

食品のマイクロ波加熱乾燥における 過加熱防止に関する研究

姫 徳 衡・久保田 清・羽倉 義雄

広島大学生物生産学部, 東広島市724

1992年4月7日受付

要 旨 簡便なマイクロ波加熱乾燥装置の試作を行い, 大きさ, 形状を変えたジャガイモなどを例として, 簡単な乾燥速度式の設定に関する研究(久保田ら, 1990; 呂ら, 1990A)を行ってきた。その結果, 温度上昇の原因で発生する褐変化がジャガイモの大きさの増加に伴って増加し, 局部的に発生した。そこで前報(呂ら, 1990B)では, ジャガイモのマイクロ波加熱乾燥における試料の大きさ, 形状と褐変化の関係に関する研究を行った。その結果, 試料の最大長さ, 厚さを減少をさせることによって褐変化を減少出来ることがわかった。

本報告では, 通常の大きさの食品のマイクロ波加熱乾燥における過加熱防止の研究を行った。その結果, 試料の含水量が大小のものを合わせて投入し, 最も乾燥が進行したものを新しいものに交換していくことによって, 過加熱を防止することが可能になることがわかった。

キーワード: 乾燥, 食品, マイクロ波

緒 言

食品のマイクロ波加熱は, 食品を内部から加熱するため加熱時間が短かくてよいとか, 装置を加熱しないで試料だけを加熱できるなどの利点があるため, 食品の乾燥, クッキング, 解凍などに利用されてきている(露木ら, 1974; 荒木, 1987; 久保田ら, 1988)。

マイクロ波加熱の実用化において問題になってきていることとして, 試料内部における加熱むらの発生がある(肥後, 1987)。その対応策として, 乾燥によって水分が低下すると, それに伴って電力を低下させる方法とか, 電力を断続させて局部的な過加熱を防止する方法とか, 熱風加熱による外部加熱を併用する方法(赤星ら, 1990)などが行われてきている。これらの方法には, 処理時間が長くなるとか, 効率が低下するなどの欠点がある。これまでに著者らは, 試料としてジャガイモを使って乾燥を行って, 加熱むらの発生を褐変化によって観察する研究を行ってきた。その結果, 試料を小さく, 薄くすると褐変化が防止できる結果(呂ら, 1990B)を得てきた。商品には種々の大きさ, 形状のものがあるということが問題になり, 対応策とならない欠点があった。また, これまでの方法と同様に, 効率が低下するという欠点もあった。

本研究では, 試料を小さく, 薄くしないで, 過加熱による褐変化が防止できないかを検討する研究を行った。その結果, 含水量が異なる試料を併せて投入させるようにして, 含水量が小さいものに電力を弱く当てるようにして, 過加熱を防止した乾燥が可能になったので報告する。

実 験 方 法

試 料 市販のジャガイモならびに冷凍イカを試料として用いた。イカは解凍して用いた。コルクボーラとカッターで各種大きさ, 形状に整形して試料とした。含水量は, 105℃, 6時間加熱をして測定した。

実験装置 市販の松下電器産業製 NE-6330型(2450 MHz, 加熱出力600, 240, 180W, 回転皿つき)の電子レンジを使用した。試料は, 直径31 cm のガラス製回転皿の上に直径24.3 cm, 厚さ0.3 cm のテフロン板を置き, その上に重ならないように並べて置いて乾燥に供した。テフロン板は, 面積で同じになるように5区分して, それぞれに並べて置いた試料の重量変化が測定できるようにした。中央部を直径10.7 cm 円形

(皿5番とする)とし、その周辺部を扇形4区分(皿1番～4番とする)とする5区分とした。加熱出力180Wで加熱した。

重量変化の測定 マイクロ波加熱を所定時間行った後、試料をテフロン板の試料台ごとに電子レンジから取り出し、直ちに天秤を用いて重量変化の測定を行った。試料は、秤量後、再びマイクロ波加熱を続けるという方法によった。連続加熱した速度と比較して速度の低下がみられない時間幅であった4分毎として測定を行った。試料を所定時間毎に新しいもので取り替えると、個体差による変動が大きいため同一試料を用いて出し入れする方法で行った。

乾燥率と加熱効率

含水量の設定 試料の重量変化の測定から含水量を次式により求める。

$$w_H = w - w_D \quad (1)$$

ここで、 w [kg]、 w_H [kg] および w_0 [kg] は、加熱時間 θ [s] における試料の重量、含水量および絶乾重量である。

乾燥率の設定 試料の重量変化の測定から乾燥率を次式により表わす。

$$x = (w_0 - w) / (w_0 - w_D) \quad (2)$$

ここで、 x [-] および w_0 [kg] は、加熱時間 θ [s] における試料の乾燥率および初期重量である。

加熱効率の計算

$$\eta = [C_p(100 - t_0)w + \phi \cdot \Delta w_H] / (\Delta \theta \cdot P) \quad (3)$$

ここで、 Δw_H [kg] および t_0 [°C] は、加熱時間 $\Delta \theta$ [s] に対する含水量変化および試料の初期温度である。 η [-]、 C_p [J/(kg·K)]、 ϕ [J/kg] および P [W] は、加熱効率、試料の比熱、水の蒸発潜熱および加熱出力である。簡便のため、式

(3) の右辺の第1項を省略する近似を行って加熱効率の値を求めた。最初の4分間における測定値は、試料の初期温度が低くて小さい値となった。以下に示す図中の実験点にかっこをつけて示す。

実験結果と考察

試料投入量を変えた実験 直径1 cm、長さ2.5 cm 円柱状のジャガイモ(約2 g)をテフロン板の試料台5皿の全皿に8個、4個、3個、2個と並べて総投入量を40個、20個、15個、10個と変える実験を行った結果を Fig. 1 に示す。乾燥速度が試料の投入量の増加に伴って小さくなり、また、乾燥の進行に伴って含水量が少なくなると小さくなることからわかる。Fig. 2 は、加熱効率を含水量の関係で示したものである。加熱効率は、試料の投入量とか乾燥率が変わっても関係なく、含水量の関係として一括して表わすことができることからわかる。また、効率一定期間と効率減少期間とに

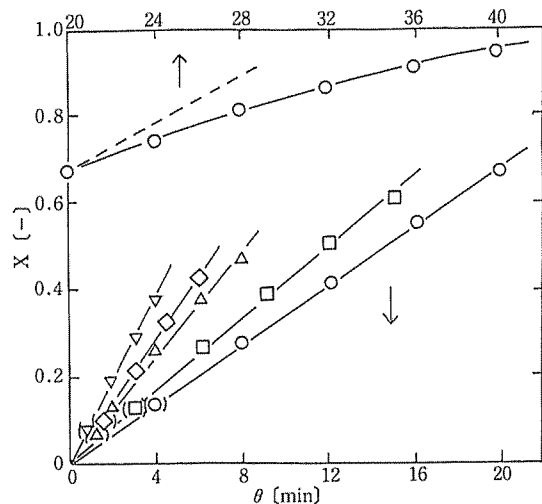


Fig. 1 Relations among the drying-ratio x [-] and the time θ [min].

Sample: cylindrical potato (diameter:1cm, length:2.5 cm, weight:about 2g), $P=180$ W, Number of sample:5 tables \times 8, 6, 4, 3, 2 = 40, 30, 20, 15, 10 samples [○□△◇▽]

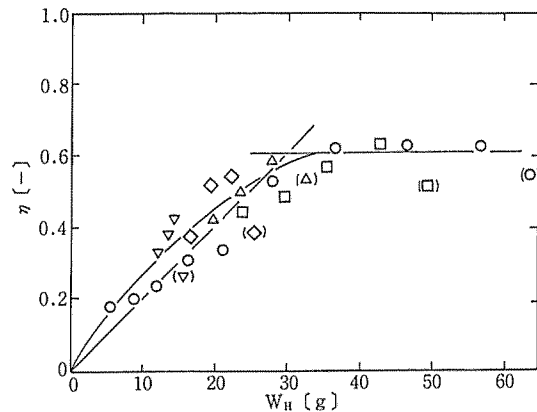


Fig. 2 Relations among the absorbed efficiency η [-] and the weight of water w_H [g].

Sample: cylindrical potato (diameter:1cm, length:2.5 cm, weight:about 2g), $P=180$ W, Number of sample:5 tables \times 8, 6, 4, 3, 2 = 40, 30, 20, 15, 10 samples [○□△◇▽]

大別して表わすことができることがわかる。

試料投入方法を変えた実験 Fig.1 に示す実験結果によると、乾燥率が0.5から0.7になると褐変化が観察され始めた。投入量が少ないほど、乾燥率が低いところで褐変化が始まったことから、褐変化いわゆる過加熱は、投入した試料の含水量が少ないところに大きな電力が与えられるときに起こりやすいと考えられる。そこで、含水量が異なる試料を併せて投入して、含水量が小さいものに電力を弱く当てるようにすることができるのではないかの検討をする実験を行った。最も乾燥が進行したものを新しいものに交換していくことによって含水量が異なる試料を併せて投入させることができると考えられる。

Fig. 3 は、直径1 cm、長さ2.5 cm の円柱状のジャガイモを試料台5皿の全皿に8個を並べて総投入量を40個とする実験を行った結果である。試料の投入方法を5皿を同時としていない結果である。時間ゼロ分で皿1番に8個を入れ、次いで4分後に皿2番に8個を入れ、更に4分後に皿3番に8個を入れ、同様にして皿5番に8個を入れるまで行った結果である。試料を順次出し入れする定常段階に入る前の前段階20分までの実験結果である。皿1番、皿2番の順番に乾燥速度が大きくなっているのは、投入されていない皿が多かったことが原因となっている。

Fig. 3 に示す前段階20分が経過した後には、20分乾燥に供した試料を順次新しい試料に取り替える定常段階となる。Fig. 4 に実験結果を示す。各皿の試料の含水量が異なるが常に全皿に8個が並んでいる状態である。破線は、比較のために示した Fig. 1 で示した結果である。同時に全皿に8個を並べた結果である。Fig. 4 から、乾燥した試料を新しい試料に取り替える操作をすると、乾燥率の小さいところで乾燥速度が大きくなり、乾燥率が大きいところで乾燥速度が小さくなるのがわかる。マイクロ波が含水量が大きい試料に強く当たり、含水量が小さい試料に弱く当たって過加熱の防止効果がみられていると考えられる。Fig. 5 は、Fig. 4 に示す定常段階が経過した後の後段階20分の実験結果である。20分乾燥に供した試料を順次取り出して新しい試料を投入しない結果である。中央部の皿5番の結果が大きくなっているが、これは周辺部の試料がなくなっていくと、マイクロ波が中央部に集中をしやすくなるように装置が

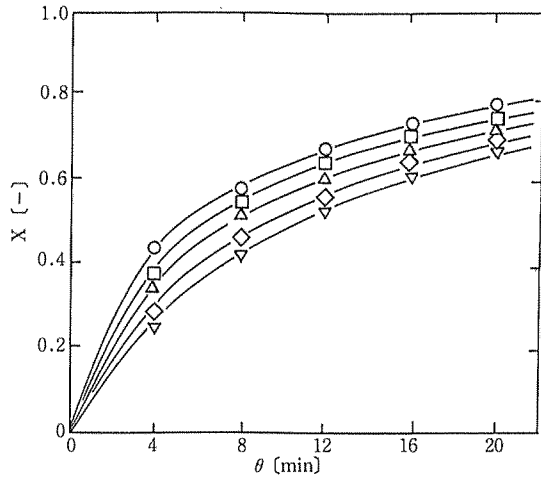


Fig. 3 Relations among the drying-ratio $x[-]$ and the time θ [min].

Sample: cylindrical potato (diameter:1cm, length:2.5 cm, weight:about 2 g), $P=180$ W, Number of sample:8 samples put on No.1 table at $\theta=0$ min and 8 samples put on No. 2~No. 5 tables for 4 min interval respectively [○□△◇▽]

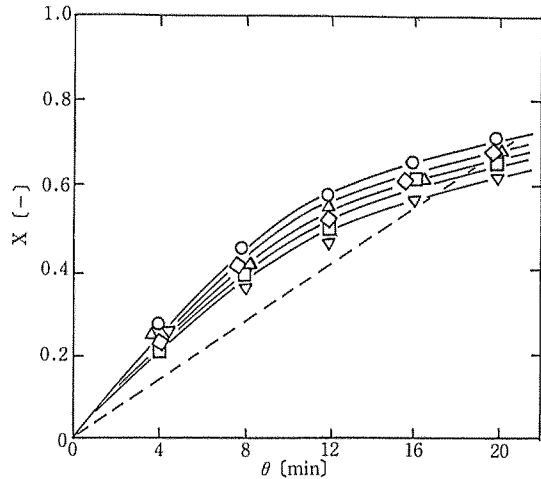


Fig. 4 Relations among the drying-ratio $x[-]$ and the time θ [min].

Sample:cylindrical potato (diameter:1cm, length:2.5 cm, weight:about 2 g), $P=180$ W, Number of sample (continue from Fig. 3):20 min dried samples on No. 1 table change to new samples at $\theta=20$ min time over and dried samples on No. 2~No. 5 tables change to new samples for 4 min interval respectively [○□△◇▽], Broken line: result of 40 samples in Fig. 1.

設計されているためではないかと考えられる。

Fig. 6 は, Fig. 3~5 に示した実験に対する加熱効率を含水量の関係で示したものである。直線と曲線は, 比較のために示した Fig. 2 で得られた結果である。定常段階における値がほぼ一致していることがわかる。乾燥した試料を新しい試料に取り替える操作をしても加熱効率が低下しないと考えられる。

試料をイカとした実験 即席ラーメンの具, スナック食品を想定して, イカのマイクロ波加熱乾燥を試みた。長さ1.5 cm, 幅1.5 cm, 厚さ0.35~0.45 cm のイカ(約1.4 g)を試料台5皿の全皿に15個を4分毎に順次投入して総投入量を75個とする実験を行った前段階の結果を Fig. 7 に示す。上記の厚さは, ノギスによる測定値であるが, 重量からは約0.6 cm なる。多量の水分を吸水していて押さえれば形状を変える弾力性のあるゲル状のものであった。乾燥を開始して試料の温度が上がってくると, 短時間で噴き出す水分があった。Fig. 7 において曲線が連続していないところは, テフロン板上に噴き出した水を含めて重量を測定した場合と, 取り除いて測定した場合とで大きく異なったためである。かっこの実験点の方が取り除かないで測定した結果である。膨化した軟質の乾燥製品を期待したが, 予想に反し消しゴムのような弾力性が僅かに残る硬質のものになった。

Fig. 8 は, Fig. 7 の前段階20分が経過した後の段階を示している。皿1番から5番までの20分乾燥に供した試料を順次新しい試料と取り替えて後は, 取り出しをしないで乾燥を続行した結果である。Fig. 9 は, Fig. 7 と 8 に示した実験に対する加熱効率を含水量の関係で示したものである。破線は, 比較のために示した Fig. 2 および 6 で得られた結果である。ジャガイモで得られた結果と比較すると, テフロン板上に噴き出した水を考慮すると加熱効率が大きく, 無視した場合には小さくなっている。また, 脱水が進行したものは加熱効率が著しく低下することがわかる。収縮が著しく起こったため, 試料が小さくなったためか, また, 組織中にマイクロ波で加熱を起しにくい水分が残っているためかなどが理由として考えられる。

イカの組織と水分との関係は, ジャガイモと比較すると次の実験を行った結果からもわかるように複雑で取り扱い難いものである。試料を

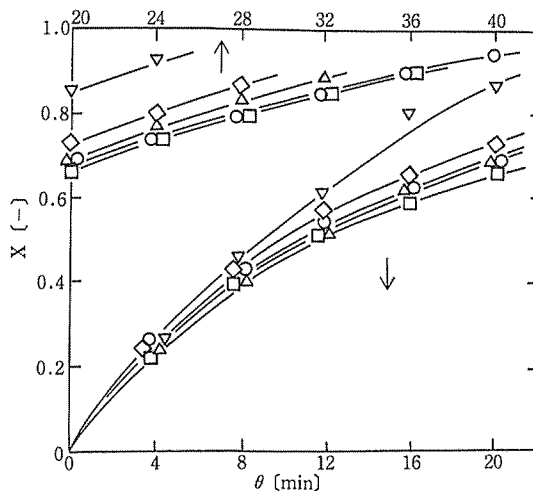


Fig. 5 Relations among the drying-ratio $x[-]$ and the time $\theta[\text{min}]$.

Sample: cylindrical potato (diameter: 1 cm, length: 2.5 cm, weight: about 2 g), $P=180 \text{ W}$, Number of sample (continue from Fig. 4): 20 min dried samples on No.1 table take out and dried samples on No. 2 ~ No. 5 tables take out for 4 min interval respectively [○□△◇▽]

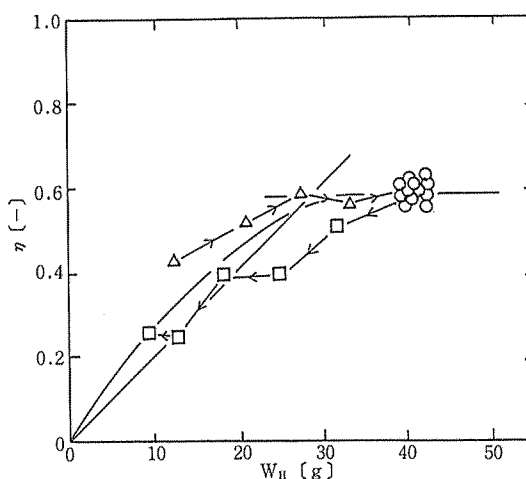


Fig. 6 Relations among the absorbed efficiency $\eta[-]$ and the weight of water $W_H[\text{g}]$.

Sample: cylindrical potato (diameter: 1 cm, length: 2.5 cm, weight: about 2 g), $P=180 \text{ W}$, Results for data in Fig. 3, 4 and 5 [△○□]. Solid line and curve: results in Fig. 2

大きく、厚くすると破裂が起こった。大きさが1片2 cm, 厚さ0.5 cm (ノギス測定値として)とすると破裂をするが, 1片1 cm, 厚さ0.3 cm とすると破裂しなかった。前述の実験は破裂しない限界の大きさ1片1.5 cm, 厚さ0.35~0.45 cm で行った。大きい試料に縫い針で穴を沢山にあけたが破裂防止の効果はみられなかった。カッターで切れ目を入れた場合には, 破裂防止の効果が見られた。

前述の実験から, 拡散によらないで熱によって噴き出す水分があったことから, イカを沸騰水中で数分間煮沸を行った。収縮して脱水する結果が得られた。沸騰水中で脱水させて含水量を低下させたものを乾燥する実験を行ったが, 期待に反して膨化するものにならなかった。

試料の大きさを変えた実験 Fig. 1 では, 乾燥速度が試料の投入量の増加に伴って小さくなったが, Fig. 2 に示すように加熱効率を含水量の関係で示すと大差がなかった。イカのように大きさ, 形状が著しく変わる食品があることから, 追実験として試料の投入量を一定として, 大きさを変える実験を行った。Fig. 10 は, 直径1 cm, 長さ1.5 cm の円柱状のジャガイモを試料台5皿に4個と並べて総投入量を20個, 長さ1.0 cm のものを6個と並べて30個, 長さ0.75 cm のものを8個と並べて40個として行った実験結果である。乾燥速度が, 直径を同じにして長さを短くしていくと小さくなるのがわかる。秋永ら(1986)は, ジャガイモ軟化の最適加熱温度が立方体で一辺長さが2.0, 1.0, 3.0, 4.0 cm の順に大きかったと報告, また, 呂ら(1990A)はジャガイモ乾燥速度が円柱体で直径×長さが3.75×0.3, 1.7×1.6, 3.0×0.5 cm (重量を同じにして表面積を変えている)の順に大きかったと報告してきている。これらの結果には大きさ, 厚さによる傾向が逆転しているところがあるが, 本実験結果では逆転の傾向がみられなかった。Fig. 11 は, 加熱効率を含水量の関係で示したものである。加熱効率は含水量と試料の種類によって変わるだけでなく, 試料の大きさ, 形状によっても変わることがわかる。加熱効率が直径を同じにして長さを短くしていくと小さくなるのがわかる。食品では, 乾燥の進行に伴って含水量の変化と共に, 大きさ, 形状が大きく変化する場合が多く, 加熱効率の取り扱いがより一層に複雑となる。加

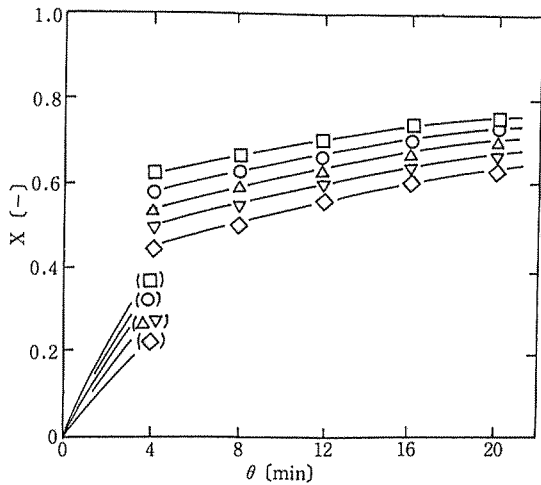


Fig. 7 Relations among the drying-ratio $x[-]$ and the time $\theta[\text{min}]$.

Sample: slab cuttlefish (length:1.5 cm, width: 1.5 cm, thickness:0.6 cm, weight:about 1.4 g), $P=180 \text{ W}$, Number of sample:15 samples put on No. 1 table at $\theta=0 \text{ min}$ and 15 samples put on No. 2~No. 5 tables for 4 min interval respectively [○□△◇▽]

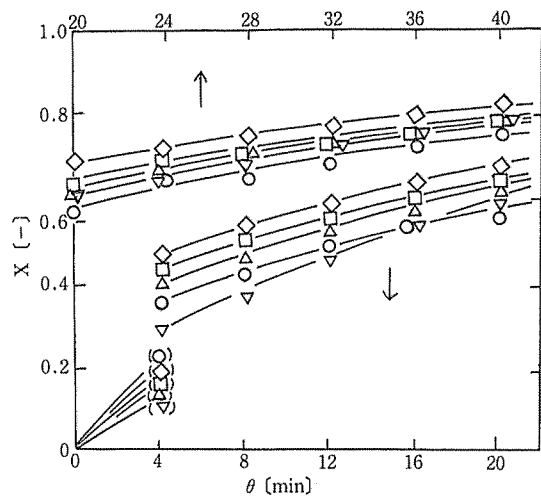


Fig. 8 Relations among the drying-ratio $x[-]$ and the time $\theta[\text{min}]$.

Sample:slub cuttlefish (length:1.5 cm, width: 1.5 cm, thickness:0.6 cm, weight:abought 1.4 g), $P=180 \text{ W}$, Number of sample (continue from Fig. 7):20 min dried samples on No. 1 ~ No. 5 tables change to new samples for 4 min interval respectively [○□△◇▽]

熱効率 η は、試料の温度によっても変わると報告(肥後, 1987)されているが、乾燥では水の沸点の近くで温度が一定しており、温度による変化はないとして取り扱えると考えられる。

結 言

食品のマイクロ波加熱乾燥における過加熱防止に関する研究を、ジャガイモを試料として褐変化を観察することにより行った。乾燥した試料を順次新しい試料に入れ替えて含水量の大小のものを共存させて乾燥を行うと、マイクロ波が含水量の小さいものに弱く当たり過加熱防止に効果があることがわかった。試料の大きさを小さくしないで、加熱時間を長くしないで、加熱効率を低下させないで過加熱防止ができることから有用な結果であると考えられる。イカを試料として膨化乾燥を試みたが、期待に反して消しゴム状の硬いものになった。加熱効率を含水量の関係として一括して表わすことができ、効率一定期間と効率減少期間とに大別して表わすことができることがわかった。加熱効率は、試料の種類と試料の大きさ、形状によって変わる結果が得られた。

謝辞 本研究は、平成4年4月4日の堺市(大阪府立大学)における化学工学会第57年会において報告したものである。本研究の一部は文部省科学研究費補助金の総合研究(A): 代表者: 土井悦四郎(1991年)、また一部は、東和食品研究振興会の援助(1991年)を受けたものである。付記させて頂いて謝意を表す。

使用記号

- Cp : 試料の比熱 [J/(kg·K)]
 - P : 加熱出力 [W]
 - t : 試料の温度 [K], [°C]
 - w : 試料の重量 [kg], [g]
 - Δw : $\Delta\theta$ における w の変化量 [kg], [g]
 - x : 式(2)で示す乾燥率 [-]
 - η : 式(3)で示す加熱効率 [-]
 - θ : 加熱時間 [s], [min]
 - $\Delta\theta$: θ の変化量 [s], [min]
 - ϕ : 水の蒸発潜熱 [J/kg]
- 添字 : O:初期値, D:絶乾値, H:水分

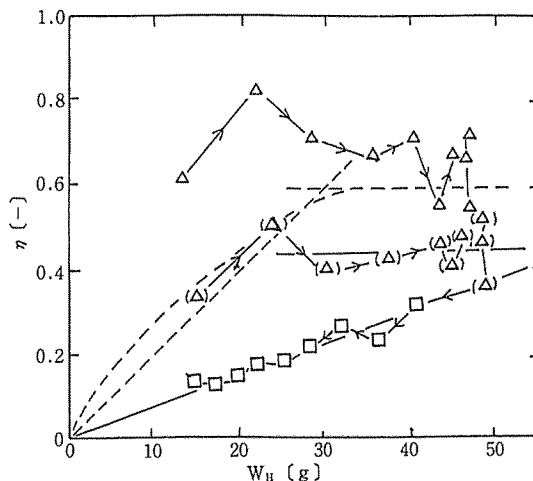


Fig. 9 Relations among the absorbed efficiency η [-] and the weight of water w_H [g].

Sample: slab cuttlefish (length:1.5 cm, width: 1.5 cm, thickness:0.6 cm, weight: about 1.4 g), $P=180W$, Results for data in Fig. 8 and 9 [Δ□], Broken line and curve: results in Fig. 2

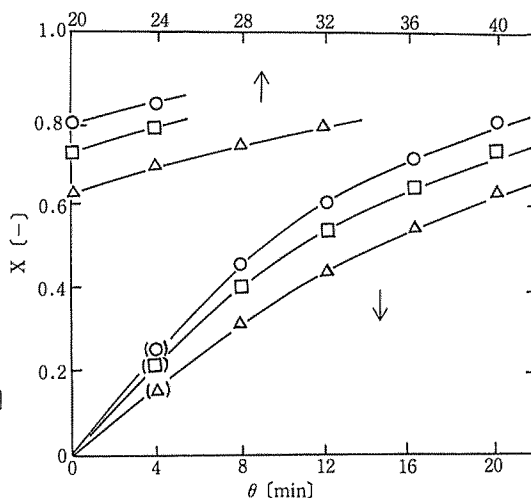


Fig. 10 Relations among the drying-ratio x [-] and the time θ [min].

Sample: cylindrical potato, $P=180W$, Number of sample: 5 tables \times 4, 6, 8 = 20, 30, 40 samples (diameters: 1cm, length: 1.5, 1.0, 0.75 cm) [○□△]

引用文献

赤星亮一・又重英一, 1990, マイクロ波を利用した馬鈴薯の通風乾燥. 日食工誌, 37: 581-588.

秋永優子・香西みどり・畑江敬子・島田淳子, 1986, 電子レンジ調理におけるジャガイモの軟化に及ぼす調理条件の影響. 家政学雑誌, 37: 955-960.

荒木英之, 1987, マイクロ波の束縛加熱利用. 食品機械装置, 24(1): 45-56.

肥後温子編, 1987, 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.

久保田清・黒川真行・鈴木寛一・江坂宗春, 1988, 円柱状ジャガイモのマイクロ波加熱におけるクッキング速度式の設定に関する研究. 日食工誌, 35: 78-82.

久保田清・呂聯通・山下洋右・岡崎尚・望月博範・黒川真行・鈴木寛一・江坂宗春, 1990, マイクロ波加熱乾燥装置の試作とジャガイモ乾燥に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, 29: 51-62.

呂聯通・久保田清・鈴木寛一・岡崎尚・山下洋右, 1990A, 食品のマイクロ波加熱乾燥速度式に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, 29: 145-157.

呂聯通・久保田清・鈴木寛一, 1990B, ジャガイモのマイクロ波加熱乾燥における試料形状と褐変化に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, 29: 159-164.

露木英男・首藤厚, 1974, 食品のマイクロ波加熱, 建帛社, 東京.

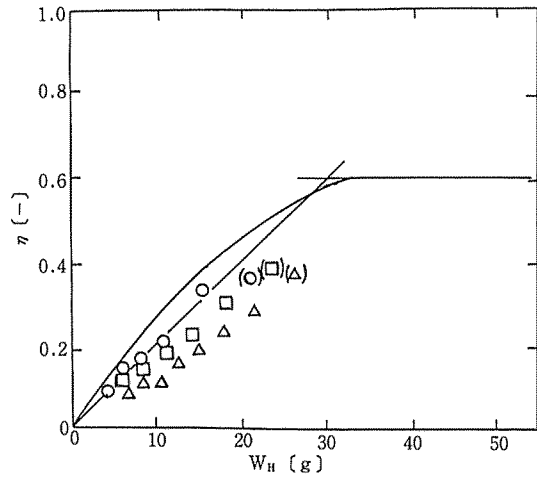


Fig. 11 Relations among the absorbed efficiency η [-] and the weight of water w_H [g].

Sample: cylindrical potato, $P=180$ W, Number of sample: 5 tables \times 4, 6, 8 = 20, 30, 40 samples (diameter: 1cm, length: 1.5, 1.0, 0.75 cm) [○□△], Solid line and curve: results in Fig. 2

Studies on the Prevention of Over Heating on Microwave Heated Drying of Foods

De Heng Ji, Kiyoshi KUBOTA and Yoshio HAGURA

*Faculty of Biological Science, Hiroshima University
Higashi-Hiroshima 724 Japan*

In previous papers (KUBOTA *et al.*, 1990; LU *et al.*, 1990B), we have studied a convenient microwave heated drying instrument, and studied the simple drying-rate equations of potato and so on by using some shapes of samples. The browning according the temperature rises increased by increasing size of potato samples, and the browning location depended on the shape of samples. And then, we have studied the relationships between the size and/or shape and the browning on microwave heated drying of potato, and we could decrease the browning according the temperature rises by reducing the maximum length or the thickness (LU *et al.*, 1990B).

In this paper, we studied the prevention of over heating on microwave heated drying of ordinary size of commercially foods, and we could decrease the over heating by exchanging the most dried one for new one among different drying time samples.

Key Words: drying, food, microwave