マイクロ波加熱食パンの老化に対するデンプン及び グルテンの関わり

山内宏昭*・兼重 寛*・藤村昌樹*・橋本慎一*
大宅甲三*・平川 完*・小林 猛**

Role of Starch and Gluten on Staling of White Bread Treated with Microwave-Heating

Hiroaki YAMAUCHI*, Hiroshi KANESHIGE*, Masaki FUJIMURA*,
Shinichi HASHIMOTO*, Kozo OHYA*, Tamotsu HIRAKAWA*
and Takeshi KOBAYASHI**

* Food Research Department, Kanegafuchi Chemical Industry Company Limited,
1-8, Miyamae-machi, Takasago-cho, Hyogo 676

** Department of Biotechnology, Faculty of Engineering, Nagoya
University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-01

Bread heated with microwave is well known to be rapidly stale. This rapid staling was never observed on bread heated by ordinary thermal treatment. Staling mechanism of bread heated with microwave has not been fully understood due to its complexity, although some studies have been reported on changes in the starch-gel and the bound water in bread. In this study, the role of starch and gluten on staling was investigated for white bread treated with microwave-heating. In order to elucidate staling mechanism more precisely, we have used breads, starch-gel and gluten-gel with/without monoglyceride. The results are summarized as follows: (1) The rapid hardening of microwave-heated bread was mainly caused by hardening of starch, of which a main factor was the changes from sol to gel on starch in bread. (2) Crystallization (retrogradation) of starch in bread contributed greatly to the gradual hardening after rapid hardening in the primary process. (3) Starch and gluten were both concerned as well with a decrease in crispy property of bread after microwave heating. Gelatinization and elution of starch, and reinforcement of gluten network caused the decrease of its crispy property. (Received Jun. 1, 1992)

電子レンジの国内普及率は75%以上に達し、この機器を使っている料理が作られ、また、数社から電子レンジ用食品も販売されている。

しかしながら、電子レンジで、小麦粉食品を加熱した場合、加熱直後は蒸したように軟らかくなるが、時間経過とともに急激に老化して硬くなり、噛み切れないような歯切れの悪い食感になることが経験的に知られている。

このことが小麦粉食品への電子レンジの利用を限定したものとしている。

このような、マイクロ波加熱（以下 MW 加熱と略す）後の小麦粉食品の特異な老化（物性変化）に関しては、従来から研究が行われている。特にパンに関しては、MW 加熱後のパンの物性変化について通常の伝熱加熱の場合と比較して、結合水の変化、デンプンの膨潤度、

* 鐘淵化学工業株式会社食品研究部（〒676 兵庫県高砂市高砂町宮前町 1-8）

** 名古屋大学工学部生物機能工学科（〒464-01 名古屋市千種区不老町）

アミロース溶出量、X線回折によるデンプンの結晶化等の解析により、MW加熱後のパン中の水の挙動、デンプンの状態変化が伝熱加熱の場合とどのように異なるかについて検討が行われており¹¹⁻³⁾、また、肥後ら³⁾はMW加熱後のパンの硬化現象について、MW加熱による急激なデンプンの糊化、溶出、ゾル化、その後の溶出糊化デンプンの急激なゲル化によりMW加熱パンの特異な物性変化が起こると報告しており、このデンプンのMW加熱後の変化に基づき硬化過程のモデルを提出している。また、パン中の構成成分であるグルテンに関して、肥後ら⁴⁾はグルテンゲル系での実験において、伝熱加熱に比べMW加熱ではゲルからのタンパクの溶媒による抽出率が高くなることを報告している。

このように、これまでのMW加熱に関するパンの研究はパンの中のデンプンに関する検討が多く、パンのもう一つの主成分であるグルテンがMW加熱後の物性変化にどの程度関与しているかについてはあまり検討されていない。

そこで、本報告では、まず従来の報告でパンのMW加熱による物性変化の主要因であると考えられているデンプンの糊化、溶出、ゾル化に注目し、これを一般に抑制するといわれている乳化剤(モノグリセリド)⁵⁾⁻⁸⁾を多量に添加したパンと無添加のパン(対照)を用い、それぞれのパンのMW加熱後の物性変化(硬さ、歯切れ)、パン中のデンプンの老化について比較検討し、デンプンの糊化、溶出の影響がどの程度であるかについて検討した。次に、MW加熱による対照のパンの物性変化に対してパンの主成分であるデンプン、グルテンがそれぞれの程度関与しているかを明らかにするために、モノグリセリド添加、無添加のデンプンゲル及びグルテンゲルについてMW加熱後の物性変化について検討し、各成分の寄与について考察した。そして、最後に、MW加熱による対照のパンの物性変化に対するデンプン、グルテンの関わりとその物性変化機構について考察した。

実験方法

1. 製パン配合及び製パン条件

製パン配合、製パン条件、モノグリセリドの α 結晶ゲル(以下モノグリと略す)の調製については山内ら⁹⁾の報告に準じて行った。ただし、製パンはブルマン型のみについて行い、製パン水準はモノグリ無添加で油脂5%添加の対照、それにさらにモノグリ1%(モノグリとして)添加した2水準について行った。また、均一な内相のパンを得るために発酵終了時生地をステンレスミン

チ(南常鉄工製M-22E)で処理した。

2. MW加熱条件

周波数2450 MHz₂、出力600 Wの市販の電子レンジ(松下電気製オープン電子レンジNE-M640)を用い、ターンテーブル上に試料を4つ置き、レンジ弱(300 W相当)の条件で所定の時間MW加熱した。各試料の大きさは後に記述する硬さ測定法に使用したものと同一であり、MW加熱時間はパンの場合レンジ弱20、40、60秒、デンプンゲルとグルテンゲルの場合レンジ弱30、60、90秒である。パンとゲルで加熱時間が異なるのは各試料の単位重量当りに加えられるMW加熱エネルギーをほぼ同一にするためである。また、MW加熱条件を上記のようにかなり弱い条件で行った理由は、強いMW加熱による多量の水分蒸発とパン、ゲルの変形等による物性測定への影響をほとんどなくすためである。

3. パンの硬さ測定法

焼成後20℃で密閉ビニール袋中で1日保存したブルマン型のパンを1cmにスライスし、中央部を5cm×2cmの長方形にカットし、MW加熱する場合には、所定時間MW加熱し、ビニール袋中で20℃で1、3、5時間、1、3日保存し、山電製クリープメーター(RE-3305)を用い、6cm×6cmのプランジャーによりパン全体を圧縮スピード1mm/sで3mm圧縮し単位面積(cm²)当りの最大応力を測定した。なお、1試料についてパン4枚を測定しその平均値を求め測定データとした。また、保存3日目のデータについては、標準偏差を図に表示した。

4. パンの歯切れ(破断力)測定法

パンを食べた時の歯切れを数値化するため、硬さ測定法と同様の試料、装置を用い、一定条件で試料を切断した場合の破断力を測定し、この値が大きいものほど歯切れが悪いと評価した。すなわち、クリープメーターのプランジャーにOLFA製の Cutter 用の刃を下に向けて固定し、試料の中央部に長辺に対して直角にプランジャーを設置し、スピード5mm/sで試料を切断した場合の力のカーブより破断力を測定し、この値でパンの歯切れ(以後歯切れを特別の場合以外破断力と記す)を評価した。なお、測定は、保存1、5時間保存試料について行い、1試料についてパン4枚を測定し、その平均値を求め測定データとした。また、MW加熱60秒のデータについては、標準偏差を図に表示した。

5. パンの水分含量の測定法

硬さ測定用の保存1時間の試料を用い135℃、3時間の乾燥法によって求めた。

6. パンの糊化度測定法

硬さ測定と同様の試料を用い、無水アルコールで 2 回、無水ジエチルエーテルで 1 回脱水後乾燥した試料を用い、貝沼ら¹⁰⁾ の BAP 法によって測定した。

7. デンプンゲルの調製法と硬さ及び破断力測定法

(1) デンプンゲルの調製法

小麦デンプン (半井化学製, 水分 13%) 250 g に水 172.5 g, モノグリ添加区ではさらに, モノグリ 2.5 g (モノグリとして) を添加し, ブラベンダー社製ドウコーダー (E 型) を用い 95℃, 100 回転/min で 25 分間ミキシングし, できたゲルを深さ 1 cm のシャーレに入れ, 密閉ビニール袋中で 20℃ で 1 日保存した。

(2) デンプンゲルの硬さ及び破断力測定法

上記ゲルを 1 cm × 1 cm にカットし, MW 加熱する場合は, 所定時間 MW 加熱し, ビニール袋中で 20℃ で保存した。その試料を用いパンの場合と同様の保存時間, 装置で圧縮スピード 1 mm/s で 1 mm 圧縮し, その時の単位面積 (cm²) 当りの最大応力を測定することによってゲルの硬さを測定した。

破断力の測定は, 硬さ測定と同様の試料を用いパンの場合と同様に行った。なお, 硬さ及び破断力のどちらの測定も, 1 試料について 4 個測定を行い平均値を求め測定データとした。また, 保存 3 日目の硬さ, MW 加熱 90 秒の破断力のデータについては, 標準偏差を図に表示した。

8. グルテンゲルの調製法と硬さ及び破断力測定法

(1) グルテンゲルの調製法

粉末グルテン (関東化学製, 熱風乾燥品) 250 g に 1 % 亜硫酸ナトリウム水溶液 (亜硫酸ナトリウム, 半井化学製) 300 g, モノグリ添加区では, さらにモノグリ 2.5 g (モノグリとして) を添加し, ホバート社製ホバートミキサー (モデル N-50) でリーフを用い低速 3 分, 中速 4 分ミキシングを行ない, できたグルテン生地をワンローフ型のパン容器に 500 g 入れ, パンの場合と同条件で焼成を行った。焼成したグルテンゲルを 1.5 時間常温で冷却後ビニール袋に入れ 20℃ で保存した。なお, 亜硫酸ナトリウムを使用した理由は, 未還元グルテンで均一なゲルを作成するのは困難なためである。

(2) グルテンゲルの硬さ及び破断力測定法

硬さ及び破断力測定共にグルテンゲルを 1 cm にスライスし, 中央部を 1 cm × 1 cm にカットして試料を作成し, 硬さ測定の場合 2 mm 圧縮で行なった以外デンプンゲルの場合と同様にして測定した。

9. パン及びデンプンゲルの X 線回折法

硬さ測定と同様の試料を用い, 山内ら⁹⁾ の方法によって測定した。

10. 電子顕微鏡によるパン及びグルテンゲルの観察法

日立製作所製走査型電子顕微鏡 (S-570) を用いて Cryo 技法により, 山内ら⁹⁾ の方法によって試料の電子顕微鏡 (以下電顕と略す。) による観察を行った。

実験結果及び考察

1. MW 加熱によるパンの物性変化とデンプンの老化

MW 加熱によるパンの物性変化とその変化に対するデンプンの影響を明らかにするために, モノグリを添加のパンと無添加のパン (対照) について MW 加熱処理し, 硬さ, 破断力, X 線回折, 糊化度測定, 電顕観察を行った。

図 1, 図 2 にそれぞれ MW 加熱後のパンの硬さ, 破断力の結果を示す。これより, 対照のパンでは, MW 加熱により一旦パンが軟化しその後急激に硬化し, MW 加熱時間を長くした試料ほどより急激に硬化した。これ

図 1 MW 加熱パンの硬さの変化

- : 対照 (MW 加熱無)
 - : モノグリ添加 (MW 加熱無)
 - △: 対照 (MW 加熱 20 秒)
 - ▲: モノグリ添加 (MW 加熱 20 秒)
 - : 対照 (MW 加熱 40 秒)
 - : モノグリ添加 (MW 加熱 40 秒)
 - ◇: 対照 (MW 加熱 60 秒)
 - : モノグリ添加 (MW 加熱 60 秒)
- 垂直のバーは標準偏差である。

図 2 MW 加熱パンの破断力の変化

○：対照（保存 1 h）
●：モノグリ添加（保存 1 h）
△：対照（保存 5 h）
▲：モノグリ添加（保存 5 h）
垂直のバーは標準偏差である。

に対し、モノグリ添加のパンでは、MW 加熱時間が長い場合には保存 1 時間目から MW 加熱無に比べ若干硬くなったが、MW 加熱してもその後の急激な硬化はほとんどなく、経時での硬さの変化は非常に少なかった。破断力についても硬さほど顕著ではないがほぼ同様の傾向を示し、対照のパンでは MW 加熱時間が長くなるにしたがって破断力値が上昇し、急激に歯切れが悪くなる傾向がみられたのに対し、モノグリ添加のパンでは MW 加熱による破断力値の上昇はかなり抑制された。

図 3 に、保存経時の対照のパンの X 線回折の結果を示す。これより MW 加熱後 1 時間のパンは非結晶性であることを示すほぼ V 図形を示していることから、パン中のデンプンが加熱によりほぼ結晶性を失っていることが判る。また、保存中のデンプンの老化を示す B 図形のピーク（ 2θ , 17° 付近）が顕著に表れる時期から、MW 加熱無、20 秒、40 秒、60 秒の順でパン中のデンプンの結晶化が速いことがわかる。この結果は、MW 加熱時間を種々変えた場合のパンの X 線回折の結果を示した肥後ら³⁾の報告とも一致するものである。結果は示さないが、モノグリ添加パンでは MW 加熱有無のどちらの系でもモノグリとデンプンとの複合体の存在を示す 2θ , 12.5° 及び 20.0° 付近に回折ピークを持つ V 図形が観察され、対照のパンに比べ B 図形の表れる順序は同じであったが、表れる時期が全体に非常に遅かった。

図 4 に対照とモノグリ添加パンの水分含量の結果を示

図 3 MW 加熱パンの X 線回折結果

図 4 MW 加熱パンの水分含量

○：対照 ●：モノグリ添加

す。これより、対照とモノグリ添加パンで水分含量にほとんど差はなく両者とも MW 加熱 60 秒で 5% 程度水分含量が減少した。

図 5 にパン中のデンプンの保存経時での糊化度の測定結果を示す。これより、以下のことが判った。① 対照

図 5 MW 加熱パンの糊化度の変化

- ：対照 (MW 加熱無)
- ：モノグリ添加 (MW 加熱無)
- △：対照 (MW 加熱 20 秒)
- ▲：モノグリ添加 (MW 加熱 20 秒)
- ：対照 (MW 加熱 40 秒)
- ：モノグリ添加 (MW 加熱 40 秒)
- ：対照 (MW 加熱 60 秒)
- ：モノグリ添加 (MW 加熱 60 秒)

のパンに比べモノグリ添加パンでは、モノグリ糊化抑制のため非常に低い糊化度を示す。②対照のパンでは経時的に糊化度が急激に低下するのに対し、モノグリ添加パンではその変化がほとんどない。③対照のパンでは MW 加熱時間が長くなるに従って保存 1 時間目の糊化度がより高い値を示し、その後急激に低下するのに対し、モノグリ添加パンではこの糊化度の上昇がほとんどない。④ MW 加熱後の糊化度の変化とパンの硬さの変化にはかなりの負の相関がある。

図 6 に対照、モノグリ添加パンの MW 加熱無と加熱 60 秒のパンの電顕写真を示す。これより、対照のパンでは MW 加熱無のパンにおいてすでにデンプン粒 (球状に見えるのがデンプン粒と考えられる) が形が崩れていて粒らしきものがわずかに見える程度であり、それが MW 加熱によってさらに進行し、デンプン粒はまったく観察できないようになり、全体にのっぺりした状態 (デンプンの糊化、溶出のためと考えられる) になっている。これに対し、モノグリ添加パンの MW 加熱無のパンでは粒の形を残したデンプンが多数観察され、MW 加熱 60 秒のパンでも対照の MW 加熱無以上にデンプン粒が形を残していた。この電顕観察の結果から、MW 加熱によりデンプンの糊化、溶出が急激に進行し、それがモノグリによってかなり抑制されていることが判った。

以上のことから、MW 加熱による対照パンの物性変化には、肥後ら³⁾によって述べられている MW 加熱による水分蒸発をともなうデンプンの糊化、溶出による軟化、その後の溶出デンプンのゲル化が大きく関係していると考えられ、特に MW 加熱後の短時間の硬化現象については、これによってよく説明できると考えられる。しかしながら、急激な硬化以後 (保存 5 時間以後) の比較的ゆるやかな硬化、デンプンの溶出、ゲル化が非常に抑制されていると考えられるモノグリ添加パンの MW 加熱による破断力の上昇の現象を肥後ら³⁾のモデルによるデンプンの糊化、溶出、ゾル化その後のゲル化だけでは十分に説明できないと考えられる。

2. デンプンゲルでの検討

対照、モノグリ添加パンでの検討から、MW 加熱後のパンの物性変化に対して、デンプンが大きく関与していることが判った。しかしながら、パンは主成分としてデンプンとグルテンを含む複雑な複合体であるので、MW 加熱後の物性変化にデンプンがどの程度関与しているかをより明確にするために、モノグリ添加、無添加デンプンゲル (対照) の MW 加熱後の物性変化、老化について検討した。

図 7、図 8 に MW 加熱後の保存経時のデンプンゲルの硬さ及び破断力の測定結果を示す。これより、MW 加熱による軟化その後の急激な硬化、破断力の上昇、これらの現象のモノグリ添加による抑制等基本的にはパンの場合と同様の傾向を示した。しかしながら、一つ異なる点はパンの場合モノグリ添加でも、MW 加熱による破断力の上昇を完全に抑制できなかったのに対し、デンプンゲルの場合にはモノグリ添加によって MW 加熱による破断力の上昇がほとんど起こらないことである。また、結果は示さないが、デンプンゲルの X 線回折の結果はデンプンの老化にともなう B 図形の出現がパンの場合より早かった以外パンの場合と対照、モノグリ添加どちらもほぼ同様の結果を示した。

このことから、MW 加熱後の対照パンの物性変化に対するデンプンの関与については以下のように考えられる。① MW 加熱直後のパンの軟化その後の急激な硬化には、デンプンの糊化、溶出、ゾル化その後のゲル化が大きく関係しており、これにより、パンの破断力もかなり上昇すると考えられる。②モノグリ添加パンでは MW 加熱によってかなり破断力が上昇したのに対し、モノグリ添加デンプンゲルの破断力が MW 加熱によってもほとんど変化しないことから、対照のパンの MW 加熱による破断力の上昇はデンプンだけでは説明できない。

図 6 MW 加熱パンの電顕写真

い。

3. グルテンゲルでの検討

パンの MW 加熱後の物性変化に対するグルテンの寄与を明らかにするために、モノグリ添加、無添加のグルテンゲル（対照）について検討を行った。

図 9 に、MW 加熱後のグルテンゲルの保存経時での硬さの測定結果を示す。これより、グルテンゲルでは MW 加熱、モノグリ添加の有無にかかわらず経時で硬

さに大きな変化はなく、若干硬くなる程度であった。

図 10 に、破断力の結果を示す。これより、グルテンゲルにおいても、MW 加熱によって破断力の値はかなり上昇することがわかる。そして、デンプンゲルと大きく異なる点は、モノグリ添加ゲルでもこの破断力値の上昇が対照ほどではないが起こる点である。

このことはモノグリ添加パンにおいても、MW 加熱後の破断力の上昇を十分に抑制できなかったことと合わ

図 7 MW 加熱デンプンゲルの硬さの変化

- : 対照 (MW 加熱無)
 ●: モノグリ添加 (MW 加熱無)
 △: 対照 (MW 加熱 30 秒)
 ▲: モノグリ添加 (MW 加熱 30 秒)
 □: 対照 (MW 加熱 60 秒)
 ■: モノグリ添加 (MW 加熱 60 秒)
 ○: 対照 (MW 加熱 90 秒)
 ●: モノグリ添加 (MW 加熱 90 秒)
 垂直のバーは標準偏差である。

図 9 MW 加熱ゲルテンゲルの硬さの変化

- : 対照 (MW 加熱無)
 ●: モノグリ添加 (MW 加熱無)
 △: 対照 (MW 加熱 30 秒)
 ▲: モノグリ添加 (MW 加熱 30 秒)
 □: 対照 (MW 加熱 60 秒)
 ■: モノグリ添加 (MW 加熱 60 秒)
 ○: 対照 (MW 加熱 90 秒)
 ●: モノグリ添加 (MW 加熱 90 秒)
 垂直のバーは標準偏差である。

図 8 MW 加熱デンプンゲルの破断力の変化

- : 対照 (保存 1 h)
 ●: モノグリ添加 (保存 1 h)
 △: 対照 (保存 5 h)
 ▲: モノグリ添加 (保存 5 h)
 垂直のバーは標準偏差である。

図 10 MW 加熱ゲルテンゲルの破断力の変化

- : 対照 (保存 1 h)
 ●: モノグリ添加 (保存 1 h)
 △: 対照 (保存 5 h)
 ▲: モノグリ添加 (保存 5 h)
 垂直のバーは標準偏差である。

せて考えると、MW 加熱によるパンの破断力の上昇には、パン中のグルテンが大きく関与していると考えられる。

図 11 には、MW 加熱無、加熱 90 秒の対照、モノグリ添加のグルテンゲルの電顕写真を示す。これより、MW 加熱により、グルテンネットワークに差があり、特に対照の MW 加熱 90 秒のグルテンゲルでは、他のゲルに比べグルテンが収縮したようになっており、ネッ

トワークが密になっているように見える。

還元剤を添加しているのに、パン中のグルテンの状態とは異なる系ではあるが、グルテンゲルでの検討結果から、MW 加熱後の対照のパンの物性変化に対するグルテンの寄与は次のようになると考えられる。まず一つは、グルテンゲルが保存経時で硬さに大きな変化がないこと、また MW 加熱によってもそれに大きな変化がないことから、対照のパンの硬化にはあまり影響していないと考

図 11 MW 加熱グルテンゲルの電顕写真

えられる。また、もう一つは、MW 加熱によってグルテンゲルとパンの破断力は上昇し、かつこれがモノグリ添加でも完全には抑制できないことから、対照のパンの MW 加熱による破断力の上昇にはデンプンと同程度グルテンが関与していると考えられる。

4. MW 加熱パンの物性変化に対するデンプン、グルテンの関わりと物性変化機構

モノグリ添加、無添加のパン、デンプンゲル、グルテンゲルの MW 加熱後の物性変化に関する上記の検討結果から、MW 加熱後の対照のパンの物性変化機構を考えてみると次のように考えられる。

① MW 加熱後短時間（保存 5 時間まで）のパンの軟化後の急激な硬化には、MW 加熱後のパンの物性変化とデンプンゲルのそれがよく似ていること、パン中のデンプンの糊化度の変化が加熱後 5 時間までに急激に起こること、SCHÖCH⁸⁾ のモデルから考えて主にデンプン中のアミロペクチンの老化によってより大きく表れると考えられる B 図形のピーク（ 2θ , 17° 付近）の変化が加熱後短時間では比較的少ないことから、パン中のデンプンの加熱による水分蒸発を伴う軟化後の硬化が関与しており、肥後ら³⁾ によって報告されている溶出デンプンのアミロースの結晶化を伴うゾルからゲルへの変化の寄与が大きいと考えられる。

② 初期の急激な硬化以後のある程度ゆるやかなパンの硬化は、パンの物性変化とデンプンゲルのそれが似ていること及び X 線回折によるデンプンの老化ピークの変化から、パン中のデンプン主に、アミロペクチンの結晶化（老化）によると考えられる。そして、X 線回折からデンプンの老化ピークの出現の遅い MW 加熱時間の長いパンがより急激に硬くなる理由は、長い加熱により多くの水分蒸発とデンプンの溶出が起こり、より老化の速い低水分のパンとなる¹¹⁾ と共に、水分含量の少ない多量の溶出したデンプンゲルが一度に老化するためであると考えられる。

③ MW 加熱後の破断力の上昇には、モノグリ無添加のデンプンゲル、グルテンゲルの MW 加熱による破断力の上昇の結果より、デンプン、グルテン両方が同程度関与しており、前者はデンプンの糊化、溶出によってそれが起こり、後者はグルテンネットワークの強化によってそれが起こると考えられる。そして、デンプンについては、モノグリ添加によりその関与をほぼ完全に抑えられるが、グルテンの MW 加熱による破断力上昇はモノグリ添加によっても完全に抑制できない。

このように、MW 加熱によるパンの物性変化現象は

非常に複雑であり、MW 加熱によるデンプンの軟化にともなう糊化、溶出、ゾル化その後の硬化をとまなうゲル化、結晶化（老化）、グルテンネットワークの強化、水分蒸発等の現象が短時間に複雑にからみあって起こるため、現象の解明をむずかしくしてきた。

しかしながら本研究により、パンの軟化と硬化には主にデンプン、破断力の上昇にはデンプン、グルテン両方が関与しており、特に後者については、グルテンの寄与度がかかなり高いことが判ってきた。また、デンプンについては、ゾル化したデンプンのゲル化による硬化とデンプンの結晶化（老化）が同時に進行し、硬化の初期はゲル化による硬化が主で、その後の硬化は結晶化が主であることが判明した。また、デンプンの軟化とその後の硬化、破断力上昇については、モノグリ添加によってほぼ抑制できることが判明した。

本研究では、MW 加熱の対照のパンの物性変化機構の解明を主眼に研究を進めたため、ここで作成した MW 加熱後の物性変化の少ないモノグリ添加パンは、風味、食感等から商品性という意味ではまだ不十分である。この点については、本研究でわかった知見を基に、モノグリ以外の乳化剤、酵素等の素材、パンの製法の検討を通して商品性があり、かつ MW 加熱後の物性変化の少ないパンが開発できると考えている。

要 約

特異な物性変化を示す MW 加熱後のパンについて、水分蒸発や温度変化のない系で保存した場合の物性変化について、モノグリ添加、無添加パン、デンプンゲル、グルテンゲルを用い、パン中の主成分であるデンプン、グルテンの関わりとその物性変化機構について検討した結果、以下のことが判明した。

(1) MW 加熱後短時間の急激なパンの硬化には、水分蒸発をとまなうデンプンの軟化その後の硬化が関係しており、デンプンのゾルからゲルへの変化の寄与が大きい。

(2) 初期の急激な硬化以後の比較的ゆるやかなパンの硬化は、パン中のデンプンの結晶化（老化）によると考えられる。

(3) MW 加熱パンの破断力の上昇には、デンプン、グルテンが同程度関与しており、前者はデンプンの糊化、溶出、ゾル化後の急激なゲル化によって、後者はグルテンネットワークの強化によってそれが起こると考えられる。

本研究における BAP 法による糊化度測定において、多大な協力をいただいた京都府大の萩原滋子講師、北村進一博士に心から感謝致します。また、多くの有益な助言をいただいた鐘淵化学工業(株)久田氏、実験等で協力していただいた当研究部松下嬢に心から感謝致します。

文 献

- 1) 肥後温子・野口 駿・中沢文子・島崎通夫：家政誌, 34, 83 (1983).
- 2) 肥後温子・島崎通夫・野口 駿・中沢文子：家政誌, 34, 474 (1983).
- 3) 肥後温子・野口 駿：日食工誌, 34, 781 (1987).
- 4) 肥後温子・島崎通夫・野口 駿：家政誌, 33, 221 (1982).
- 5) POMERANZ, Y.: *Advances in Food Research*, 20, 153 (1973).
- 6) SCHOCH, T.J. and FRENCH, D.: *Cereal Chem.*, 24, 231 (1947).
- 7) KIM, S.K. and D'APPOLONIA, B.L.: *Cereal Chem.*, 54, 216 (1977).
- 8) SCHOCH, T.J.: 澱粉工誌, 14, 53 (1967).
- 9) 山内宏昭・藤村昌樹・大宅甲三・平川 完・小林 猛：日食工誌, 39, 383 (1992).
- 10) 貝沼圭二・松永暁子・坂川正秀・小林昭一：澱粉科学, 28, 235 (1981).
- 11) ROGERS, D.E., ZELEZNAK, K.J., LAI, C.S. and HOSENEY, R.C.: *Cereal Chem.*, 65, 398 (1988).

(平成4年6月1日受理)