of model surface was measured, hot spots were observed in upper part of sodium chloride solution. It was considered that hot region appeared and moved upward by convection in salt-added sample during microwave cooking, which cause the observed phenomena.

Absorbed energy of 200ml models was in 290~350W. It was decreased when the concentration of sodium chloride was increased. Moreover, consumption ratio of absorbed energy for rising sample temperature was lower in sodium chloride solution when the temperature of samples was below their boiling point.

In the case of solid models, the same phenomena as liquid models was observed, though the temperature distribution became more remarkably.

It was concluded that the effect of salt on cooking food model by microwave oven was the appearance of hot spots and the increase of water evaporation, though the absorbed energy and the rates of temperature rising were decreased.