

(Memoirs of the Faculty of Education and Human Studies)
 (Akita University (Natural Science))
 58, 1-8 (2003)

油脂の性状の違いによるパンの組織構造

庄 司 善 哉* 峯 木 眞 知 子*²

Microstructure of breads on addition of the different types of fats and oils

Zenya Shoji* Machiko Mineki*²

Abstract

The effects on addition of three kinds of fats and oils to doughs were investigated with baking quality and microstructure. Fats(H) consisted of hydrogenated fish oil and lard, a mixture(S) of fats and rapeseed oil and rapeseed oil(L) were added to doughs of breads, respectively. Specimens of doughs immediately after mixing, second fermentation and baked of breads were prefixed within 2.5% glutaraldehyde in a 0.05M phosphoric acid buffer (pH 7.4). After rinsed, each specimen was postfixed with 1% osmium tetroxide in the same buffer. Postfixed specimens were dehydrated by an ethanol series and then embedded within Spurr's epoxy resin polymerized at 65°C for 20 hr. After specimens were cut and stained, they were observed by optical and transmission electron microscope.

Breads mixing rapeseed oil had the lower loaf volume than those mixing two solids fats(S and H). The gluten strands in breads mixing rapeseed oil were unextended, and they contained a large number of lipid spheres. Microstructure of other breads were not observed any lipid spheres within the gluten strands.

緒 言

パンを作る材料に用いられる油脂は、パンのテクスチャーに大きく関与する。製パン性に、一番大きな影響を与えるのは小麦粉であるが、油脂はその調理特性である「クリーミング性」¹⁾によって、小麦粉生地に気泡を分散させ、膨化度を上昇させるといわれている²⁾。しかし、小麦粉粒度³⁾や小麦粉中の油脂成分⁴⁾などの違いからパンの機能を検討したものは多いが、油脂の性状の違いおよび固体脂含量の違いによる油脂の機能^{5,7)}についての製パン性の報告は少なく、特に組織構造から検討したものはほとんどない。パンやスポンジケーキに対する卵黄の影響について組織構造から観察した報告は、若干みられるが⁸⁻¹⁰⁾、油脂の機能を検討したものは少ない。著者等はこれまでバターロールの製造過程を追って、その組織変化を観察し、溶媒抽出処理によって油脂の挙動を検討した¹¹⁾。そこで、本研究では、タイプの異なる油脂(固体油脂、液状油)を用いて食パンを調製し、その組

織構造を観察し、食パンの製品の良否および油脂の機能について検討した。

材料および方法

1. 材料および試料

調製したパンの材料および配合を Table 1 に示した。この配合は、食パンの一般的な中種法によるもので、小麦粉(強力粉(日本製粉))、イースト、上白糖、食塩、脱脂粉乳、油脂で構成している。油脂は、強力粉に対して5%使用し、固形油脂は2種類、①菜種白絞油35と固体脂65(豚脂、魚硬化油を含む)の割合で配合した油脂(以下S油脂)、②菜種白絞油60と固体脂45の割合で配合してある油脂(以下H油脂)を用いた。それに③液状油(菜種白絞油、以下L油)の三種類を用い、それぞれの油脂の内訳を Table 2 に示した。対照として、油脂を加えないパン生地も調製した。

製パン方法は、中種法によるもので、混捏および発酵に6時間を取り、焼成は190°C、40分間とした(Fig.1)。

2. 顕微鏡試料の作製

顕微鏡試料は、(A)混捏終了時生地、(B)ホイロ発

*秋田大学教育文化部

*²青葉学園短大食物栄養学科

Table 1. Basic formula of Breads

	Ingredients	Ratio(to flour weight)	Weight(g)
Sponge	Flour(strong)	70	1680
	Yeast	2	56
	Yeast food	0.1	2.4
	Water	42	1008
Dough	Flour(strong)	30	720
	Sugar	5	120
	Salt	1.8	43.2
	Skimmed milk powder	2	56
	Fat and Oil	5	120
	Water	25	600

Table 2. Composition of Fat and Oil

	Combination	Ratio(%)
S:fats and oil	Hydrogenated fish oil(43°C)	10
	Hydrogenated fish oil(36°C)	40
	Lard	15
	Rapeseed oil	35
H:fats and oil	Hydrogenated fish oil(43°C)	40
	Rapeseed oil	60
L:oil	Rapeseed oil	100

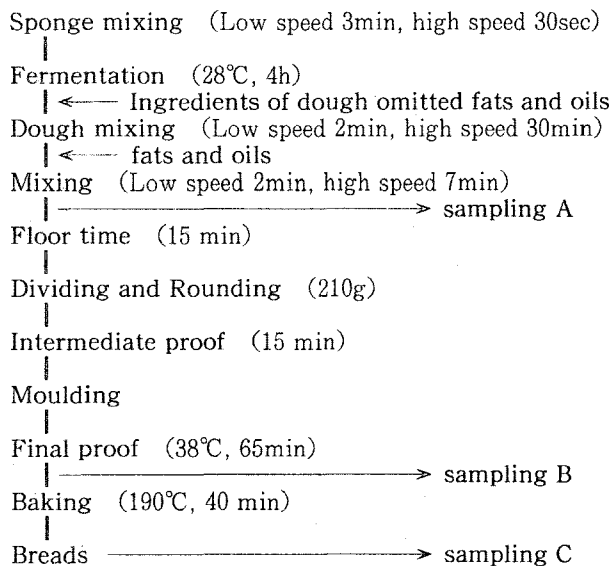


Figure 1. Breadmaking process and sampling times

酵の加熱前生地および (C) 焼成後のパンの 3 点を試料として採取した (Fig.1)。採取した試料をいずれも、5 mm 角に切り出し、2.5% グルタルアルデヒド溶液・0.1M リン酸緩衝液 (pH7.4) に 5°C、2 時間の固定を行った。その後洗浄し、1% オスミウム酸で 5°C、2 時間の後固定を行った。これらをエタノール系列にて脱水した¹⁵⁾。

3. 顕微鏡観察

いずれの試料について、走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡、光学顕微鏡による観察を行った。

走査型電子顕微鏡 (SEM) は脱水後の試料を臨界点乾燥し、割断後試料台に取り付け、金をイオンコーティングした。走査型電子顕微鏡は、加速電圧 10KV で日立 S-430、あるいは、S-4000 型顕微鏡を用いて観察した。

透過型電子顕微鏡 (TEM) は、脱水処理後 Spurr¹⁶⁾ による低粘性エポキシ樹脂に包埋し、60nm の超薄切片にしたものを酢酸ウラニル・鉛¹⁷⁾ の二重染色を施し、日本電子 HU-12A、加速電圧 75KV で鏡検した。

光学顕微鏡は、TEM 試料を 1 μm の厚切り切片にし、トロイジンブルー染色を行って観察した。

4. 油脂の融点・固体脂含量 (SFC) の測定

用いた固体脂 (S,H 油脂) の融点および固体脂含量は、基準油脂分析試験法に従って測定した¹⁸⁾。

実験結果および考察

1. 製パン性

三種類の油脂を用いたパンの出来上がりを Fig.2 に示した。固体脂の多い S 油脂を使用したパンのローフボリュームが一番良く、H 油脂を用いたものはそれより幾分小さく、L 油を用いたパンが、一番悪かった。筒井⁵⁾ は、菜種白絞油などの液状油および菜種硬化油、魚

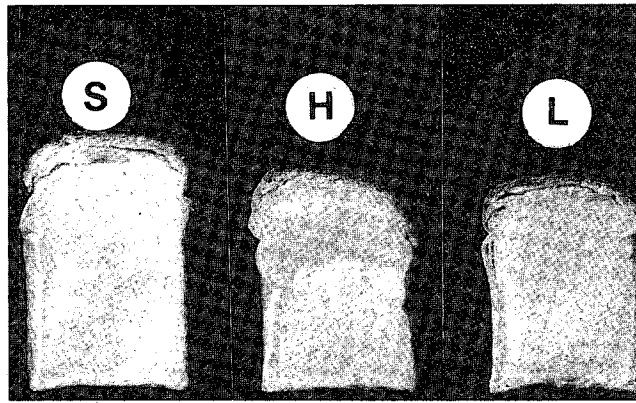


Figure 2. Effect of added fat and oil on loaf volume.
Loaf at left- S fat and oil; loaf in center- H fat and oil; loaf at right- L oil.

Table 3. Melting point and Solid fat content

Fat and oil	Melting Point (°C)	Solid fat content				
		15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
S:fats and oil	33	22.6	17.3	12.0	9.4	6.9
H:fats and oil	34	19.5	17.3	15.0	13.0	8.9
L:oil	-	0	0	0	0	0

硬化油など7種の油脂を添加したパンについて、その製パン試験を行っており、液状油、ショートニングオイルを用いたパンはパン生地 of 進展性が悪く、パンのローフボリュームが悪いことを報告している。また、新原[®]やKnightly[®]ら⁷⁾もサラダ油に比べて、固形油脂（ショートニング、バターなど）を用いたパンは、すだちがよく、柔らかく、焼きあがりの体積が良いことを報告している。本研究で用いたL油脂は菜種白絞油であり、製パン性については同様の結果であった。また、筒井は魚硬化油二種（融点43°C、30°C）について、融点の高い方が良好なパンが得られるとしているが、S油脂には、二種の魚硬化油が含まれ、H油脂は融点の高い魚硬化油のみが使われ、いずれも配合加工が施されているので、筒井の結果とは異なると考えた。

2. 油脂の融点・固体脂含量

用いた油脂の特数値（融点・固体脂含量）をTable 3に示した。配合された二種のS・H油脂は融点も違いが少なく、固体脂含量もほとんど違わなかった。

3. 組織観察

1) 光学顕微鏡

各種の油脂を使用した生地およびパンの光学顕微鏡像をFig.3に示した。

混捏直後の生地をみると（Fig.3-SA,HA,LA），S油脂入り生地およびH油脂入り生地には、濃染した球形物質（油滴、脂肪）が大小あり、8 μm程度の大きな脂肪は散在し、小さな3 μm程度の小さな油滴は小麦

デンプンに付着して多数観察された。それに対して、L油脂入りの生地には、3 μm程度の小さな油滴が非常に多くして存在していた。この油滴はグルテンに付着したものや、間質部分の分散したものが多かった。S油脂入り生地には、他の生地にはない大きな気泡（ac）が観察された。越智[®]はスポンジケーキの生地をクライオSEMで観察しているが、魚硬化油を添加した生地の気泡は、サラダ油添加したものより大きな気泡がみられ、魚硬化油添加によって、気泡の合一がおきたことを示唆している。従って、同じ魚硬化油が主体のH油脂入り生地ではこのような明瞭な気泡はみられないが、S油脂添加では、魚硬化油の影響で、気泡が合一してこの気泡が観察されたと考える。濃染した繊維状構造物は、グルテンストランドであるが、S油脂入りの生地では、細く分散しており、L油脂では、油滴を伴って細長く連続している。

第二次発酵後の生地をみると（Fig.3-SB,HB,LB），グルテンの層状化がみられる。S油脂使用では、グルテンの網状構造は細長く連続してよく発達し、グルテンの網目が小麦の大デンプン粒をよく取り囲んでいる。それに対して、L油脂使用では、大デンプン粒の集合がみられ、それをグルテンの網目が囲む状態であった。S油脂およびH油脂使用生地中の油滴は、混捏直後生地のものと比較して融合して幾分大きいものあるいは同程度の大きさのものが観察されたが、L油脂の油滴にはあまり変化がなかった。

焼成後のパンの構造をみると（Fig.3-SC,HC,LC），い

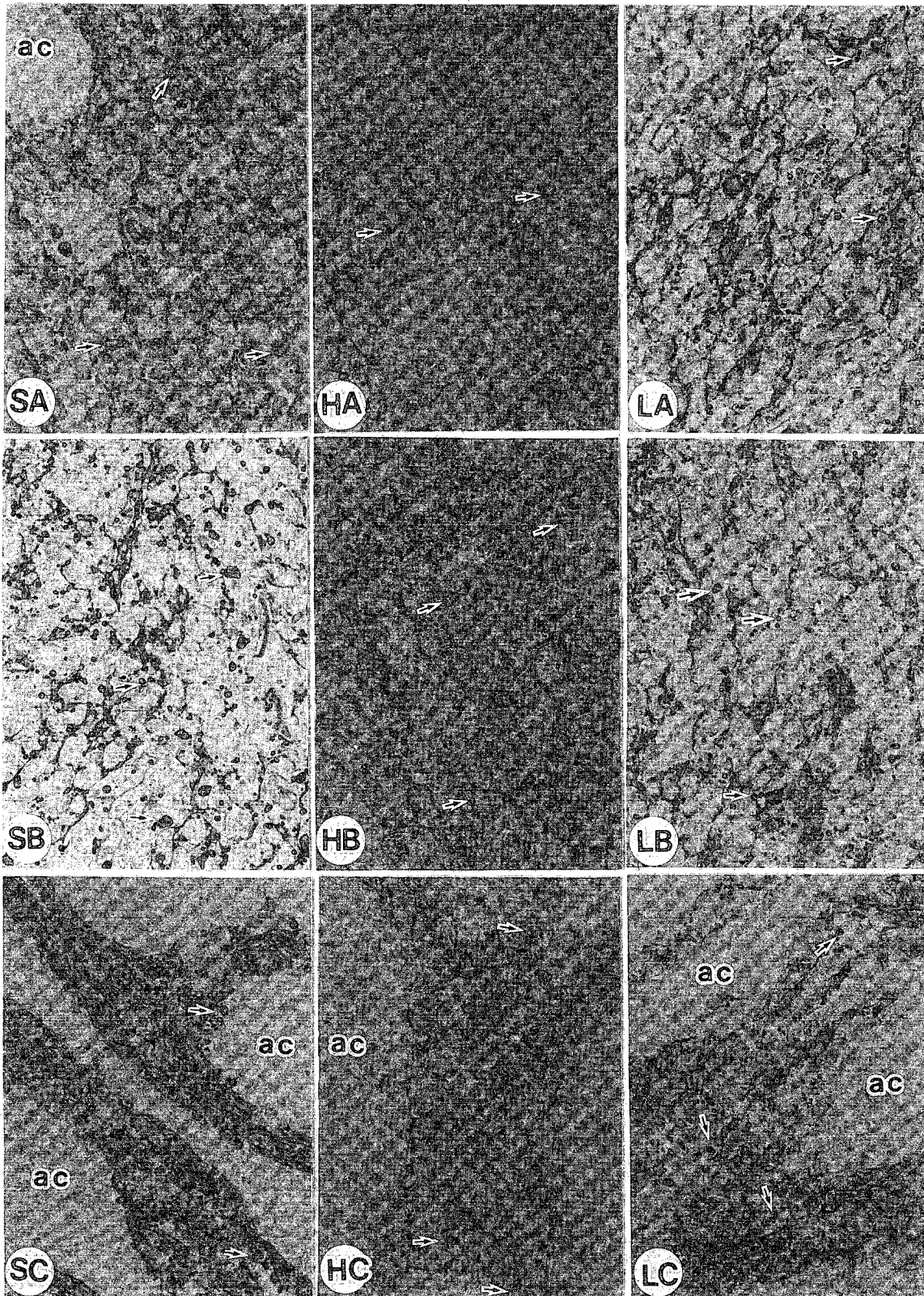


Figure 3. Photomicrographs ($\times 320$) of doughs and breads on addition of S fats and oil ; H fat and oil ; L oil.
 The sections were stained with toluidine blue to demonstrate lipids and gluten. Doughs immediately after mixing, doughs after final proof and breads were indicated A, B and C, respectively. Areas marked "ac" are air cells. Wheat starch granules were stained light-blue and glutenstrands were stained deep blue. Additive fats and oils were indicated arrows.

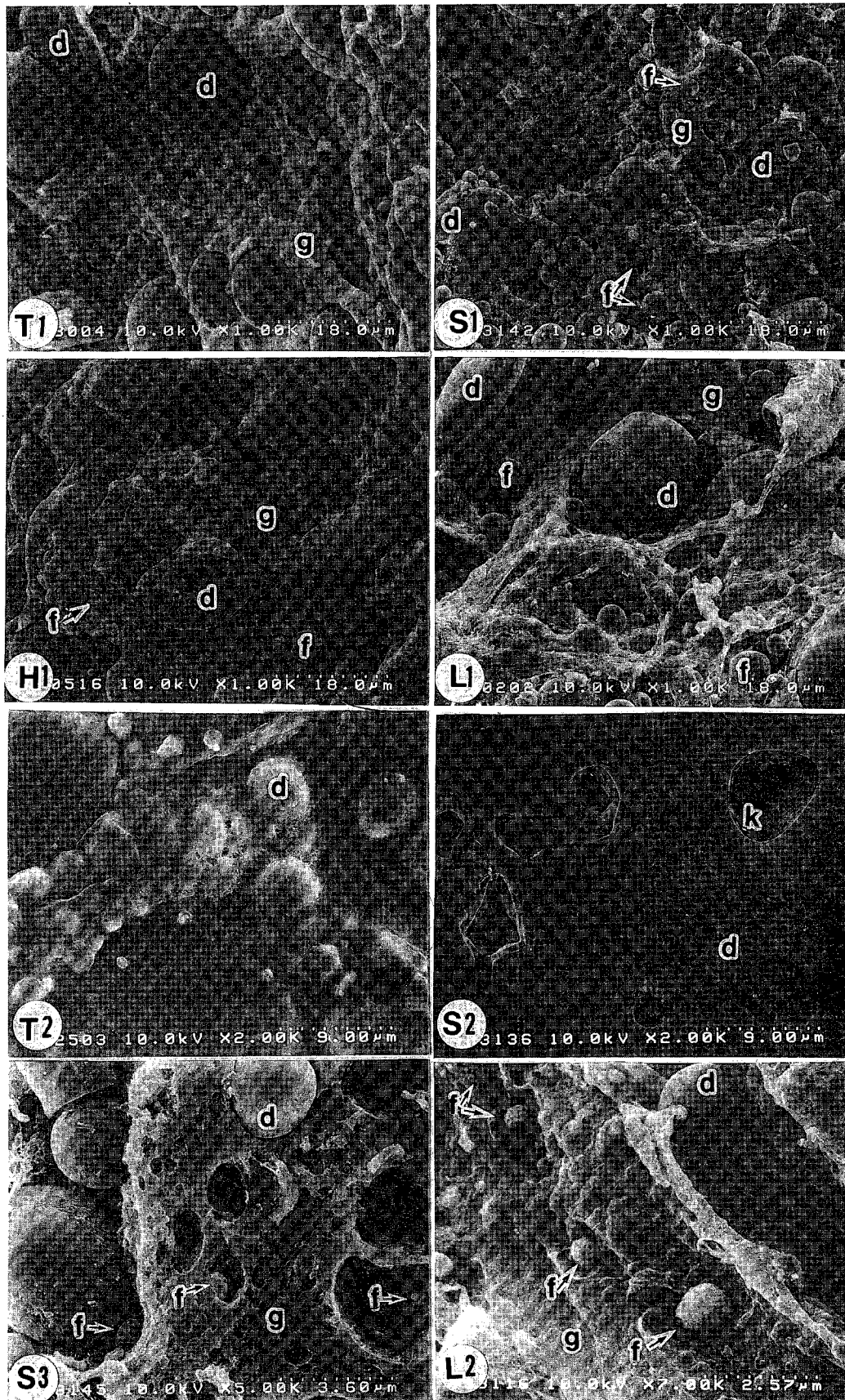


Figure 4. Scanning electron micrographs of doughs immediately after mixing on addition of S fats and oil ; H fat and oil ; L oil. Dough(T1, T2) of no lipid added were observed no gluten membranes on starch granules. Gas cell with bread of S lipid added(S2) were shown smooth surface, however that of no lipid added (T2) appeared rough. Highly magnified SEM of the gluten strands (L2, S3) were expressed in different outlook. d, starch ; f, lipids ; g, gluten strand ; k, vacant space.

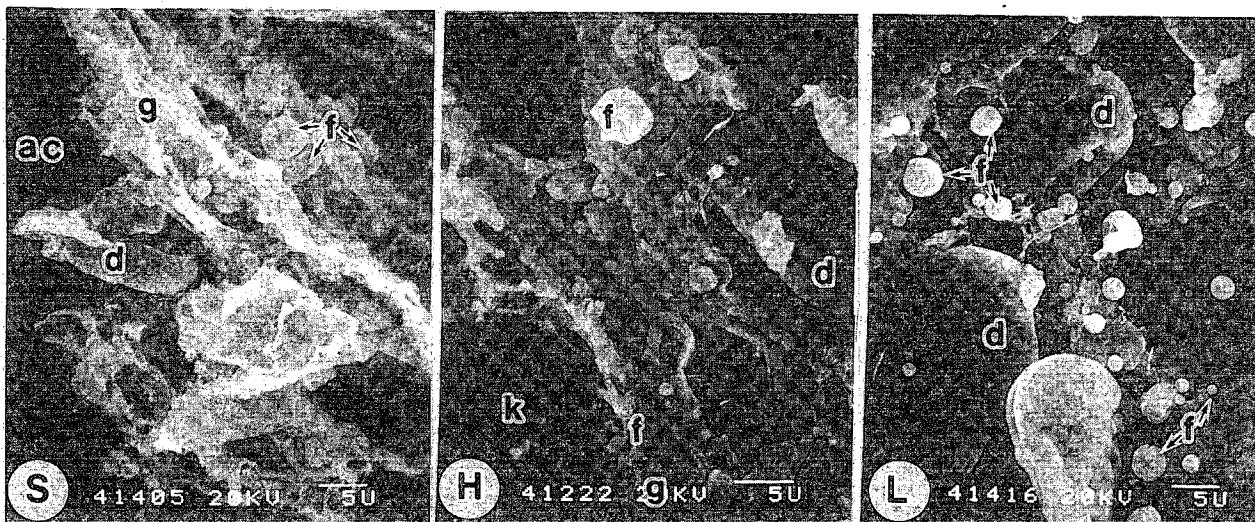


Figure 5. Scanning electron micrographs of breads on addition of S fats and oil ($\times 1200$); H fat and oil ($\times 1600$); L oil ($\times 1200$). ac, air cell; d, starch; f, lipids; g, gluten strand; k, vacant space.

ずれも大デンプン粒は糊化・変形し、油滴は微細化した¹²⁾。S油脂使用ではその間質としてグルテンストランドが一様な染色度合いを示し、所々に巻き込まれた様に大きな油滴が付着していた。H・L油脂使用のパンでは、グルテンの網状構造の間質部分が多く、特にローフボリュームが悪いL油脂使用では、混捏時に見られた小油滴はグルテンストランドに多数付着した状態を示した。著者らは^{11,12)}、バターロールにおいて生地熟成により、油脂の微細化が生じ、焼成することにより、油滴状の脂肪が消失し、グルテンストランドの脂肪染色性に変化がみられたことを報告している。L油脂のような植物性の油を使用した場合は、報告したような組織構造の変化の様相がみられなかった。固体脂を含むSおよびH油脂では、バターロール（すなはち、バター）の場合と類似した変化を示した。また、S油脂使用パンでは、球形あるいは楕円形の気泡が観察され、気泡面はシャープである。それに対して、H油脂使用では、楕円形の気泡が観察され、断面はなめらかでない部分が観察された。L油脂使用では、気泡の断面は凹凸が多く、明瞭な球形または楕円形をしていない。川染ら¹⁰⁾は、良好なスポンジケーキは気泡の形状がほぼ球形でその断面はなめらかであることを示唆している。ローフボリュームの良いS油脂入りのパンで、球形の気泡がみえることは、パンにおいても同様のことがいえ、構造からみても、S油脂が製パン性に優れ、H油脂 > L油脂の順に悪いことがわかった。

2) 走査型顕微鏡

混捏直後の生地（ドウ）を、油脂を加えない生地の試料も加えて観察した（Fig.4）。

油脂無添加の生地でも、小麦粉中の小さな脂肪は観察

され（Fig.4-T1）、ガスセル面をみると、小デンプン粒を覆っているグルテン膜が破けた状態である（Fig.4-T2）。これは、既に著書らが推察したように、ガスセル面のグルテン膜には脂肪が関与して強化することを報告している^{13,14)}。S油脂入りの生地のガスセル面は平滑であり（Fig.4-S2）、油脂のグルテン膜強化に対する影響は明瞭であった。HやS油脂のような高可塑性油脂を用いた混捏直後の生地では、グルテンの網目構造が太い樹幹から細い枝が出るように連続して、種々の形の空間ができ、内部に小デンプン粒を絡みこんだ状態であった（Fig.4-H1,S1,S3）。また、この空所のグルテンストランドに径 $6\mu\text{m}$ の脂肪球が付着していた。グルテンストランドには、小孔があり、小顆粒が付着していた。液状油であるL油使用の生地では、混捏直後のグルテンストランドは束状になって、枝分かれが異方向に出ているのが多い。混捏時において、生地の伸展性が悪いのは、比較的同一方向に網目構造が出来ているためと考えた（Fig.4-L1,L2）。そのグルテンストランドの表面に、 $0.6\sim 1.2\mu$ の脂肪球とさらに小さな微細な脂肪球が付着していた。

焼成したパンでは（Fig.5）、光学顕微鏡観察と同様に、デンプン粒の糊化・変形がみられ、L油脂使用パンでは、直径 $2.5\mu\text{m}$ の大きな脂肪球、小さなものでは $0.5\mu\text{m}$ の脂肪球がグルテンやデンプン粒の表面に多数分布していた（Fig.5-L）。SおよびH油脂使用パンでは、L油脂にみられた球状の大きな油脂は数少なく、それら脂肪球は幾分変形していた（Fig.5-S,H）。

3) 透過型電子顕微鏡

SおよびL油脂使用の生地およびパンの透過型電子顕微鏡像をFig.6に示した。

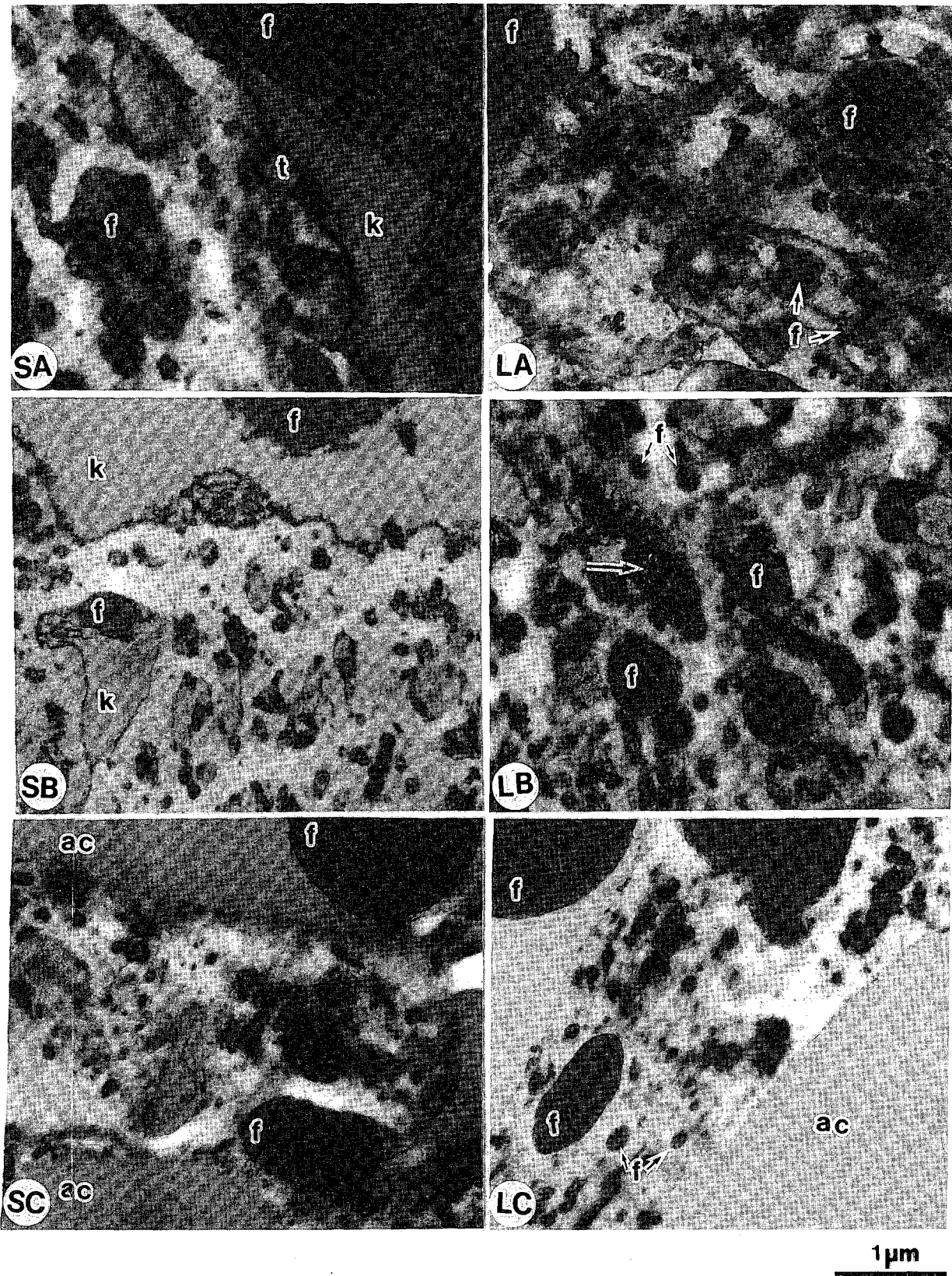


Figure 6. Transmission electron micrographs ($\times 20000$) of doughs and breads on addition of S fats and oil ; L oil. Doughs immediately after mixing doughs, after final proof and breads were indicated A, B and C, respectively. ac, air cell ; d, starch ; f, lipids ; g, gluten strand ; k, vacant space ; cell wall (arrow).

S油脂使用では、グルテンストランドの外周部は内部に陥没し、その内部に電子密度の高い無構造物や電子密度の中等度の脂肪滴が観察された (Fig.6-SA)。グルテンに付着した大きな脂肪球 (f) の周囲は膜状構造をなしており、合成油脂であることから、もともとの油脂の形状であると考えられる。第二発酵後はグルテンストランドの外周は粗面を示し、その内部に電子密度の高い小さな無構造物が多数観察され、小さな空所があった (Fig.6-SB)。その粗面のグルテンストランドの陥入した部分に1 μ m程度の油脂が挟まれていた。混捏直後で見られた脂肪球の周囲の膜状構造は、この時点では、脂肪球と分離し、収縮していた。焼成したパンでは、グルテンストランドの外周は平滑になり、脂肪滴が外部に付着していた (Fig.6-SC)。走査型電子顕微鏡で観察したように、脂肪球は明瞭な球形ではなかった。

L油脂使用の生地では、グルテンストランド表面に0.1~1.0 μ m程度の脂肪球が多数付着していたが、グルテンストランド内部には、0.1~0.5 μ mの球状の臨界膜を有しない脂肪滴が多数分布していた (Fig.6-LA, LB)。固体脂のSおよびH油脂使用の生地のグルテンストランド内部には、このような脂肪滴は観察されていなかった。第二次発酵生地の写真 (Fig.6-LB) の中央には、小麦の胚の部位からの混入物と思われるCell wallが認められた (矢印)。繊維状から構成されているのが外層で電子密度の低い部分が内層であるが、他の試料でも観察された。焼成したパンでは、陥入した不連続なグルテンストランドの外周とその周囲の電子密度の高い無構造物質が融合している状態を示した。また、グルテンストランドの外周の平滑な面に付着した大型の脂肪滴が観察された (Fig.6-LC)。

要 約

菜種白絞油および魚硬化油から配合した固体脂二種および液状油である菜種白絞油を用いて、種類の違う油脂を使用した場合の食パンについて、製パン性を調べ、混捏直後、第二発酵後の生地、焼成後のパンの組織構造観察 (光学顕微鏡、電子顕微鏡) を行い、油脂の機能について検討した。

- 1) 固体脂を用いたパンは、液状油を用いたパンより、ローフボリュームが良く、良好な製品であった。
- 2) 菜種白絞油を用いた生地およびパンの組織構造は、グルテンストランド内外に大小種々の脂肪滴が存在した。これは、固体脂を含んだ油脂を使用した生地およ

びパンには観察されない組織構造であった。

- 3) 菜種白絞油を用いた生地の伸展性が悪いのは、グルテンストランド内に脂肪滴が混入することによるものと推測された。

謝 辞

本研究を行うに当たり、試料をご提供いただきました (株)日本油脂の松末氏に深謝いたします。また、この研究には、財団法人食品科学振興財団より研究助成を受けました。厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 下村道子, 和田淑子: 改訂調理学, 光生館, p.160(1998)
- 2) O.Leissner: Cereal Chemistry, **65**(3), 202-207(1988)
- 3) 武田紀久子: 家政誌, **43**, 1023-1026(1992)
- 4) 四宮陽子: 食品科学財団講演集, pp.70-72(1991)
- 5) 筒井知己: 日本食品工業学会誌, **36**, 712-719 (1989)
- 6) 新原立子: 高知大学教育学部研究報告第3部, 第45号, 19-25 (1993)
- 7) W.H.Knightly, ICI Americas Inc., Speciality Chemicals Division, Wilmington, DE: Cereal Chemistry, **58**, 171-174 (1981)
- 8) 野並慶宣, 齊藤信, 鹿野恭司, 茂出木文男, 鈴木敦士: 日本食品工業学会誌, **31**, 570-576 (1984)
- 9) 越智知子, 木村利昭, 相良康重: 家政誌, **42**, 347-354 (1991)
- 10) 川染節江, 田村咲江, 中尾亜里子, 山野善正: 家政誌, **40**, 279-285(1989)
- 11) 峯木真知子, 庄司善哉: 家政誌, **31**, 648-652 (1980)
- 12) 庄司善哉, 峯木真知子: 家政誌, **37**, 425-430 (1986)
- 13) 庄司善哉, 峯木真知子: 秋田大学教育学部研究紀要(自然科学)**45**, 31-37(1993)
- 14) 庄司善哉, 峯木真知子: 秋田大学教育学部研究紀要(自然科学)**50**, 125-132(1996)
- 15) 小川宣子, 峯木真知子: 日本調理科学誌, **32**, 317-322(1999)
- 16) Kushida, H: Journal of Japanese Electron Microscopy, **10**, 51-58 (1975)
- 17) Sato, T: Journal of Japanese Electron Microscopy, **17**, 158-159 (1968)
- 18) 日本油化学協会: 基準油脂分析試験法, 東京, 4.3.2.2-81 (1986)