

でん粉の膨化に関する研究（第8報）

膨化に及ぼす植物蛋白の影響について

杉本勝之

前報¹⁾において、著者はばれいしょでん粉の膨化性に及ぼす動物性蛋白質の影響を検討した結果、これらの蛋白質がでん粉の初期の膨潤に大きく影響を及ぼすため、でん粉単独の場合より加水量を多くする必要があることを明らかにした。

これらの原因は蛋白質の保水力に関係していると考えられるので、蛋白質の膨化に及ぼす作用をより明らかにするため、数種の市販の植物蛋白質を使用して膨化試験を行なった結果を報告する。

実験方法

1. 供試試料

大豆蛋白4点（味の素、株製）、活性グルテン3点（江崎グリコ栄食株製）を用い、ばれいしょでん粉は中斜里および美幌工場の製品を用いた。

第1表 供試植物蛋白の分析値

品名	水分(%)	蛋白質(%)	備考
1. 大豆蛋白	6.5	50.0	アジプロンE1 (味の素)
2. "	2.6	55.3	" E2 (")
3. "	9.0	54.7	" M1 (")
4. "	6.9	75.0	" M2 (")
5. 活性グルテン	7.2	73.2	A-K (江崎グリコ栄食)
6. "	5.3	76.5	A-SS (")
7. "	3.8	79.2	A-U (")

2. 生地の調製法および膨化試験

生地の調製および膨化試験は既報²⁾に準じて行ったが、餅生地の乾燥を数種の条件下で比較した。45°C乾燥は循環式乾燥器 (W45×H45×D45cm, 遠心式ブロア-200W), 46°C・48%RH乾燥は低温恒温器 (W50×H60×40cm, ファン63W), 40°C・68%RHおよび40°C・71%RH乾燥はプレハブ式恒温湿室 (W261×D171×H241cm, 送風機200W) を用いた。

3. 膨化品の内部構造および餅生地の観察

既報³⁾に準じて行なった。

4. アミログラフによる粘度、でん粉ゲルの強度および弾性率の測定

既報⁴⁾に準じてアミログラフにより調製した糊を冷蔵庫に保存し、レオメータにより物性を測定した。

5. 蛋白質の吸水率⁵⁾および保水性⁶⁾の測定

蛋白質1.0g, ばれいしょでん粉3.0gに水25mlを加えて攪拌し, 2,000rpm・3分遠心分離し, 上液容量を測定し, 次式により吸水率を求めた。

$$\text{吸水率} (\%) = \frac{25\text{ml} - \text{上液 (ml)}}{25\text{ml}} \times 100$$

保水性は蛋白質3.0gに熱水30mlを加えて攪拌して20分間放置後, 室温まで冷却し, 1,000G, 5分間遠心分離し沈殿部の重量を測定し, 次式で求めた。

$$\text{保水性} = \frac{\text{遠心分離後の沈殿部の重量 (g)}}{\text{試料 (g)}} \times 100$$

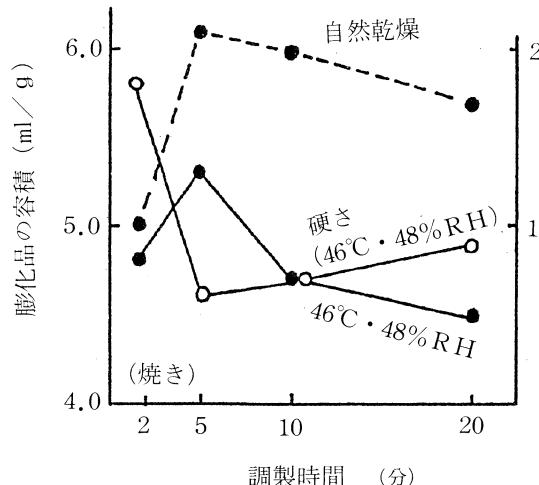
実験結果および考察

1. 植物蛋白を添加したときの膨化性

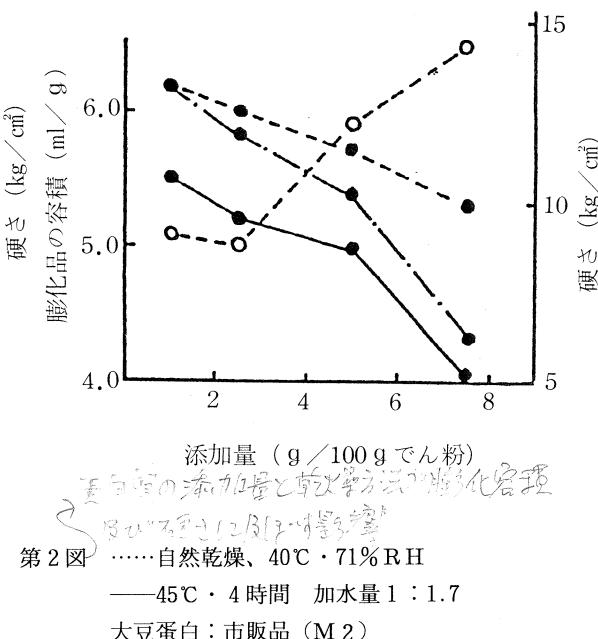
大豆蛋白を添加した場合の100°Cにおける調製時間と膨化品の容積および硬さとの関係を第1図に示した。自然乾燥, 46°C・48%RH乾燥ともに加熱5分で容積が最大となり, それ以上糊の加熱を続けてもかえって膨化力は低下する傾向がみられた。硬さも, 膨化品の容積が最大となる5分が最小となった。したがって, 加水量を1:1.7にすれば加熱時間は5分で十分といえる。自然乾燥においても, 調製時間5分が膨化品の容積が最大となったが, 46°C・48%RH乾燥に比べて著しく大きい膨化品となった。

次に, 膨化に及ぼす大豆蛋白M2の添加量と乾燥方法の影響について検討した結果を第2図に示した。いずれも添加量が増すほど膨化品の容積は減少するが, 乾燥方法の違いによって差があり, 膨化品の容積は自然乾燥>40°C・71%RH>45°C・4時間乾燥の順に大きかった。硬さは自然乾燥の場合, 添加量2g/100gでん粉以上になると著しく大きくなった。

3 これからの膨化品の内部組織を第3図に示したが, 図のように, 自然乾燥の方がどの添加量でもよく膨れており, いずれも添加量が増すほど糊のままで残存している部分が多くなり, 容積, 硬さと一致した傾向が認められた。



第1図 大豆蛋白：M 2、5 g/100 g でん粉
(美幌) 加水量 1:1.7、乾燥：46°C・48%RH (低温恒湿器)



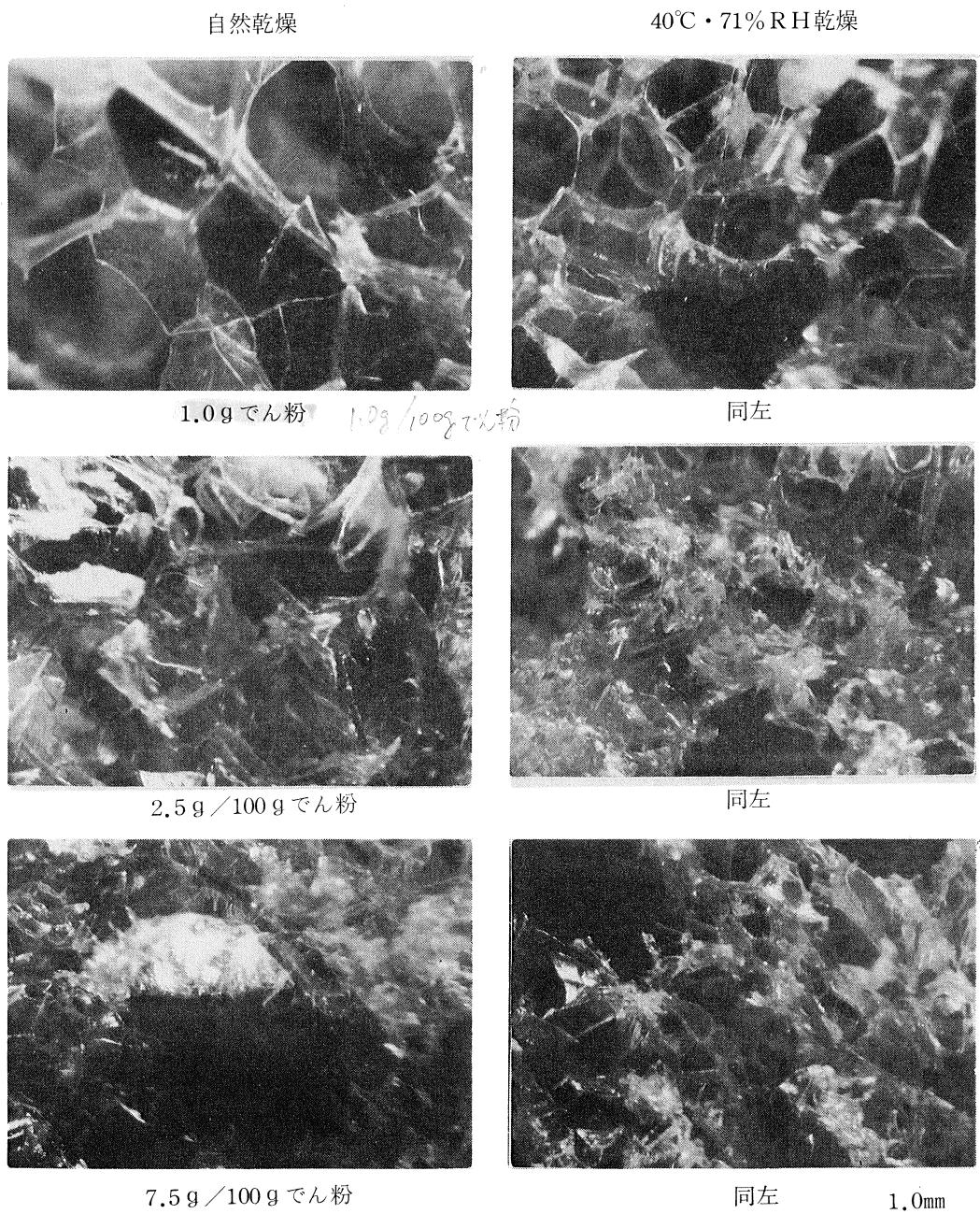
第2図 大豆蛋白：市販品 (M 2)
.....自然乾燥、40°C・71%RH
—45°C・4時間 加水量 1:1.7

これら原因を明らかにするため、それぞれの方法で餅生地（加水量 1:1.7）を乾燥したときの水分の変化を測定したところ、 45°C 、 $46^{\circ}\text{C} \cdot 48\% \text{RH} > 40^{\circ}\text{C} \cdot 68\% \text{RH} > 40^{\circ}\text{C} \cdot 71\% \text{RH} >$ 自然乾燥の順に乾燥速度が低下して、4時間乾燥で比較すると自然乾燥では60%から55%， $40^{\circ}\text{C} \cdot 68\%$ 乾燥では36%， 45°C 乾燥では14%まで水分が減少し、著しい差があることが分かった。

また、乾燥方法が異なると乾燥後の生地の形状がかなり違うと思われたので、生地の形状を測定した（第2表）。自然乾燥によるものは均一で小さな生地となるのに対し、初期の水分減少率が大きいほど形は大きいが中心部の凹んだ生地となった。

活性グルテン（A-S S, A-K）の添加量と膨化品の容積との関係を第4図に示した。自然乾燥と $40^{\circ}\text{C} \cdot 68\% \text{RH}$ 乾燥のものについて比較したが、いずれも添加量が増すほど急激に容積が小さくなり、自然乾燥の方が $40^{\circ}\text{C} \cdot 68\% \text{RH}$ 乾燥よりかなり容積が大となった。

第3表に、植物蛋白2点（大豆蛋白M 2, 活性グルテンA-S S）と比較のため動物蛋白2点（カゼインナトリウム、卵アルブミン）を使用して、加水量 1:1.5、自然乾燥の条件で膨化品の容積と硬さを比較した。添加量2.0 g および4.0 g/100 g でん粉について比較したが、活性グルテンのみが容積が小さく、硬さも大となった。この程度の添加量であれば、硬さはやや大となるが、加水量 1:1.5であっても自然乾燥すれば活性グルテン以外は6.0 ml/g 以上の容積が得られる。



第3図 乾燥方法を異にする膨化品の内部構造の比較

加水量 1 : 17、大豆蛋白M 2、でん粉：美幌

40°C・71%RH (プレハブ式恒温恒湿室)

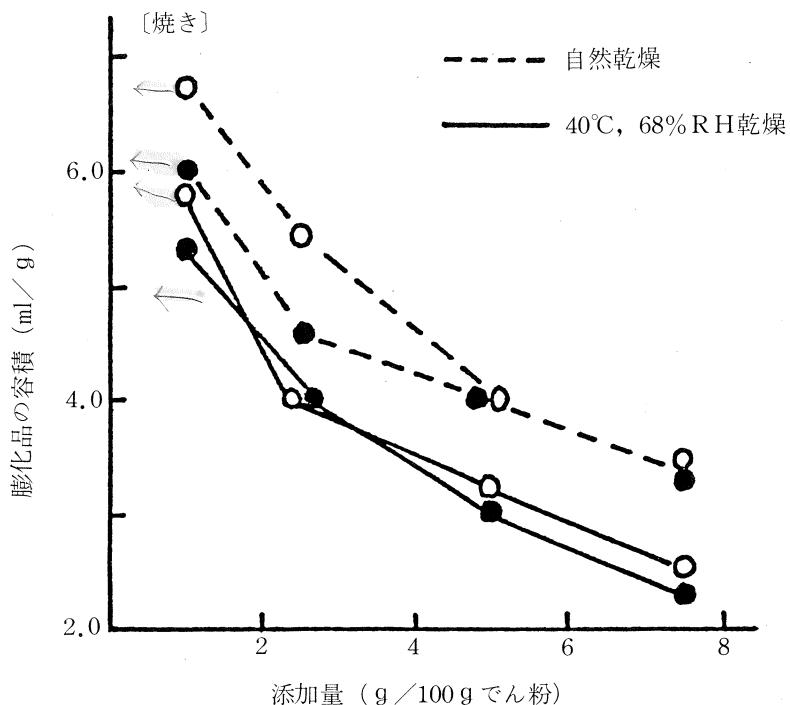


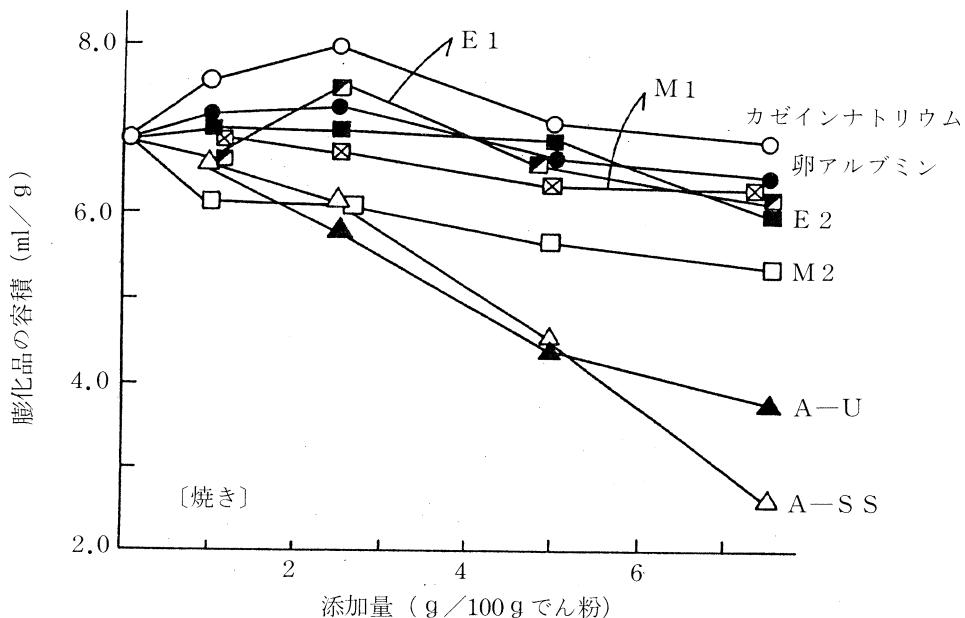
図4 図 活性グルテンの添加量と膨化品の容積との関係

でん粉：中斜里、加水量 1 : 1.7、○ S S、● K
 ケルテン
 ラス
 A-K

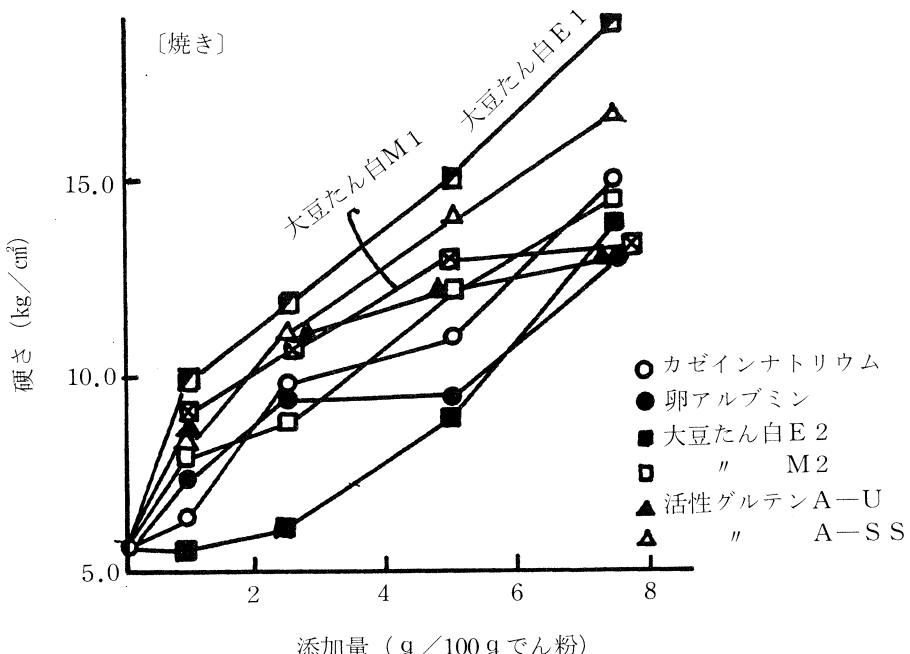
第2表 生地の形状に及ぼす餅生地の乾燥方法の影響

	形 状	A	B	C	%B
1. 自然乾燥	□	12.0	2.2	2.1	0.95
2. 40°C・71%RH (プレハブ式)	□□	11.8	2.2	1.9	0.86
3. 40°C・66%RH (低温恒温器式)	□□	12.1	2.1	1.5	0.71
4. 35°C・4時間	□□	12.7	2.5	1.7	0.68
5. 45°C・5時間	□□	12.8	2.6	1.5	0.58

注：直径、縁の厚さ、中心部の厚さをA、B、C (%m) で表す。



第5図 各種蛋白質の添加量と膨化品の容積との関係
でん粉：中斜里、加水量1:1.7、加熱100℃・5分、自然乾燥
E 1、E 2、M 1、M 2：大豆蛋白、A-S S、A-U：活性グルテン



第6図 各種蛋白質の添加量と硬さとの関係

でん粉：中斜里、加水量1:1.7、
加熱100℃・5分 自然乾燥

次に、植物蛋白として大豆蛋白4種、活性グルテン2種、動物蛋白として卵アルブミンとカゼインナトリウムの膨化性への影響を検討した。加水量1:1.7の場合、膨化品の容積は第5図のようにカゼインナトリウム、卵アルブミン、大豆蛋白E1, E2, M1は添加量7.5g/100gでん粉の範囲では6.0ml以上の容積となった。大豆蛋白ではM2のみがやや容積が小となり、活性グルテン添加ではいずれも添加量が増すと容積は著しく減少した。

同じ膨化品の硬さを第6図に示したが、蛋白質含量にそれほど差のないE1(50%)とE2(55.5%)の硬さに著しい差がみられ、E1が最大の硬さであるのに、E2はカゼインナトリウム、卵アルブミンより軟らかい膨化品となった。これらの差は大豆蛋白の製法の違いによるものと考えられるが、でん粉の老化性への影響なども追究する必要があろう。

添加量が多くなると膨化品の硬さは著しく大となるので、E2添加の膨化品の内部構造を観察した。第7図のように5.0g/100gでん粉添加のものは大きく膨れているのに、7.5gになると気泡が小さく、膜も厚くなっていることが分かった。

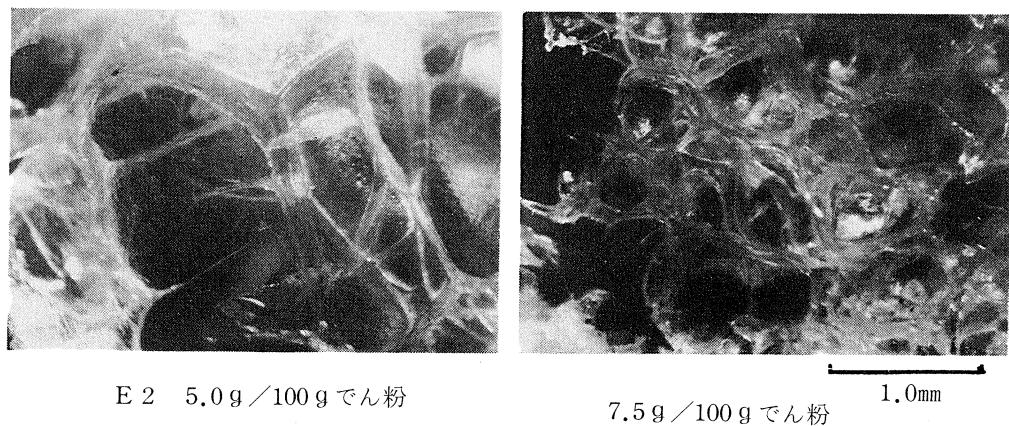
つぎに、膨化品の破壊曲線を第8図に示した。対照に比べて蛋白質を添加したものはいずれも硬くなる。A-SS添加では圧縮により急激に荷重が増大し、表面破壊がみられないが、カゼインナトリウム、卵アルブミン添加のものは表面破壊があり、歯ごたえがかなり異なったものになった。

第3表 数種の蛋白質を添加した膨化品の容積と硬さ

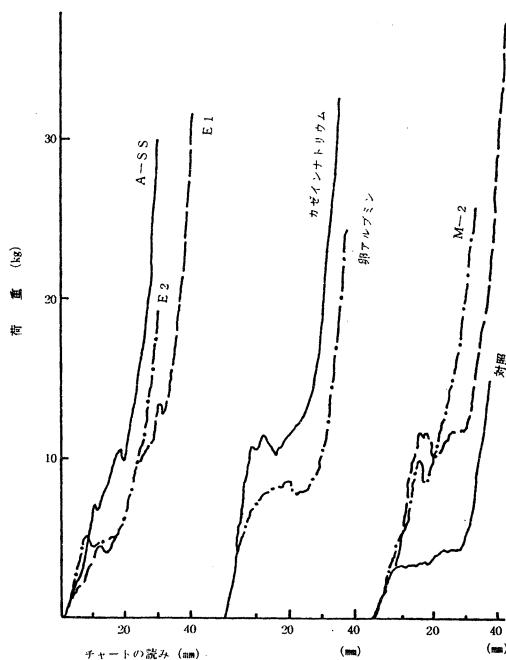
	添 加 量 (g/100gでん粉)	膨化品の容積 (ml/g)	硬さ (kg/cm ²)
カゼインナトリウム	2.0	7.5	12.1
"	4.0	6.5	13.8
卵 ア ル ブ ミ ン	2.0	6.4	10.0
"	4.0	6.2	12.3
大 豆 蛋 白・M 2	2.0	6.7	13.0
"	4.0	6.0	16.1
活性グルテン・A-SS	2.0	5.6	16.2
"	4.0	4.4	18.1

中斜里、加水量1:1.5、加熱100°C・5分

餅生地の保存 20°C、自然乾燥、焼きの膨化品



第7図 大豆蛋白E 2を添加した膨化品の内部構造
加水量1:1.7、乾燥40℃・71%RH



第8図 各種の蛋白質を添加した膨化品の破壊曲線の比較

でん粉：中斜里、添加量5g/100gでん粉、焼きの膨化品

加水量1:1.7、加熱100℃・5分、自然乾燥

測定条件：圧縮スピード20mm/min、チャートスピード100mm/min

2. アミログラフによる粘度、でん粉ゲルの性質への影響

各種の蛋白質を添加した場合に膨化品の容量および硬さにかなりの差が認められたので、その原因を究明するため粘度とゲルの性質を調べた。

添加量 5 g / 100 g でん粉の場合のアミログラフによる粘度の結果を第4表に示した。活性グルテン A-U のみが最高粘度は対照と差がみられなかつたが、他のものはいずれもなり低下した。しかし、これらの測定値と膨化性との関係は特に認められなかつた。カゼインナトリウムは最高粘度が最も低かつたが、これはナトリウムイオンの影響によるものと考えられる⁷⁾。大豆蛋白 M 2, E 2 も粘度の差がみられたが、これは M 2 は脱脂大豆より灰分、せんい、糖分を、E 2 はせんいのみを除いたものであり、蛋白質以外の成分の影響と考えられる。

小島ら⁸⁾は、ばれいしょでん粉の物性に及ぼす分離大豆の影響について検討し、添加により糊化、膨潤が抑制され粘度が低下するが、50%までの添加量ではゲル強度はあまり変化しないと報じられている。

8%濃度でのん粉ゲルの性質を第5表に示した。活性グルテンのみがゲル強度が大となり、弾性率も上昇した。したがつて、活性グルテンでのん粉に対する作用は加熱時の膨潤への影響よりも糊の冷却時のゲル強度の増大が膨潤力を阻害していると推察される。

第4表 各種の蛋白質を添加した場合の 8%アミログラムの測定値

蛋白質	粘度温度 (°C)	最高粘度 (B.U.)	最高粘度時 の温度(°C)	ブレークダ ウン(B.U.)
無添加	61.0	2,530	66.5	1,520
カゼインナトリウム	61.5	2,030	70.5	1,050
卵アルブミン	62.0	2,100	69.5	970
大豆蛋白 M 2	62.0	2,240	69.5	1,190
" E 2	62.0	2,100	72.5	980
活性グルテン A-SS	62.0	2,350	69.0	1,210
" A-U	62.0	2,530	68.5	1,460

添加量 5 g / 100 g でん粉（無水物）

ブレークダウン：最高粘度と 95°C の粘度の差を示す。

蛋白質はでん粉と均一に混合した後、水を加えてかく拌後、アミログラフによる粘度を測定した。

第5表 各種の蛋白質を添加した場合のゲルの性質

蛋白質	ゲル強度 (g/cm²)		ゲルの弾性率 (10⁵ · dyne/cm²)
	I	II	
無 添加	38.2	82.8	0.98
カゼインナトリウム	38.2	79.0	0.95
卵 アルミブン	38.2	76.4	1.10
大豆蛋白 M 2	40.7	80.2	1.07
" E 2	38.2	84.1	1.07
活性グルテン A-S S	56.1	127.3	1.20
" A-U	48.4	107.0	1.28

中斜里、濃度 8% (無水物)、5°C 2日間保存

添加量 5 g/100 g でん粉

ゲル強度 I : 径10mmのプランジャーを用い、圧縮破壊を行なったときの表面破壊時の荷重を示す。

ゲル強度 II : 表面破壊後のピーク時の荷重を示す。

3. 蛋白質の吸水率、保水性と膨化品の容積との関係

第4、5表に示したように、活性グルテンは冷却時のゲルの性質と膨化性との間に関連性がみられたが、大豆蛋白は粘度およびゲルの性質のみでは膨化力の低下を説明することができなかった。

大豆蛋白を添加して餅生地を調製するとき、予備糊化時の操作が対照に比べてかなり困難であった。このことから、大豆蛋白の場合は糊の加熱時における吸水性を検討する必要があると考えられた。

そこで、大豆粉の試験法を参考にして、冷時における吸水率と植物蛋白の農林規格による熱時の保水性を検討した。第6表に示したように、冷時における吸水率は大豆蛋白M 2 が最大で1,350%，その他の大豆蛋白は700~800%となり、他の蛋白質に比較して著しく大きな値となった。保水性も卵アルブミン、活性グルテンなど熱変性により蛋白質が沈殿するために吸水率より大きな値となった。

この結果から、大豆蛋白は冷時における吸水率が強く、予備糊化および100°Cでの加熱時にでん粉が十分に吸水できず、そのため糊化が不十分となり、膨化力が低下すると推定される。それに対して、カゼインナトリウムや卵アルブミンはでん粉濃度が薄い時の粘度にかなりの影響を及ぼすが、高濃度の時でのん粉の糊化にはそれほど大きく影響をしないと考えられる。

第6表 各種蛋白の吸水率、保水性と膨化品の容積

蛋白質	吸水率(%)*	保水性(%)**	膨化品の容積 (mL/g)
カゼインナトリウム	0	0	7.0
卵アルブミン	50	300	6.7
大豆蛋白 M1	750	533	6.4
" M2	1350	866	5.7
" E1	820	533	6.7
" E2	700	433	6.8
活性グルテン A-SS	50	300	4.5
" A-U	250	300	4.3

膨化条件：加水量 1 : 1.7, 加熱 5 分, 自然乾燥

添加量 5 g / 100 g でん粉

*吸水率(大豆粉の試験法)

蛋白質 1.0 g + バレイショでん粉 3.0 g + 水 25 mL (かくはん)

→遠心分離・2,000 rpm・3 分 → 上液容量の測定

吸水率(%) = 25 mL - 上液 (mL) - 1.5 mL (でん粉の吸水量) /

試料 (g) × 100

**保水性(植物蛋白の日本農林規格)

蛋白質 3.0 g + 热水 30 mL (かくはん) → 20 分放置後, 室温

まで冷却 → 遠心分離 1,000 G・5 分 → 沈殿部の重量を測定

保水性 = 遠心分離後の沈殿部の重量 (g) / 試料 (g) × 100

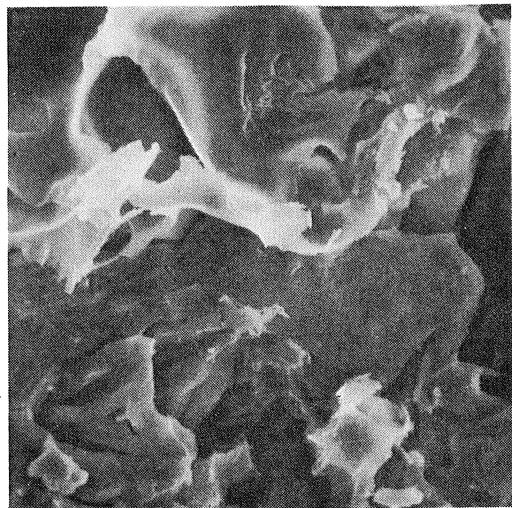
4. 走査型電子顕微鏡による餅生地および膨化品の観察

蛋白質を添加した餅生地の走査型電子顕微鏡による観察結果を第9図に示した。添加量 5 g / 100 g でん粉, 加水量 1 : 1.5, 加熱 100°C・5 分の条件で調製した餅生地であるが, 卵アルブミンとカゼインナトリウム添加のものはかなり均一な糊になっているが, 大豆蛋白と活性グルテン添加のものは不均一な糊になっている。

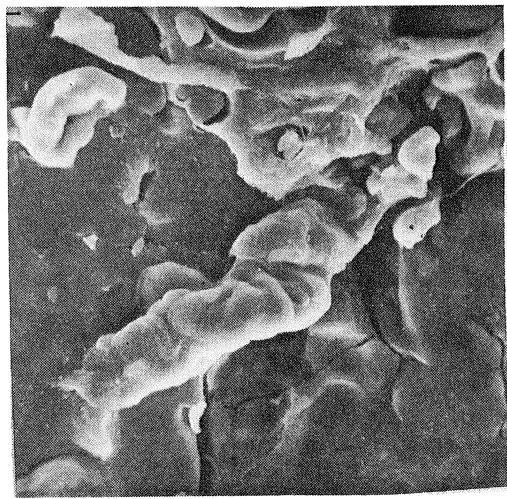
膨化品の内部組織を観察した結果を第10図に示した。卵アルブミン, カゼインナトリウム添加のものは対照と同じように滑らかな膜となってよく膨れているが, 活性グルテン添加のものは気泡が小さく, 膜も厚くなっている。

以上の餅生地と膨化品の観察結果と膨化性との間には密接な関係が認められた。即ち, 饼生地では容積の大きいカゼインナトリウム, 卵アルブミンと小さい大豆蛋白や活性グルテンを添加したものは明らかに糊の均一性に差がみられ, 膨化品でも活性グルテン添加のものは他のものに比べて内部組織に相違がみられ, 圧縮時の硬さが大となる原因をよく説明できた。

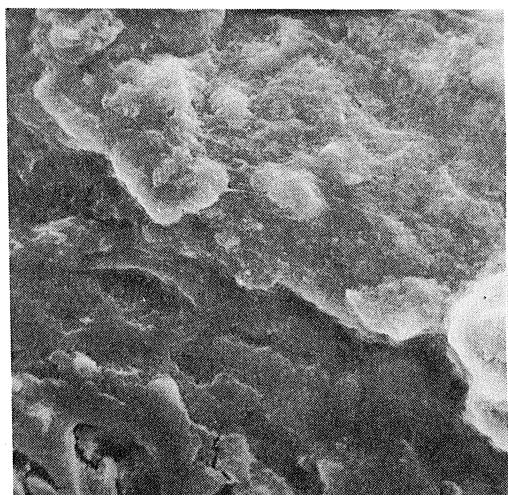
したがって, 膨化品の内部組織は実体顕微鏡によりかなり明確に観察できるが, 気泡の内部や膜の厚さなどの細部の観察は走査型電子顕微鏡によるのが望ましく, 糊の観察と共に, 膨化品の観察も膨化現象を理解するための有力な手段となる。



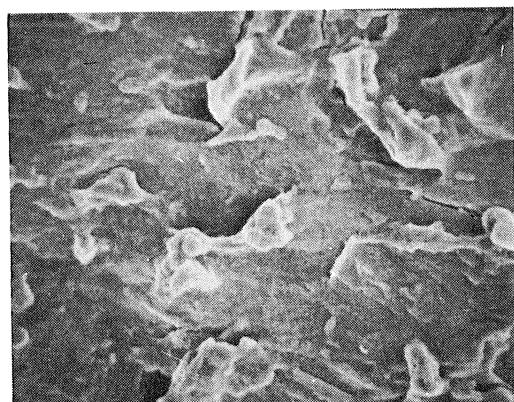
大豆たん白 M-2
5 g / 100 g でん粉



活性グルタミン
A-SS (5 g / 100 g でん粉)



卵アルブミン (5 g / 100 g でん粉)

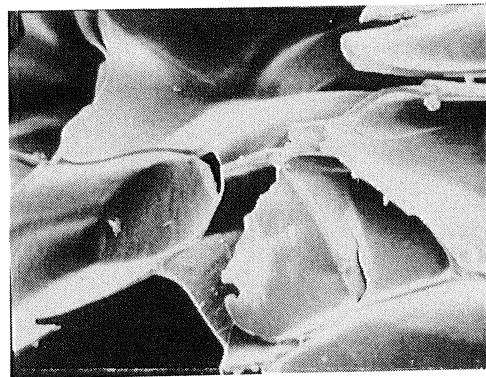


カゼインナトリウム (5 g / 100 g でん粉)

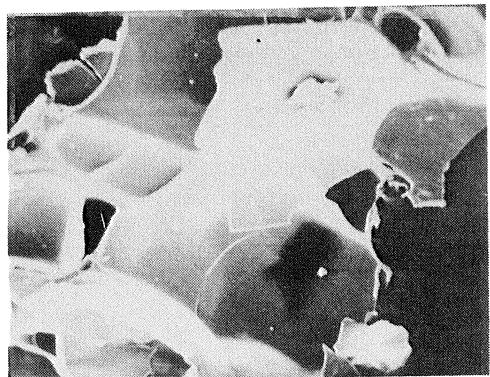
第9図 蛋白質を添加した餅生地の比較 (走査型電子顕微鏡)

加水量 1 : 1.5、加熱100℃・5分

中斜里でん粉



卵アルブミン



カゼインナトリウム



活性グルテン



対照

第10図 蛋白質を添加した膨化品の内部組織

添加量 5 g / 100 g でん粉、焼きの膨化品

走査型電子顕微鏡 倍率 ×50

考 察

前報¹⁾で膨化性に及ぼす動物蛋白の影響を検討し、蛋白質の保水力がでん粉の糊化を阻害することを明らかにした。本実験で用いた植物蛋白のうち、活性グルテンは水を加えると直ちに1.5~2.0倍の水を包含して粘弾性のあるドウを形成するが、この吸水は加熱温度の上昇に伴って増加し、70℃付近から急激となる。このような性質が魚肉、畜肉蛋白などの加熱による保水力の低下を補い、水分分離の防止、保水力の向上に効果を表すとされている²⁾。

しかし、でん粉せんべいに利用すると第5図のように膨化品の容積が小さくなり、ソフトさを重視する製品には不適当であり、小麦蛋白を利用する際にはパン、焼ふなどのように発酵または膨張剤により生ずるアルコール、炭酸ガスなどの助けが必要になる。

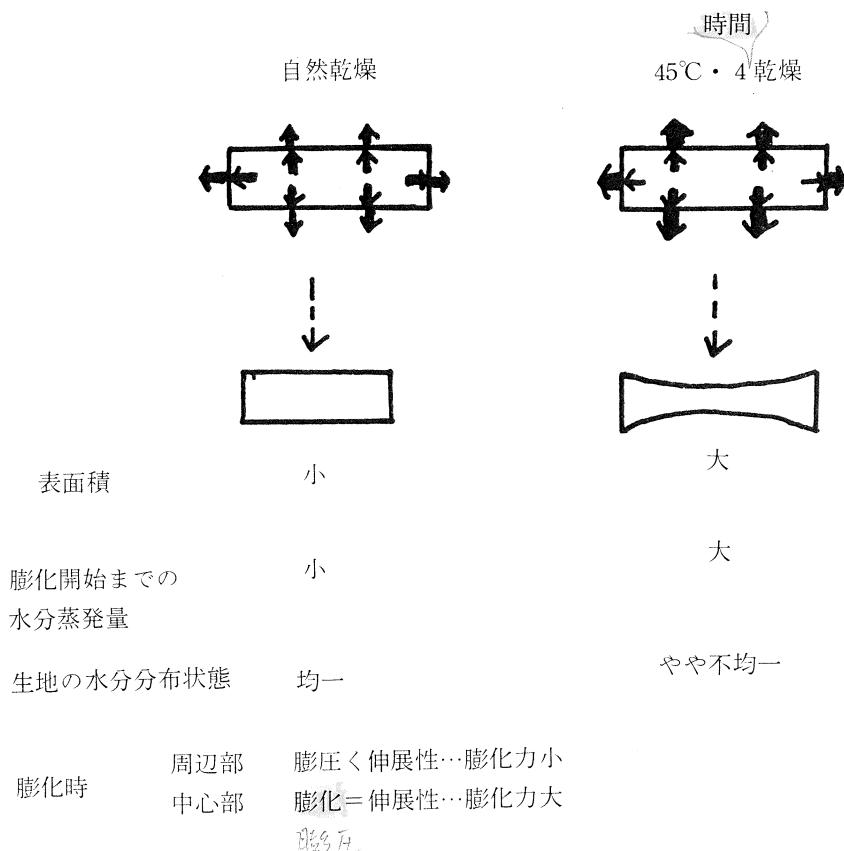
一方、大豆蛋白もゲル形成能を有しているが^{10, 11)}、5 g/100 gでん粉程度の添加量ではゲル強度の増大はみられなかったが、第9図に示したように、加水量が少ない場合には餅生地が不均一になった。この原因は第6表のように冷時における吸水率が大きく、加水と同時に大豆蛋白が吸水するために、実質的に水を少なくして糊化した状態になるものと考えられる。高橋¹²⁾らも分離大豆蛋白を添加すると、ぱれいしょでん粉の膨潤度、溶解度が著しく低下すること、糊化の遅れが認められること、低温保存すると糊化度が大きく低下し老化しやすくなると報告している。

膨化性に大きな影響を及ぼす乾燥方法であるが、第2表に示したように、乾燥方法が異なると生地の形状にかなりの差がみられた。

膨化試験の結果から、生地の形状と膨化性との関係は第11図のように考えられる。即ち、自然乾燥では餅生地の表面よりの水分蒸発速度と内部からの水分移行速度とが釣り合っているため、乾燥後の生地の中心部と周辺部が同じ厚さになり、生地中の水分分布も均一となっている。それに対して、通風乾燥では表面からの蒸発速度が大となり、急激に乾燥するほど生地の変形が大きくなり、中心部が薄くなつた。図のように、表面積の大きい45℃乾燥の生地は膨化の際の加熱による膨化開始までの水分蒸発量が多く、膨圧<伸展性となる部分が多くなり、膨圧=伸展性となる部分が少なくなるため膨れが悪くなると推定される。45℃乾燥の膨化品の内部を実体顕微鏡で観察した結果、中心部ほど大きく膨れ、表面に近い組織ではあまり膨れていないことが確認できた。

現場での“二度焼き”的えびせんべい製造では型抜き後、整形が行なわれるが、次の乾燥工程までにはかなりの時間を要するため、この過程で緩やかな初期乾燥が行われていることになる。また、実際の工場では乾燥の際、餅生地が大量に処理されるため、乾燥機内の湿度もかなり高く、実験室での45℃乾燥よりも緩和な乾燥条件になっていると考えられる。

いずれにしても、保水力のある蛋白質を加える場合には餅生地の初期乾燥を緩やかに行なうことが必要であり、焼き、油揚げそれぞれの膨化手段に合わせた生地の最終水分の調整も大切なこととなる。



第11図 乾燥方法を異にする場合の生地の形状変化と膨化性との関係

↑↑↑↑ 生地表面よりの蒸発速度、内部からの水分の移行速度の大小を示す。

要 約

蛋白質の膨化への影響を明らかにするため数種の植物蛋白を用いて膨化試験を行なった。

- 大豆蛋白M 2 の添加量が増すほど膨化品の容積は減少し、容積は自然乾燥 > 40°C・71%RH > 45°C・4時間乾燥の順になり、膨化力に餅生地の乾燥速度が大きく影響を及ぼすことが明らかになった。
- 加水量 1 : 1.7, 添加量 7.5 g / 100 g でん粉のとき、カゼインナトリウム、卵アルブミン、大豆蛋白では 6 ml/g 以上の容積となるが、活性グルテンでは容積が著しく減少した。
- 活性グルテンは糊の冷却時のゲル強度の増大がでん粉の膨化力を阻害し、大豆蛋白は冷時における吸水力が強いため、でん粉の糊化を抑制すると考えられる。
- 下記物品の添加量 5 g / 100 g でん粉のときの餅生地を走査型電子顕微鏡で観察した結果、卵アルブミン、カゼインナトリウム添加のものはかなり均一な糊になっているが、大豆蛋白、活性グルテン

添加のものは不均一な糊になっていた。

5. 膨化品の内部を観察した結果、卵アルブミン、ガゼインナトリウム添加のものは対照と同じように滑らかな膜となってよく膨れているが、活性グルテン添加のものは気泡が小さく、膜も厚くなっていることが認められた。

文 献

- 1) 杉本：愛知食品工技年報，31，43（1990）
- 2) 杉本：日食工誌，24，1（1977）
- 3) 杉本ら：愛知食品工技年報，31，29（1990）
- 4) 杉本ら：澱粉科学，26，231（1979）
- 5) Smith & Circle：大豆タンパク質 —その科学と加工技術—（渡辺、柴崎共訳），P312，建帛社（1974）
- 6) 農林省告示第838号：植物性たん白及び調味植物性たん白の日本農林規格，第9条（1976）
- 7) 杉本、後藤：澱粉工誌，13，108（1966）
- 8) 小島ら：澱粉科学，33，183（1986）
- 9) 遠藤：食品開発，12（3），36（1977）
- 10) 田中：New Food Industry，16（5），33（1974）
- 11) 青木：日食工誌，17，129（1970）
- 12) 高橋ら：日食工誌，30，276（1983）