

製パン性に及ぼす食物繊維カラギーナンの影響

石井 智恵美^{*1)}・中林 みどり^{*2)}

Effect of Dietary Fiber, Carrageenan, on Bread Baking.

Chiemi Ishii, Midori Nakabayashi

1. 緒 言

19世紀の初めには食物繊維は栄養成分の利用効率を低下させる無用の成分とみなされ、ほとんど注目されなかったが、近年では成人病の予防・改善や腸内ビタミンB群の合成促進効果等が注目され多くの報告がなされてきている。現在我が国において受け入れられている食物繊維¹⁾という名称は、1980年にdietary fiber²⁾の日本語訳として統一されたと言われている。食物繊維の定義については未だ国際的には統一されていないようであるが、我が国では1980年に桐山³⁾によって提唱された「人の消化酵素で消化されない食物中の難消化性成分の総体」というものがほぼ受け入れられている。日本人の食物繊維摂取量は1951～1985年までの調査³⁾では22.72g/日から17.33g/日まで減少しており、またこれまでは特に所要量も定められていなかったため、第5次改定日本人栄養所要量⁵⁾では一日目標摂取量を20～25gと策定した。我が国における食物繊維の平均的な1日摂取量は15～19gといわれており、この値は大腸ガンを予防する値^{6～8)}として示唆されている1日18～20gより少ない。そこで日常食のなかで特にそれと意識して努力することなく少しでも

食物繊維摂取量を増やすために、主食となる食パンに食物繊維を添加することがパンの品質にどのような影響を及ぼすかを検討した。今回用いた食物繊維は耐糖能改善効果⁹⁾があり糖尿病の予防と治療に対しても有効⁹⁾であることが認められている水溶性多糖類の中のカラギーナンをを用いた。

カラギーナンは紅藻類から得られるD-ガラクトースの重合体であるが無味、無臭、無色であるので、添加物としては理想的であるといえる。

2. 実験方法

1) パンの調製

1-1) 材料の基本配合

パン製造は表1の基本配合に従って行った。材料は以下に示す通りすべて購入した。小麦粉（日清製粉：カメリア強力粉）、ドライイースト（日清製粉：スーパーカメリア顆粒家庭用）、食塩（日本たばこ産業：塩化ナトリウム99%以上）、砂糖（マルハ：パールエース印上白糖）、マーガリン（雪印乳業：無塩マーガリン）、スキムミルク（雪印乳業：脱脂粉乳）、カラギーナン（SIGMA：Type I, commercial grade）。

1-2) 添加物の配合

カラギーナンは表1の基本配合に対して添加した。表2に示す通り、配合割合は小麦粉の量を基準としている。

*1) いしい ちえみ 文教大学教育学部

*2) なかばやし みどり 文教大学教育学部

表1 製パン試料の基本配合

小麦粉	280 g
ドライイースト	2.8 g
食塩	5 g
砂糖	17 g
マーガリン	11 g
スキムミルク	6 g
水	210 ml

表2 カラギーナンの添加量

	小麦粉 (g)	カラギーナン (%) (g)	小麦粉+ カラギーナン (g)
A	280	0 : 0.0	280.0
B	280	1 : 2.8	282.8
C	280	3 : 8.4	288.4
D	280	5 : 14.0	294.0

1-3) 製パン法

製パンは製品の固体差をなくすために製パン機（自動ホームベーカリー：ナショナル、SD-BT5）を用いた。図1に示す様に、製パン機による製パンの全行程は4時間を要した。

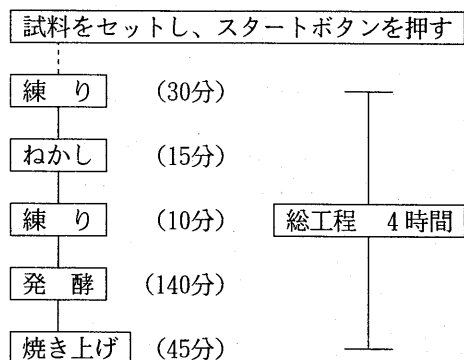


図1 自動製パン機によるパンの製造

2) 測定方法

2-1) 膨化率

製パン完了後直ちに製パン機より出し、網の上に30分放置した後菜種法によりパンの体積を測定し、次式により膨化率を算出した。

$$\text{膨化率} = \frac{\text{焼成後の体積 (ml)}}{\text{焼成前の重量 (g)}} \times 100$$

本来、膨化率は焼成前の体積に対する焼成後の体積で算出されるが、焼成前の体積の測定ができなかったため焼成前の重量を用いた。

2-2) 硬さ

パンの中心部分より縦・横2 cmの切片を15個とり、卓上型物性測定器（山電：TPU-1）

にて硬さを測定した。硬さは測定曲線の第1ピークの高さによって示される。測定条件を次に示す。クリアランス：3 mm，圧縮速度：10 mm/s，圧縮回数：2，レコーダーレンジ：50 mV～200 mV，チャートスピード：2.5 mm/s，プランジャーの面積：0.5 cm²

2-3) 凝集性¹⁰⁾

2-2) で得た測定曲線の第1ピーク (A₁) と第2ピーク (A₂) の面積より次式により求められる。

$$\text{凝集性} = A_2 / A_1$$

2-4) 弾力性¹⁰⁾

2-2) で得た測定曲線の第1ピークの始点から第2ピークの始点までの距離 (B) と、同条件で測定した標準物質 (粘土) の第1ピークの始点から第2ピークの始点までの距離 (C) とから次式により求められる。

$$\text{弾力性} = C - B$$

2-5) 色差の測定¹¹⁾

パンの焼き上がりの色を測色色差計（日本電色工業：ND-101DP）を用いて測定し、スタンダードと比較した。方法はUCS（等色差）表色系に従い L, a, b の値を求め、この値より色差 ΔE（NBS単位：National Bureau of Standards）を次式により求めた。

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

また、この値を「色差と感覚的な差の関係」に対応させて感覚的な差を求めた。

2-6) 色名の判定¹¹⁾

パンの内相の色を測色色差計を用いて測定し、色名の判定を行った。方法はCIE（国際照明委員会）表色系に従い X, Y, Z の値を求

め、この値より色度 x, y を次式により求めた。

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

この色度をCIE色度図の x と y 座標上にプロットして色名の判定を行った。

2-7) 白度の測定

2-6) で得られた Z の値より次式により白度を求めた.

$$\text{白度} = \frac{Z}{118}$$

2-8) 官能評価

官能検査は特定のパネリスト20名により同条件のもとで検査の内容を伏し、評価尺度法を用いて行った。検査は2種類設定し、それ

〈検査 2〉

D (カラギーナン5%添加)

E (D + 水28ml)

F (D + 水56ml)

G (D + 水84ml)

官能検査に用いた評価シートを図2に示す。

3. 結果及び考察

3-1) カラギーナンの添加による膨化率の変化

カラギーナンの添加率を変えることによって膨化率がどのように変化するかを検討し、結果を表3に示した。スタンダード(A)と比較するとカラギーナン1%添加(B)はその体

〔 〕のパン	大変良い	良い	普通	やや悪い	悪い
1. 見ためはどうですか。	<hr/>				
コメント ()					
2. 香りはどうですか。	<hr/>				
コメント ()					
3. 味はどうですか。	<hr/>				
コメント ()					
4. 食感はどうですか。	<hr/>				
コメント ()					

図2 官能検査の評価シート

ぞれ日を分けて2回ずつ行った。検査内容は以下に示す通りである。

〈検査 1〉

- A (カラギーナン無添加)
B (カラギーナン1%添加)
C (カラギーナン3%添加)
D (カラギーナン5%添加)

積が9.7%減少し、3%添加(C)は22.3%、(D)は39.0%と更に減少した。小麦粉にはグリアジンとグルテンが含まれており、これらのたんぱく質は加水して混捏することによりからみ合い、また新たな結合を形成してグルテンとなる。グルテンは網目状の組織を持ち、この組織は常温では弾力性と伸展性に富む。イーストの働きにより生産された炭酸ガ

表3 カラギーナンの添加による膨化率の変化

	(g) 重量焼成前	(ml) 体積焼成後	(%) 膨化率
A	531.8	2164	406.9
B	534.6	1964	367.3
C	540.2	1708.5	316.3
D	545.8	1354	248.1

スはグルテンの網目状組織の中に閉じこめられ、それによってパンのドウは膨化する。一方、カラギーナンは海藻（紅草類：すぎのり、つのまた）を原料とした可溶性の難消化性多糖類であり、吸水、膨潤することによりグルテン同様網目状の組織を形成する。即ち、パンのドウの材料の中にカラギーナンを添加することにより、形成される網目状組織がより密に、より強固になりパンが膨化しにくくなるのではないかと考えられる。また、調理に用いられている粒状のゲル化剤1gは通常約10gの水を吸水することから、添加されたカラギーナンのパン製造に必要な水分を奪う可能性もあるため、そのことについては後の項目で検討した。

3-2) カラギーナンの添加による物性の変化

カラギーナンを添加することによってパンの物性がどの様に変化するかを観察するため、硬さ、凝集性、弾力性を測定し表4に示した。

カラギーナンの添加量が1%と3%の時、パンの硬さはそれぞれスタンダードの1.10倍、1.46倍であり、さほど大きな変化は認められなかった。しかしながら、添加量が5%の時には4.04倍となり、硬さが大きく上昇したことがうかがえる。これはカラギーナンの添加量が増加すると膨化率が低下することとも関係していると考えられる。

食品を飲み込める状態まで砕く（咀嚼する）に要する力を表す凝集性は、Aと比較

表4 カラギーナンの添加による物性の変化

	(g) 硬さ	凝集性	弾力性
A	116.38	0.77	3.15
B	128.03	0.79	3.22
C	170.00	0.77	3.21
D	470.00	0.83	3.16

してB、Cではほとんど変化はなく、Dでその数値に多少の上昇が認められた。これはカラギーナン添加によってパンの硬さは上昇しても歯切れは悪くならないことを示しているのではないと思われる。

外から加えた力を除いたときの変形のもどりがあいを示す弾力性は、Aも、B、C、Dも本実験条件下ではほとんど変化がなく、どれもスタンダードと同じほどに一度目の圧縮終了後から二度目の圧縮前までに形が回復することが分かった。

3-3) 焼き色に対するカラギーナンの影響

パンの焼き色に対するカラギーナンの影響を観察するためにパンの表皮（側面、上面）の色の色差を求めた。色差と感覚的な差の関係を以下に示す。

ΔE値	感覚的な差
0～0.5	かすかに
0.5～1.5	わずかに
1.5～3.0	感知できる
3.0～6.0	目立つ
6.0～12.0	おおいに
12.0以上	非常に

表5に示す様に、カラギーナンの添加量を増やしても、感覚的な差はAと比較してわずかに、感知されるほどにの範囲内であり側面の焼き色に特にめだった変化はなかった。一方、表6に示す様に、上面の焼き色はカラギーナンの添加量が1%、3%、5%と増え

表5 焼き色に対するカラギーナンの影響（側面）：UCS表色系

	L	a	b	ΔE	感覚的な差
A	43.53	10.80	16.52	—	—
B	45.04	11.09	17.24	1.70	感知されるほどに
C	42.53	11.15	16.19	1.11	わずかに
D	44.17	11.33	16.98	0.95	わずかに

表6 焼き色に対するカラギーナンの影響（上面）：UCS表色系

	L	a	b	ΔE	感覚的な差
A	36.91	11.65	12.61	—	—
B	37.40	11.09	12.94	0.81	わずかに
C	42.43	12.04	15.70	6.34	大いに
D	48.58	11.03	18.94	13.29	多大に

表7 内相の色に対するカラギーナンの影響：CIE表色系

	X	Y	Z	x	y	白 度	色 名
A	44.23	45.26	38.29	0.346	0.354	32.449	無彩色 I C E iluminant “C”
B	44.31	45.37	38.57	0.345	0.354	32.686	
C	47.28	48.26	40.45	0.348	0.355	34.280	
D	45.23	47.81	37.19	0.352	0.364	31.517	

るに従い感覚的な差はわずかに、大いに、多大にと大きな変化がみられた。そこでカラギーナンの添加がパンの内相の色に変化を与えるかどうかを重ねて検討した。表7に示す様に色度xとyの値をCIE色度図の座標上にプロットして色名の判定を行った結果、すべて無彩色の領域に分類されたため、更にハンター白度を求めて内相の「白さ」の比較を行った。その結果、Cの値が一番高くなり白さの明るさが一番高いという結果となったが

実際の見た目ではほとんどどれもスタンダードと変わらず、強いて言うならDのカラギーナン5%添加のものが僅かに白さにくすみを感じられるという程度であった。

3-4) 水分添加量の増加が膨化率に与える影響

3-1～3)の検討は表1の基本配合に単にカラギーナンを追加して添加したものであったが、カラギーナン1gは最大約10gの水を吸水膨潤しゲル化する性質がある。その

ためカラギーナンを多く添加したものはパン製造に必要な水分をカラギーナンにとられるかたちとなるのではないかと思われた。そこで、カラギーナン5%添加(D)の配合の水分添加量を変化させて膨化率を測定した。Dはカラギーナン14.0g添加してあるので、最大140.0gの水を吸水する可能性がある。そこで最大吸水率の20%(E)、40%(F)、60%(G)の水を添加して検討した。その結果、表8に示す様に水分添加量を多くすると膨化率がいくぶん回復する傾向が認められたが、一方で食味に多少変化がみられた。その詳細は官能検査の項目で述べる。

3-5) 水分添加量の増加が物性に与える影響

3-4)と同様に水分添加量を変化させて物性に及ぼす影響を検討した。表9に示す様

に水分添加量が増加するに従って硬さが低下していくことが分かる。しかしながら、表4と比較すると良く分かるが、カラギーナン添加3%のCの硬さには遠くおよばず、僅かにやわらかくなる程度にとどまった。凝集性に関しては、水分添加量が多くなるほど低下し、咀嚼し飲み込むことがより容易になることが分かる。しかし、GがFよりも硬さ、凝集性とも数値が高くなっているのは、水分含有量が多すぎて歯切れが悪くなるためではないかと思われる。弾力性に関しては表4と比較してもさほど大きな変化はみられないが、相対的に減少傾向が認められるように思われる。また、カラギーナンの最大吸水率の60%の水を添加したGは水分が多すぎるためかパン製造が困難であり、これ以上の水分添加は本実験条件下ではできないと判断した。

表8 水分添加量の増加が膨化率に与える影響

	(ml) 水分添加量	(g) 重量焼成前	(ml) 体積焼成後	(%) 膨化率
D	210	545.8	1354	248.1
E	238 (+28)	573.8	1660	289.3
F	266 (+56)	601.8	1770	294.1
G	294 (+84)	629.8	1772	281.3

表9 水分添加量の増加が物性に与える影響

	(g) 硬さ	凝集性	弾力性
D	470.00	0.83	3.16
E	404.80	0.75	3.20
F	350.35	0.66	3.15
G	376.15	0.70	3.13

表10 水分添加量の増加が焼き色に与える影響(側面): UCS表色系

	L	a	b	ΔE	感覚的な差(Standard:A)
D	44.17	11.33	16.98	0.95	わずかに
E	47.81	10.66	18.55	4.74	めだつほどに
F	48.43	12.44	19.29	5.86	めだつほどに
G	49.37	10.76	19.25	6.45	大いに

3-6) 水分添加量の増加が焼き色に与える影響

水分添加量の増加がパンの焼き色に与える影響を観察した。色差はAのスタンダードを基準にして算出した。パンの側面の表皮の色は、表10に示す様に添加した水分量が増えるに従って色差の値が大きくなり感覚的な差も「わずかに」から「めだつほどに」、「大いに」と変化し、パンの焼き色が濃くなっていることが分かる。しかし、パンの上面の表皮の色は添加した水分量が増えるに従って色差の値が小さくなり感覚的な差も「多大に」か

しても水分量が増加する(D~G)とパンの内相の色の白さ、明るさが減少することが分かった。

3-7) パンの内部組織の観察

パンの内部組織はパン酵母の働きにより生産された炭酸ガスがグルテンの網目状組織の中にとじ込められて細かいすだちが形成されるものであるが、そのきめは均一なものが良いとされている。そこでA~D, D~Gの内部組織を写真に撮り状態の比較を行った。

カラギーナンの添加量を変えたA~Dを比較すると、AのスタンダードにたいしてB、

表11 水分添加量の増加が焼き色に与える影響(上面) : UCS 表色系

	L	a	b	ΔE	感覚的な差(Standard : A)
D	48.58	11.03	18.94	13.29	多大に
E	45.90	12.95	18.10	10.61	大いに
F	42.41	12.60	16.23	6.65	大いに
G	43.25	11.03	15.08	6.83	大いに

表12 水分添加量の増加が内相に与える影響 : CIE 表色系

	X	Y	Z	x	y	白 度	色 名
D	45.23	47.81	37.19	0.352	0.364	31.517	無彩色
E	45.78	46.32	37.94	0.352	0.356	32.153	I C E
F	43.16	43.98	35.61	0.352	0.358	30.178	iluminant
G	42.21	43.08	35.60	0.349	0.356	30.169	"C"

ら「大いに」と変化し、パンの焼き色が薄くなっていることが分かる。そこで、3-3)の項目における検討と同様に水分添加量の増加がパンの内相の色に影響を与えるかどうかを観察した。表12に示す様に色名はすべて無彩色の領域に分類された。ハンター白度による比較では、FとGよりDとEの方がハンター白度の数値が高く、白さに明るさがあることが分かった。表7のA~Dの数値と比較

C, Dはカラギーナンの添加量が増加するに従って組織のきめがより細くなり、膨化しなくなることが分かる。また、組織の目がつまってくるのでC, Dはかたそうな様子が見てとれる。

水分添加量を変えたD~Gを比較すると、Dの組織は目がつまり固そうであるが、水分添加量がふえていくに従って目のつまりが緩和され、すだちがスタンダードに近い形に回

復しているように見える。しかしながら、きめが粗く、不均一になり実際の膨化率はスタンダードには遠く及ばない。

3-8) 官能検査による質的評価

食物繊維のうちのカラギーナンを添加した場合の製パン性に及ぼす影響、水分添加量を増加した時の変化を科学的に検討してきたが、実際のおいしさ、好ましさを評価するには人

何か別のパンらしからぬにおいがするというような意見は皆無であった。味、食感に関しては、Bのカラギーナン1%添加がAの無添加のものより良い評価を得た。理由はパンの表皮がサクサクと香ばしく、それでいて内相はやわらかく弾力も適度にあってたいへんおいしいというものであった。Dのカラギーナンを5%添加したものは、膨らまなかったた

表13 官能検査結果 (検査 1)

	見ため	香 り	味	食 感
A	0.75	0.92	0.73	1.00
B	0.67	0.64	1.36	1.30
C	0.92	-0.18	0.42	0.33
D	-0.18	0.27	-0.82	-0.82

間の感覚に頼らざるを得ない。そこで、特定のパネリスト20名による官能検査を実施した。方法は5段階評価尺度法を採用した。本検査に用いた評価シートを図2に示す。各パンごとに評価をシートに記入してもらい、それぞれの評価を点数化して集計した。評価は大変良いを+2, 良いを+1, 普通を0, やや悪いを-1, 悪いを-2とした。結果を表13, 14に示す。

A~Dの検討では、Bのパンが総合的に高い評価を受けていた。各項目別に検討してみると、見た目ではCが一番好評であった。それは内面の色がかすかに黄色がかっていて、更にすだちが細かく均一であるという理由であった。Dはカラギーナンの添加量が多く膨らまなかったためすだちの目がつまり、そのためか見るからにかたそうであるという評価であった。香りについてはAのカラギーナン無添加のパンが一番パンらしい香りがすると評価された。B, C, Dのパンは香りがあまり感じられないという評価であった。しかし、

表14 官能検査結果 (検査 2)

	見ため	香 り	味	食 感
D	0.75	0.67	0.33	-0.08
E	0.92	0.25	0.58	0.83
F	0.42	0.58	0.17	0.08
G	0.00	0.58	0.17	0.58

め全体にかたい出来上がりとなりやや評価が下がった。しかしながら、これらの評価はすべて4種類のパンを食べ比べてあえて出した結果であって、大半の人はとりたてて差を感じるほどではなかったと答えた。一番評価の低かったDでさえ単独で食べたらおいしいと思うという意見が多かった。また少数ではあったが、Dのパンがしっとりして弾力性に富み一番おいしいと評価した人もいた。従って、カラギーナンの添加は少なくともパンの質的低下はもたらさなかったと言える。

D~Gの検討において、総合的にはEが一番良いと評価された。見た目ではEの評価が高かった。加水量が増えるに従って組織の目のつまりが緩和されるためDよりE~Gのほうがやわらかそうに見えるようであった。しかし、同時にきめがより不均一になっていくため、Gは見た目の評価が一番低かった。Dはふくらまないためかたそうではあるが、逆にきめの細かさ、均一さが好印象を与えたようである。また、Dは水分量が少ないためか

他と比べてばさばさしていると感じた人もいた。香りについては、Eの評価が一番低い結果となったが、コメントを検討してみるとどれもほとんどにおいがなく、パンらしい香りもしないが嫌なおいも特にしないというものであり、それほど気になる差は感じられなかったようである。味はEが高い評価を得た。コメントをみるとほとんどがD～Gとも特に差は感じられないと答えているため、この評価は食感とも関係していると考えられる。食感Eが非常に良い評価を得た。カラギーナンの吸水量の20%の水を基本の配合に追加して加えることにより約1割膨化率が回復したことで硬さやばさつき感が緩和されたことが評価されたと考えられる。60%の水を追加して加えたものはみずみずしい、しっとりしていて咀嚼しやすいと答えた人もいたが、大半はべたついている、もったりしているという印象を持ったようである。また、水分添加量が多いためか、口の中に入るとひんやりとして冷たいと答えた人もいた。

4. 要 約

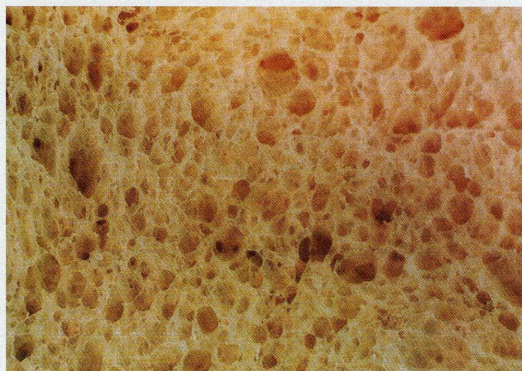
食パンにカラギーナンを添加してその品質を検討した結果次のことが分かった。

①膨化率はカラギーナンの添加量が増加するにつれて低下する。②かたさはカラギーナンの添加量が増加するにつれてかたくなる。③Dに対してカラギーナンの最大吸水量の20～60%の範囲で水分を増加させると膨化率、かたさはある程度回復する。④色については表皮、内相とも多少の色の違いはあるものの、一番焼き色の濃かったDも実際の見た目はAと比べても特に色が濃いというほどではなかった。⑤官能検査の結果、おいしくないと

答えた人はいなかった。そこで、カラギーナンを5%添加(14g)した食パンにはどのくらい食物繊維が含まれているのかを考えてみると、パン1斤分の小麦粉280gには約7.5gの食物繊維がもともと含まれているので、合計21.5gということになる。これを6枚切りにすると1枚当たり約3.6gである。1日の目標摂取量が20～25gと考えると、1食当たり7～8gは摂取したい。そのうちの約半分がこの1枚のパンから摂取できることになる。白米飯(茶碗1杯)の0.6g、胚芽米飯(茶碗1杯)の0.8gと比較すると良い結果が得られたと考えられる。

文 献

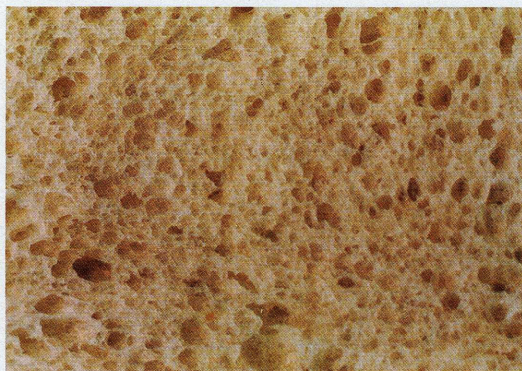
- 1) 印南敏：日農化，54，110 (1960)
- 2) Hipsley, E.H.: Brit. Med. J., 2, 420 (1953)
- 3) 桐山修八：化学と生物，18，95 (1980)
- 4) 地方衛生研究所全国協議会編：食物繊維成分表，第一出版，東京 (1990)
- 5) 厚生省保健医療局健康増進栄養課監修：第5次改定日本人の栄養所要量，第一出版，東京 (1994)
- 6) Cummings, J.H., et al: Gastroenterology, 103, 1783 (1992)
- 7) 中道重之他：日本消化器病学会雑誌，86，2104 (1989)
- 8) Saito, T., et al: J. Nutr. Sci. Vitaminol., 37, 493 (1991)
- 9) Jenkins, D.J.A., et al: Lancet, 2, 172 (1976)
- 10) 浦上智子：調理科学，理工学社，東京 (1983)
- 11) 島田淳子他：調理とおいしさの科学，朝倉書店，東京 (1993)



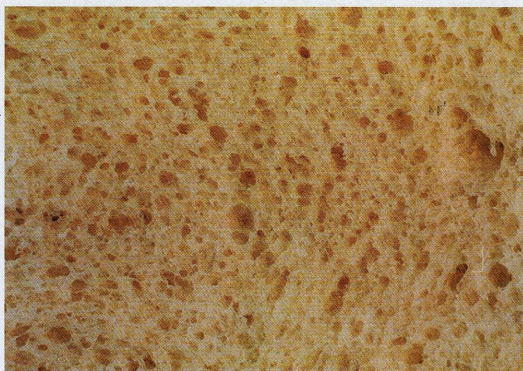
A : スタANDARD



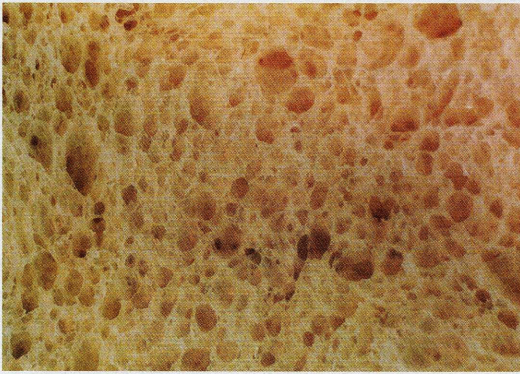
B : カラギーナン 1 % 添加



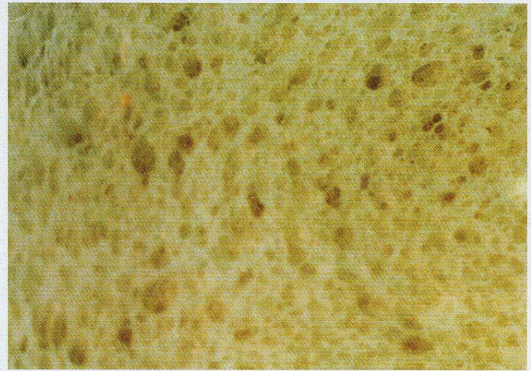
C : カラギーナン 3 % 添加



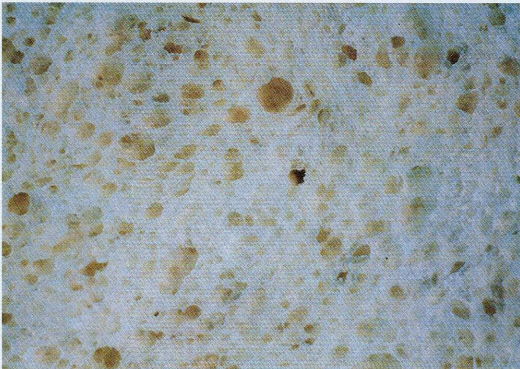
D : カラギーナン 5 % 添加



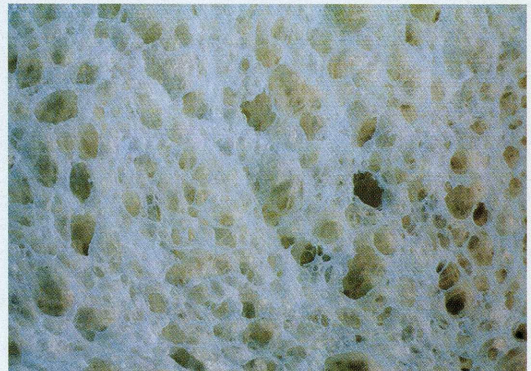
D : カラギーナン 5 % 添加



E : D + 20% 水分添加



F : D + 40% 水分添加



G : D + 60% 水分添加