食パンの容積と微細構造に対する卵黄の影響

野並慶宣*・斉藤 信**・鹿野恭司*
茂出木文男***・鈴木敦士*

Effects of Chicken Egg Yolk on the Ultrastructure and
Loaf Volume of White Bread

Yoshinobu NONAMI*, Makoto SAITO**, Kyoji SHIKANO*,
Fumio MOTEGI*** and Atsushi SUZUKI*

* Laboratory of Biochemistry and Technology of Animal Products, University
of Niigata, 8050, Igarashininocho, Niigata, 950-21

** Electron Microscopic Laboratory, University of Niigata, 1-757, Asahimachidori,
Niigata, 951

*** Laboratory of Tsukishima Foods Industry Co. Ltd., 3-17-9, Higashikasai,
Edogawa-ku, Tokyo, 134

Yolk, a mixture of yolk plasma and granule, and yolk plasma did not increase the volume of fermented dough when added to dough at the level of 3% of flour weight, however, these ingredients, especially plasma, increased specific volume of breads. Egg albumen or whole egg, added to dough at the same level as above, did not affect dough fermentation, however, oven spring of these doughs was depressed. Transmission electron microscopic observation of breads, sampled at the center of loaves, showed that yolk plasma formed membranous structure in protein matrix and also around starch and yeast and the membrane might improve extensibility and/or gas-retaining property of dough during baking and increase loaf volume. The protein matrix of bread with yolk or yolk plasma contained inclusions type II of wheat endosperm less than those of control bread. The membranes might be formed by interaction between yolk lipoproteins and flour components, and/or between proteins and lipid-rich inclusions type II. Protein matrix of bread with albumen was discontinuous and was often separated away from starch granules or gelatinized starch and consequently void spaces were observed around starch. The matrix and gelatinized starch contained more electron dense particles than those in control bread. Some of the particles might be condensed proteins of albumen. The ultrastructure of the matrix might decrease extensibility of the dough with albumen and make bread of poor volume.

(Received Nov. 26, 1983)

卵は昔から製パン用補助材料といわれ、当時からフルーツパンなど一部の菓子パンに用いられている¹⁾²⁾。卵はパン、ケーキなどの容積を増大させる効果があり、この効果は卵黄のレシチンによるもので、さらに卵黄脂質あるいは卵白もグルテンに作用して容積を増大させ、パンの組織、貯蔵性を良好にすると古くからいわれてい

た²⁾。製パン工程におけるドウの膨張に関しては、ミキシング、はいろ、焼成等の各工程につき多数の科学的研究が昔から行なわれ、パンの容積、組織、風味等を向上させる操作法、添加物等に関する技術的検討も多く行なわれている³⁾。

従来パンには全卵が一般に用いられていたが、全卵が

* 新潟大学畜産製造学教室 (〒 950-21 新潟市五十嵐二ノ町 8050)

** 新潟大学電子顕微鏡研究室 (〒 951 新潟市旭町通 1-757)

*** 月島食品工業 (株) 研究室 (〒 134 東京都江戸川区東葛西 3-17-9)

上記のようなパンの品質向上の効果を示す機構は明らかにされていない。スポンジケーキに後述の本研究に用いたような卵黄プラズマを用いるとプラズマは110℃以上の加熱で卵黄より不安定となり、ケーキの焼成後の容積は卵黄を用いた場合よりはるかに小さくなる。これはプラズマより遊離した脂質がケーキのマトリックス中に分散するためであらうが、その機構は不明であるとされている⁴⁾。

著者らは各種乳化剤のパンの容積その他の品質に対する影響を検討してきた過程において、優良な乳化剤として古くから一般に認められている卵黄が、中種法による食パンのオープンスプリングを明らかに大とすることを

知ったので、この機構を明らかにするため、卵黄および後述のその他卵成分を添加した食パンの品質並びに透過型電子顕微鏡による微細構造を検討した。

実験方法

1. 製パン原料

卵は市販の新鮮鶏卵で、卵黄、卵白は常法により分離し、全卵はカラザおよび卵黄膜を除去することなく混合し、ミキサーにより均一化した。供試卵の卵白 pH は 8.94~9.20 であった。卵黄のプラズマ、グラニュールは卵黄を 5℃ において 77,000×G で 16 時間遠心分離して沈でんした部分をグラニュール、液層およびその表層に

Table 1 Composition of yolk granule and plasma

	Yield of wet material* (Per cent of fresh yolk)	Composition of freeze-dried material (%)		
		Moisture	Protein**	Lipid***
Granule	28.3	2.32	48.13	46.95
Plasma	57.3	1.56	22.56	76.43

* Interphase was discarded.

** Protein=N×6.25.

*** Lipid was extracted with methanol-chloroform (1:1).

Table 2 Constituents and processing conditions for breads

Formula I* (added with egg)		Formula II* (added with emulsifiers)		Processing conditions	
<u>Sponge</u>		<u>Sponge</u>			
Bread flour	70	Bread flour	70	Sponge mixing time	3 min (low), 1 min (2nd)
Yeast	2	Yeast	2.2	Sponge temperature	24°~25°C.
Yeast food	0.1	Yeast food	0.1	Fermentation time	4 h.
Water	40	Water	40	Temperature 28°C., Humidity 75%	
<u>Dough</u>		<u>Dough</u>			
Bread flour	30	Bread flour	30	Dough mixing time	2 min (low), 4 min (2nd)
Sugar	5	Sugar	6	Dough temperature	26°~27.5°C.
Salt	2	Salt	2	Floor time	50 min
Skim milk	2	Skim milk	2	Scaling weight	400 g
Shortening	5	Fat (contains emulsifiers, 5%)	6	Proofing time	15 min
Water	24	Water	23	Temperature 38°C., Humidity 80%	
Egg components as required				Baking time	20 min (215°C)

* Per cent, based on flour

分離浮上した部分を併せてプラズマとし、グラニールの表層にある流動性ある沈では中間層として棄却した。分離直後のグラニール、プラズマの卵黄に対する収量およびこれらを凍結乾燥したものの水分、粗蛋白質、脂質の含量を Table 1 に示す。水分は常法により、粗蛋白質はケルダール法により、脂質はメタノール・クロロホルム (1:1) 混液で抽出し重量法により測定した。

卵以外の原料はいずれも製パン用市販品で、小麦粉の蛋白質含量は 12% であった。

2. 製パン法

原料配合および操作法は Table 2 に示す通りで、70% 中種法により 2 kg 仕込みとし、ミキサーはたて型ミキサーを用いた。卵黄、卵白、全卵は小麦粉に対し 3% 添加し、プラズマの添加量は 3 あるいは 1.8% とした。プラズマは卵黄の約 60% であるから、卵黄を 3% 添加した場合に相当するプラズマ添加量を 1.8% とした。プラズマ、グラニールは卵黄中の含有量の割合 60:30 と同一割合に両者を混合し、この混合物を小麦粉の 3% 添加した。

3. ドウ膨張量およびパンの品質の測定法

ドウ膨張量は 100 g のドウをメスシリンダーにとり、ドウの上表面をそろえ、38°C、相対湿度 80% において測定した。パンの比容積、焼減率の測定および品質の評価は国内の公定法⁵⁾ および業界において標準的品質判定法とされている試験法⁶⁾ に準じ、著者らが常時行なっている方法により行なった。

4. パンの微細構造の観察法

ワンローフの中心部より約 0.1 g 採取した試料を既報の方法⁷⁾ により脱水、固定、包埋、染色し、日立 H-300 型電顕 (75 KV) により観察した。

結果および考察

1. ドウ膨張量およびパンの品質

ドウ膨張量は Fig. 1 に示す通り、卵成分を含むドウはこれを含まない対照より 120 分後の膨張量は僅かながら大であるが 180 分後の膨張量には大差がない。

パンの比容積、焼減率を Table 3 に、パンの外観、内相、味覚についての審査採点結果を Table 4 に示す。卵黄あるいはプラズマを小麦粉の 3% 添加したパンの比容積は、Table 3 に示されているように他のいずれのパンのそれより大である。3% の卵黄中のプラズマに相当する量、すなわち 1.8% のプラズマを添加した場合の比容積も卵黄あるいはプラズマを 3% 添加した場合のそれと同様である。分離したプラズマとグラニールを、卵黄

Fig. 1 Volume of ripening dough, added with egg components

Dough weight: 100 g; temperature: 38°C; humidity: 80%

中におけるこれらの含有比率に従い混合し、添加した場合の比容積は、卵黄あるいはプラズマの場合のそれに及ばなかった。これらの結果より、パンの比容積を増大する卵黄の作用はプラズマによる所が大きいと推察される。全卵添加の場合は卵白添加の場合と同様に比容積が小さかったことより、卵白はパンの比容積を小さくするものと推察される。

モノグリセリド、コハク酸モノグリセリドは、本研究で用いた製パン法においては比容積を大きくする効果はない。ドウに電流を通し焼成する製パン法⁸⁾ においてもモノグリセリドはパンの比容積を大とする効果は小さいとされている⁹⁾。

Fig. 1 によればプラズマによるドウの膨張量は他のものと大差がないにもかかわらず、プラズマはパンの比容積を大とするから、プラズマは焼成中のドウの膨張停止をおくらせ、あるいはパン内に気泡を保持させる作用があることは明らかである。このことは前述のスポンジケーキの場合⁴⁾ とは相反するものであるが、これは分離したプラズマの成分組成の差等によるものではなく、パンとケーキではプラズマが関与するドウ中の気泡の形成、保持の機構が異なることによるものである。

一般に焼減率は比容積とともに増大するといわれている。本研究の結果では卵成分添加の場合の焼減率はいずれも対照より大であるが、卵白と卵黄あるいはプラズマとの間では焼減率の差はない。

Table 4 によれば比容積の大きいプラズマ添加パンは、内相の触感も良好で、全卵添加パンは比容積は小さいが内相の触感は良好である。卵黄あるいはプラズマを添加したパンは、かすかに卵黄の香味と黄色を呈するが、Table 4 による総合的品質は対照並びに全卵あるいは卵白を添加したものより良好である。

Table 3 Specific volume and weight loss in oven of breads

Sample No.	Additive*	Specific volume (ml/g)	Weight loss in oven (%)
1	None (control for formula I)	5.1	11.8
2	Fresh yolk	5.5	12.2
3	Fresh albumen	5.2	12.2
4	Fresh whole egg	5.2	12.0
5	Yolk plasma	5.6	12.2
6	Yolk plasma**	5.6	—
7	Yolk plasma and granule***	5.4	12.0
8	None (control for formula II)	5.0	—
9	SMG (succinylated monoglyceride)	5.0	—
10	MG (monoglyceride)	4.9	—
11	SMG+MG****	5.1	—

* Contents of egg components, except the sample No. 6, are 3% of flour; those of emulsifiers are shown in Table 2.

** Contents of plasma are 1.8% of flour, that corresponds to plasma contents in yolk of 3%, as plasma is 60% of fresh yolk.

*** The ratio of plasma and granule is 60:30.

**** 2.5% each in fat
(weight loss in oven=(wt. of dough—wt. of loaf)/wt. of dough)

Table 4 Score sheet

Sample No.*	Specific volume	Outer features			Inner features			Flavor and eating qualities			Total
		General appearance	Color and character of crust	Bloom	Color of crumb	Texture	Softness and elasticity of crumb	Flavor	Taste	Mouthfeel	
Maximum	10	10	5	10	10	10	15	5	15	10	100
1	5	6	3	7	8	7	8	3	10	6	63
2	8	8	4	9	7	7	10	4	11	7	75
3	6	7	3	7	8	7	9	3	11	7	68
4	6	6	3	7	7	7	11	3	11	7	68
5	10	9	3	8	7	7	12	4	12	9	81
7	7	8	4	9	7	7	9	4	12	8	75

* Sample No. is the same as in Table 3.

2. パンの微細構造

卵黄あるいは卵黄プラズマがパンの容積を増大し卵白がこれを小さくする機構を解明する一手段として、パンの微細構造を透過型顕微鏡で観察した結果を Fig. 2 に示す。

す。

パンの構造は小麦の胚乳、各種小麦粉、加水しミキシングした小麦粉、製パン用各種原料を配合調製したドウの構造とともに古くから多くの研究が行なわれている

Fig. 2 Transmission electron microscopic analysis of breads ($\times 4000$)

Starch granule (s), gelatinized starch (gs), yeast (y) and irregular or spherical osmophilic inclusions (type I or II) are observed in protein matrix (p). (A): control; some (s), (gs) and (y) are enclosed in void spaces; no characteristic structure is found in the spaces. (B): albumen was added; many (s) and (gs) are enclosed in void spaces; (p) is often broken; inclusions are more than those in control, (A), and some of them are observed in (s) and (gs). (C): yolk plasma was added; note connections, may be membrane (m), between (p) and (gs) or (y); inclusions are less than those in control, (A).

が^{10)~15)}, 卵成分を添加したパンの構造は知られていないようである。

Fig. 2 において卵成分を含まない対照 (A), 卵白を添加したもの (B), プラズマを添加したもの (C) のいずれにおいても, 従来発表されていた電顕図^{10)~15)}上で認められた蛋白質マトリックス (p), 酵母 (y) および電顕

図上の形状から推定して糊化が比較的進んだでん粉粒 (gs) とそれ以外のでん粉粒 (s) が認められ, また電子密度の高い不定形の粒子並びに比較的小さい球形の粒子が主としてマトリックス中に分散しているのが認められる。これら電子密度の高い粒子は小麦胚乳中にもみられる細胞内器官および膜の残留物で, 不定形および球形粒子はそれぞれリポ蛋白質および遊離脂質含量の高いものとされ, 不定形, 球形の粒子は SIMONDS によりそれぞれ含有物 (inclusion) I 型, II 型と区別されている¹¹⁾¹³⁾。小麦粉の蛋白質とでん粉との相互作用は製パン工程においてドウあるいはパンの組織, 品質を左右するものとして重視され, この相互作用により生じた組織は製パン工程, あるいは脱水, 固定などの検鏡用試料作成の過程において変化する¹³⁾¹⁵⁾。

Fig. 2 によれば卵成分を加えない対照 (A) においては (s) および (gs) と (p) との境界に空隙が認められる場合もあるが, 一般にこの境界に特定な組織は認められない。卵白添加の場合 (B), (s) あるいは (gs) と (p) との境界に空隙があり, (p) は不連続で, (p) および (gs) は対照 (A) より多くの電子密度の高い粒子を含み, これら粒子は上記の含有物 I, II 以外に卵白蛋白質がパンの焼成中に凝集して生じたものと推定される。

電顕図における (p) と (s) あるいは (gs) との間の空隙は小麦胚乳, ドウ, パンにおいてみられ, これが生成される要因は種々あるとされているが¹⁰⁾¹⁵⁾, パンの場合は焼成中の (p) の収縮によるものと考えられる。プラズマ添加の場合 (C) は (p) と (s) あるいは (gs) との境界が空隙となっていることもあるが, この境界に (p) と (s) あるいは (gs) とを接続する膜と推定される物質 (m) が認められることが多く, 同様のものは酵母 (y) の周辺にもみられる。

蛋白質マトリックスとでん粉などの成分との境界を高倍率で観察した Fig. 3 によると, 対照 (A) においては (p) は一部で不連続となり, (p) と (gs) あるいはショートニング (sh) との境界は不鮮明な部分が多い。卵白添加の場合 (B) は, (p) は各所で断絶して連続せず, (p) と (gs) あるいは (sh) とは完全に離れている部分が多く, (p) 中の電子密度の高い粒子は (A) より多い。卵黄, グラニユールとプラズマ, あるいはプラズマを添加した場合 (C, D あるいは E) は, (p) は連続し, (p) 中の電子密度の高い粒子, 特に含有物 II は (A) より少なく, (p) と (s) あるいは (gs) との間に膜と推定される連続した無構造の組織 (m) がみられる場合が多い。この組織は (C) よりも (D) において広範囲にみられ

Fig. 3 Highly magnified protein-gelatinized starch interface ($\times 10\,000$)

(A): control; protein matrix (p) is partially discontinuous; the boundary line between (p) and gelatinized starch (gs) or shortening (sh) is dim. (B): albumen was added; (p) is almost discontinuous; void spaces are observed between (p) and (gs) or (sh); size and number of inclusions are larger than those in control, (A). (C): yolk was added; membrane (m) is observed in some parts of (p)-(gs) interface. (D): mixture of yolk plasma and granule was added; the same membrane as that in (C) is observed. (E): yolk plasma was added; (m) is distributed widely; multilayer structure is occasionally observed in (p).

(E) においてはさらに広く分布している。また (E) においては (p) 中に多層構造の部分が認められる。

パンの容積を減少させる製パン材料としては高蛋白質油料作物種子あるいはこれらの蛋白質がよく知られているが、この減少の機構は明らかにされていない^{16)~18)}。卵白添加の場合は、Fig. 2 および 3 の観察結果より、卵白蛋白質はミキシング中にでん粉粒と共に小麦蛋白質マトリックス中に分散し、焼成中に電子密度の高い凝集体となる。このようなマトリックスは焼成中の伸展性が乏しく焼成によりちぎれ、またでん粉粒などより離れて空隙を生ずる。このようにして卵白添加ドウは焼成中の膨張

性あるいはガス保蔵性が乏しく、パンの容積が小さくなるものと推定される。

JUNGE ら⁹⁾ はパンの容積を増大させる材料としてショートニングにつき検討し、これがパンの容積を増大させるのは、ドウの二酸化炭素ガス保蔵性を大とするためではなく、ドウ中のでん粉の糊化をおくらせるためであるが、その詳細な機構は不明としている。加藤ら¹⁹⁾は両親媒性を付与された修飾蛋白質は、パン中の水の存在状態に変化を与えることによりパンの容積を増大すると推定している。弘中²⁰⁾は卵は水分含量が多いため、実質的にドウの吸水率を増加しドウを軟弱にするためパンの比容積を大とするとしているが、水の存在状態、含量がパンの容積を大きくする機構は明らかではない。

著者らの得た結果では卵黄あるいはプラズマを添加したパンの焼減率は卵白添加の場合と差はなく、また卵白添加の場合も糊化が比較的不完全と推定されるでん粉粒が多く観察された。卵黄あるいはプラズマを添加したパンでは蛋白質マトリックス中の SIMONDS らがいう含有物 II¹¹⁾が減少し、含有物 I はあまり変化していない。これは含有物 II の遊離脂質の一部と卵黄リボ蛋白質との相互作用の結果と推定される。小麦胚乳中の含有物 II の極性脂質はドウのミキシングにおける不溶性リボ蛋白質、グルテンの生成に寄与する¹¹⁾からプラズマ添加による含有物 II の減少はプラズマがグルテン生成を助長した結果であろう。またこのグルテンがドウ中に膜組織を形成し、気泡あるいはでん粉を包むとされている¹⁰⁾から、プラズマ添加によるパンの容積増大は、乳化力が大きいと一般に認められているプラズマのリボ蛋白質と小麦粉の脂質あるいは蛋白質との相互作用で生成された膜組織による所が大きいと推定される。Fig. 3 に示された卵黄あるいはプラズマを含むパンの組織において、でん粉などの周囲の無構造の部分、あるいは蛋白質マトリックス中の多層構造の部分はこの膜組織であると考えられる。この膜がドウの焼成中における伸展性あるいは保蔵性を増強し、パンの容積を大とするのであろう。

要 約

中種法による食パンの焼成後の容積はドウに卵黄を添加することにより増大する。卵黄、卵黄プラズマおよびグラニュール、卵白、全卵の製パン工程における作用を明らかとするため、これら成分のパンの容積、微細構造に対する影響を検討した。

これら卵成分を小麦粉重量の 3% 添加すると醗酵後のドウの容積には成分による大差はないが、卵黄、卵黄プ

ラズマを添加したドウの焼成中の膨張は卵白、全卵のドウより大きく、パンの容積も大である。

パンの中心部より採取した試料の透過型電顕図によると、卵黄プラズマはドウの蛋白質マトリックス中あるいはでん粉粒等の周囲に膜状組織を形成し、この組織が焼成中のドウの伸展性あるいはガス保蔵性を良好にし、パンの容積を大とするものと推定された。この膜は卵黄リポ蛋白質と小麦粉の蛋白質あるいは脂質に富む含有物IIとの相互作用により形成されたと考えられる。卵白を添加したパンの蛋白質マトリックスは不連続で、でん粉粒等から離れる場合が多く、その結果でん粉粒等の周囲に空白部が生じた。またこのマトリックスおよび糊化したでん粉中には、卵白蛋白質が焼成中に凝固、凝集したと考えられる電子密度の高い粒子が含まれている。このようなマトリックスがパンの容積を小さくしたものと推定される。

本研究に対する貴重な御助言を下さいました月島食品工業(株)の塚本正人氏、荏原紘氏に深謝します。

文 献

- 1) 阿久津正蔵: パン科学 (生活社, 東京), p. 223, p. 886 (1946).
- 2) BENNION, E. B.: *Breadmaking*, 4th ed. (Oxford Univ. Press, London), p. 55 (1967).
- 3) 松本 博: 製パンの科学 (日本パン技術研究所, 東京), (1980).
- 4) GRAHAM, G. E. and KAMAT, V. B.: *J. Sci. Food Agric.* **28**, 34 (1977).
- 5) 文部省: 学校給食パン品質判定指導者養成講習会テキスト (日本学校健康会, 東京), p. 70 (1975).
- 6) 日本パン技術研究所: 試験法 (文唱堂, 東京), p. 1 (1975).
- 7) SUZUKI, A., SAITO, M., SATO, H. and NONAMI, Y.: *Agric. Biol. Chem.*, **42**, 2111 (1978).
- 8) BAKER, J. C.: *Cereal Chem.*, **16**, 513 (1939).
- 9) JUNGE, R. C. and HOSENEY, R. C.: *Cereal Chem.*, **58**, 408 (1981).
- 10) SIMONDS, D. H.: *Cereal Chem.*, **49**, 212 (1972).
- 11) SIMONDS, D. H.: *Cereal Chem.*, **49**, 324 (1972).
- 12) EVANS, L. G., VOLPE, T. and ZABIK, M. E.: *J. Food Sci.*, **42**, 70 (1977).
- 13) BECHTEL, D. B., POMERANZ, Y. and DE FRANCISCO, A.: *Cereal Chem.*, **55**, 392 (1978).
- 14) CHABOT, J. F., HOOD, L. F. and LIBOFF, M.: *Cereal Chem.*, **56**, 462 (1979).
- 15) FRETZDORFF, B., BECHTEL, D. B. and POMERANZ, Y.: *Cereal Chem.*, **59**, 113 (1982).
- 16) MATTHEWS, R., SHARPE, E. J. and CLARK, W. M.: *Cereal Chem.*, **47**, 181 (1970).
- 17) ROONEY, L. W., GUSTAFSON, C. B., CLARK, S. P. and CARTER, C. M.: *J. Food Sci.*, **37**, 14 (1972).
- 18) KAHN, M. N., RHEE, K. C., ROONEY, L. W. and CARTER, C. M.: *J. Food Sci.*, **40**, 580 (1975).
- 19) 加藤珠実・島田淳子・荒井綜一: 日食工誌, **30**, 562 (1983).
- 20) 弘中泰雄・杉山也寸志: 日食工誌, **30**, 521 (1983). (昭和58年11月26日受理)