

でん粉の膨化に関する研究（第6報）

膨化倍数及び膨化品の硬さに及ぼす添加物の影響

杉本勝之・好井久雄*

既報¹⁾において、ばれいしょでん粉の性質、即ち、粘度、膨潤度、ゲルの弾性率、結合リンの比およびカルシウム・マグネシウム含量などがでん粉の膨化倍数に影響を及ぼすことを報告した。

本研究の対象とする“二度焼き”的えびせんべいの膨化にはでん粉以外の副原料、即ち、しょ糖、食塩、グルタミン酸ソーダの影響が考えられる。

露木ら²⁾はでん粉質食品の発泡乾燥時に老化防止剤（糖類、界面活性剤）、補強剤および発泡開始促進剤（熱凝固性蛋白質の未変性のもの、カルシウム類）を添加すると膨張度の大きい良質の製品が得られるとして、高橋ら³⁾はとうもろこしおよび甘藷でん粉にクエン酸、食塩、甘しょ糖を添加すると膨化力が大になると報告している。露木らの実験はマイクロ波加熱による発泡乾燥であり、試験管中でん粉を糊化、加熱する高橋らの方法は“一度焼き”に相当し、糊化、乾燥した生地を再加熱により膨化させる“二度焼き”を対象とした添加物の影響に関する報告は見当らない。

そのため、本報では既報⁴⁾の方法によりばれいしょでん粉を糊化、乾燥し、焼きおよび油揚げにより膨化させたときの膨化に及ぼす各種添加物の影響について検討を行い、若干の知見を得たので報告する。

実験方法

1. 試料

1. 1 でん粉 市販の中斜里工場の製品 2 点。

1. 2 添加物 炭水化物は 6 種（マルチトール、SE-100 は日研化学株製、アミロペクチンは試薬 1 級、その他は特級試薬）、含窒素化合物は 13 種（ポリペプトンは細菌培地用、卵アルブミンは試薬 1 級、その他は特級試薬）、無機化合物は 14 種（ホウ砂、炭酸ナトリウム、炭酸水素ナトリウム、アンモニウムミョウバンは試薬 1 級、その他は特級試薬）、有機酸は 3 種（特級試薬）、脂肪酸は 2 種（試薬 1 級）を用いた。

2. 生地の調整法

既報⁴⁾にしたがって加水率は 1 : 1.5、加熱条件は 100°C · 5 分、糊の乾燥は 45°C · 4 時間行なった。

*東京農業大学醸造学科（〒156 東京都世田谷区桜丘1-1-1）

添加物はすべて水に溶解または混合してから加えた。

3. 膨化倍数および硬さの測定

既報⁴⁾にしたがって焼きおよび油揚げによる製品の膨化倍数を植物種子置換法により求め、硬さをオートグラフ（株島津製作所製、IM-100S型）により測定した。

4. 膨化品の内部組織および糊の観察

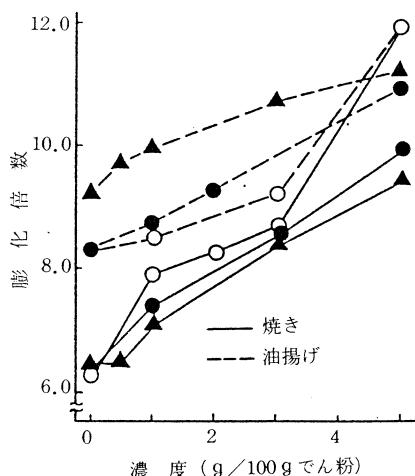
オリンパス光学工業株製のズーム式三眼実体顕微鏡（Sr-Tr型）により膨化品の内部を、日本電子株製の走査型電子顕微鏡により生地の観察を行なった。

実験結果および考察

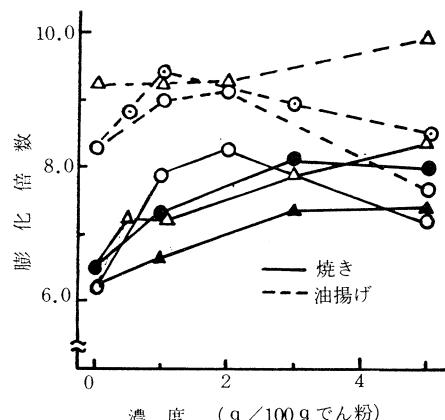
1. 膨化倍数におよぼす添加物の影響

各種添加物と膨化倍数との関係を第1～4図および第1表に示した。これらの影響は添加物の種類あるいは量により、次の4型に大別できる。

膨化倍数が著しく増大する型は尿素、塩酸グアニジン、食塩であり、これらの添加量が増すにつれて焼き、油揚げとともに膨化倍数は著しく大となった（第1図）。膨化倍数がやや増大する型では塩化カルシウム添加により膨化倍数はやや大となり（第2図）、グリシン、グルタミン酸ナトリウム添加では焼きの膨化倍数がやや大となった。また、ポリペプトン、卵アルブミン（油揚げのみ）添加では他のものと異なり、1～2%の添加では膨化倍数は大となるが、さらに添加量を増すと逆に減少を示した（第2図）。



第1図 膨化倍数に及ぼす塩酸グアニジン、尿素、食塩の影響
●塩酸、○尿素、▲食塩



第2図 膨化倍数に及ぼすグリシン、グルタミン酸ナトリウム、卵アルブミン、ポリペプトンおよび塩化カルシウムの影響
○グリシン、▲グルタミン酸ナトリウム、○ポリペプトン、◎卵アルブミン
△塩化カルシウム

第1表 膨化品の膨化倍数と硬さに及ぼす添加物の影響

添 加 物	添 加 量 g/100gでん粉	膨化倍数*	焼 き 硬 さ*	油 揚 げ 膨化倍数	硬 さ
ブ ド ウ 糖	5	0.91	0.71	0.87	1.03
果 糖	"	0.89	—	0.99	—
マルチトール	"	1.08	0.64	1.06	—
SE-100 ^{a)}	"	1.00	—	1.01	0.94
アミロペクチン ^{b)}	50	0.82	0.79	0.87	—
メチオニン	3	1.12	0.61	1.09	0.69
フェニルアラニン	"	1.14	0.66	1.05	—
アルギニン	"	0.95	0.53	1.04	0.66
アラニン	"	1.08	—	1.09	0.72
チオ尿素	5	1.85	0.45	1.57	0.47
アクリルアミド	"	1.17	0.40	0.96	0.56
酒石酸ナトリウム	5	0.92	0.95	0.95	1.00
リノール酸	1	0.68	3.47	0.70	2.97
NH ₄ Cl	5	1.48	0.51	1.33	0.67
KCl	"	1.47	0.49	1.25	0.73
AlCl ₃ · 6H ₂ O	2	0.51	0.50	0.72	0.56
KBr	5	1.22	0.73	1.20	0.50
KI	"	1.21	0.62	1.15	0.69
KNO ₃	"	1.18	—	1.10	0.69
Na ₂ CO ₃	"	1.15	0.51	1.05	0.57
Na ₂ SO ₄	"	0.98	0.64	1.04	—
Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	"	0.81	1.28	0.65	1.30

*膨化倍数、硬さは対照を1.00としたときの比率で示した。

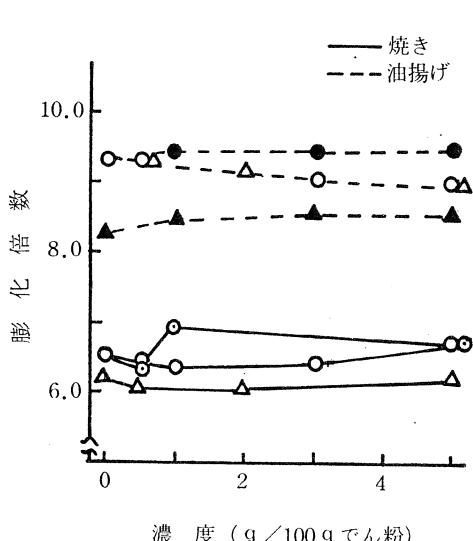
対照：膨化倍数（焼き6.2、油揚げ9.3）、硬さ（焼き5.3、油揚げ3.2kg/cm²）

a) 市販の還元糖（日研化学株）

b) 試薬1級

膨化倍数の変化がない型では、しょ糖、炭酸水素ナトリウム添加による焼き、油揚げとともに、また卵アルブミン添加による焼きの膨化倍数は無添加と差が見られなかった（第3図）。

膨化倍数が著しく減少する型ではカプリン酸ナトリウムおよび塩化鉄添加により膨化倍数は著しく低下し、特に塩化第二鉄は0.5gの添加で膨化倍数が焼き、油揚げともにほぼ1/2に低下した（第4図）。



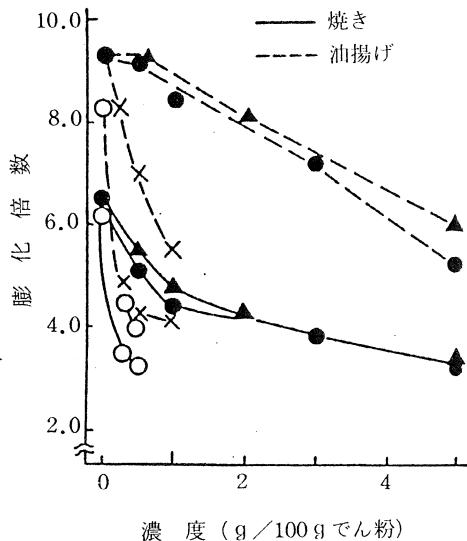
第3図 膨化倍数に及ぼすグリシン、グルタミン酸ナトリウム、炭酸水素ナトリウム、卵アルブミンおよびしょ糖の影響
 ●グリシン、▲グルタミン酸ナトリウム
 △炭酸水素ナトリウム、◎卵アルブミン
 ○しょ糖

その他の添加物では第1表に示すように、チオ尿素、塩化アンモニウム、塩化カリウム、臭化カリウム添加により膨化倍数が大となり塩化アルミニウム、リノール酸では著しく、ホウ砂添加ではやや膨化倍数は小となった。

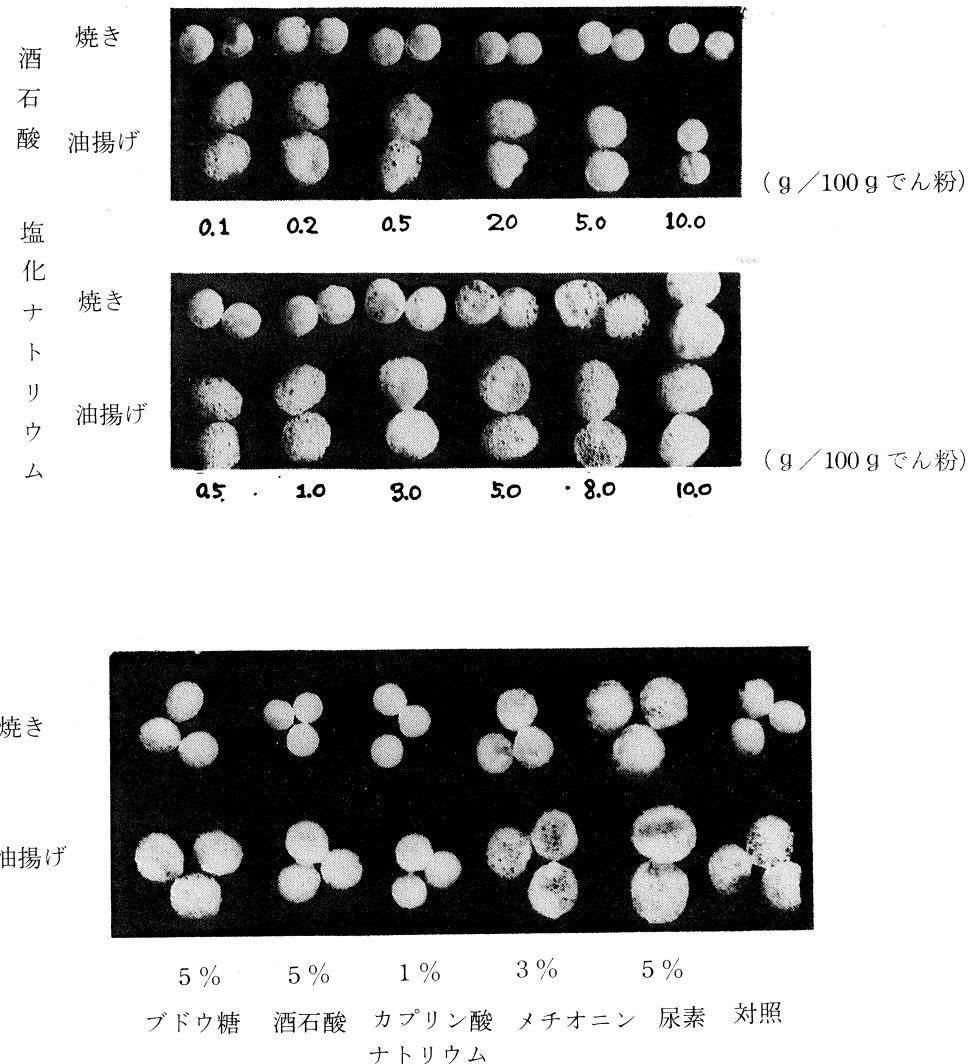
第5図は各種添加物を加えた膨化品の写真を示した。5%以上の食塩添加では組織が粗くなり、やや白濁が起こる。

以上の結果から、ばれいしょでん粉の膨化は添加物の種類と量により著しく影響されることが明らかとなった。

膨化力は穀類と地下でん粉では著しく異なることが知られ⁵⁾、でん粉の膨化力はアミロペクチン含量にもいくらかの関係があるが、それより最高比粘度に関係があり、アミロペクチンの強い伸展性は膨化力に関係を及ぼすといわれる。



第4図 膨化倍数に及ぼすクエン酸、酒石酸、セイヨウラテキシド酸ナトリウムおよび塩化鉄の影響
 ○クエン酸、▲酒石酸、△セイヨウラテキシド酸ナトリウム、○塩化鉄・6水塩
 X ホウ砂



第5図 ブドウ糖、酒石酸、その他の添加物を加えた膨化品の比較

しかし、高橋ら³⁾の実験ではクエン酸添加によって膨化力が大になるとされるが、本報では、クエン酸は第4図のごとく、逆の結果を示した。したがって、試験方法やでん粉の種類の差により違った結果が得られる可能性がある。特にばれいしょでん粉は蛋白質の添加により粘度が著しく変化することが知られており⁶⁾、他のでん粉より膨化に及ぼす添加物の影響も著しいと考えられる。

2. でん粉の粘度およびゲルの性質と膨化との関係

膨化に及ぼす添加物の影響を解析するため、既報^{7, 8)}の粘度との関係について検討を行なった。アミログラムの最高粘度との関連性は無機物、有機物とともに認められないが、粘度比（95℃の粘度／最高粘度）が対照よりも著しく上昇するもの、低下するものは膨化倍数が低下する傾向が見られた（第2表）。

プラストグラムでは最高粘度が著しく上昇するもの、やや上昇するものは膨化倍数が低下し、糊化開始温度が低下するものは膨化倍数が大となる傾向が認められた。しかし、ホウ砂はプラストグラムの糊化開始温度が低下し、ゲルの弾性率が減少するにもかかわらず、膨化倍数は小となるホウ砂のような例外的なものもあった。

第2表 添加物を加えたでん粉糊およびゲルの性質と膨化との関係

物 性	膨化倍数	添 加 物
アミログラムの粘度比 著しい上昇または低下 やや増加、変化なし	小 ・大、やや大	カプリン酸ナトリウム、酒石酸 FeCl_3 , AlCl_3 , ホウ砂 尿素、グルタミン酸ナトリウム
プラストグラム 糊化開始温度の低下	大	尿素、KCNS
最高粘度の上昇	小	カプリン酸ナトリウム アルミニウムミョウバン、ホウ砂 FeCl_3 , AlCl_3
でん粉ゲル 弾性率の増大	小	酒石酸、カプリン酸ナトリウム、 FeCl_3
弾性率の減少	大	尿素、グルタミン酸ナトリウム KI, KCNS

本実験で膨化倍数が著しく大となった尿素、塩酸グアニジンは極性が高く、アルカリ溶液と同じようにでん粉を冷時糊化させる性質があり、蛋白質変性剤の尿素（2%添加）は小麦粉の場合にも混合後の生地の抗張力を増すといわれ⁹⁾、尿素添加による膨化倍数の増大は水素結合への影響によるものと推察される。

ポリペプトンなどの蛋白質を添加した場合に膨化倍数がやや大となつたが、これは膨化品に亀裂を生じたり、やや膨化品が不均一になつたためで、添加量が増すと膨化倍数は低下する傾向が認められた。

斎藤ら¹⁰⁾はモチ米でん粉の糊化、膨潤に与えるポリペプトンの影響を加熱ファリノグラフにより追究し、でん粉の糊化開始温度が高くなると報告している。

無機塩は高濃度溶液においてでん粉の糊化温度を低下させ、その効果は陰イオンではホフマイスター系列（離液系列）に従うと Gerlsma¹¹⁾が報告し、中浜ら¹²⁾は0.2N溶液についてでん粉ゲルのみかけの

弾性率が $\text{NaSCN} < \text{NaCl} < \text{Na}_2\text{SO}_4$ の順に大になるとしている。また、電解質はでん粉の粘度¹³⁾、老化¹⁴⁾などに影響を及ぼし、それらはすべて離液系列に従うことが明らかにされ、高橋ら¹⁵⁾は示差熱分析により、フッ化物は糊化温度を上昇させ、他のハロゲン化物は糊化温度を低下させると報告している。

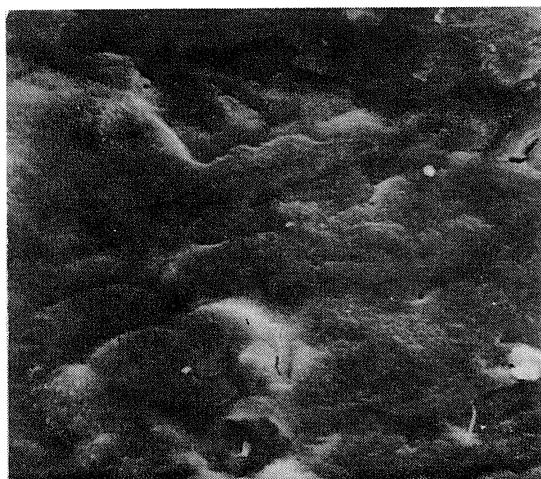
本報の無機塩添加の場合の液中濃度は 5 g 添加で 0.2~0.6 N となり、膨化倍数は KI (0.2 N) > KNO_3 (0.33 N), NaCl (0.57 N) > Na_2SO_4 (0.47 N) の関係が認められ、Gerlsma¹¹⁾, Medcalf ら¹³⁾の実験においてでん粉の糊化温度を低下させるものほど膨化倍数が大になる傾向が認められた。

陽イオンについては 1 値、2 値の塩化物は膨化倍数の増大が見られたが、3 値の鉄、アルミニウムは逆に膨化倍数が著しく低下した。ばれいしょでん粉では共存電解質により流動学的性質が著しく異なり、微量の鉄 (0.1 ppm 溶液処理) による糊の弾性の増加、放置後のゲル構造の強化などの影響を受けるとされ¹⁶⁾、寒天ゼリーでも鉄塩は 1 ppm でもゼリー強度に影響が見られ、10 ppm では寒天の品質の低下を生ずると報告されている。¹⁷⁾したがって、3 値の陽イオンでのん粉に及ぼす影響も 1 値、2 値の陽イオンとはかなり異なると推定される。

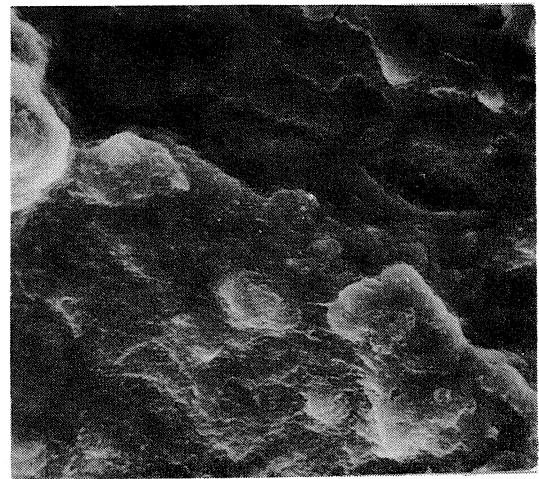
本報では脂肪酸はカプリン酸ナトリウムとリノール酸を用いたが、第 4 図および第 1 表のようにいずれも膨化倍数が著しく低下した。でん粉に脂肪酸を添加すると糊化に著しい影響を及ぼすことはよく知られており^{18~20)}、とうもろこし、小麦などの穀類でん粉は 0.5% 程度の脂質を含み、この脂肪酸部分はアミロースとラセイン状の包接化合物を形成しており、この脂質がこれらのでん粉の性質に大きな影響を与えていているとされている²¹⁾。後藤⁵⁾は各種でん粉の 7.7 に対して穀類でん粉はいずれも低い膨化倍数 (小麦 2.2, とうもろこし 2.6, 米 4.2) を示すと報告しているが、著者ら²²⁾もほぼ同様の結果を得ている。これらの結果から、脂肪酸はでん粉の糊の性質に大きな影響を及ぼし、そのため、膨化倍数も影響を受けていると考えられる。

第 6 図は走査型電子顕微鏡により糊を観察した結果を例示した。図のように、卵アルブミン添加の生地は対照とほぼ同じように糊化されているが、酒石酸とカプリン酸ナトリウム添加では前者では細かい粒子の破片が、後者ではかなり大きな粒子が残存し、いずれも不均一な糊となっていることが分かった。

また、第 7 図にはホウ砂と塩化アルミニウム添加の生地を比較したものであるが、ホウ砂では均一な糊になっているが、塩化アルミニウムでは全体が細かい粒子になっており、既報⁷⁾のアミログラムおよびプラスチグラムにおける粘度挙動に関係があると思われる。



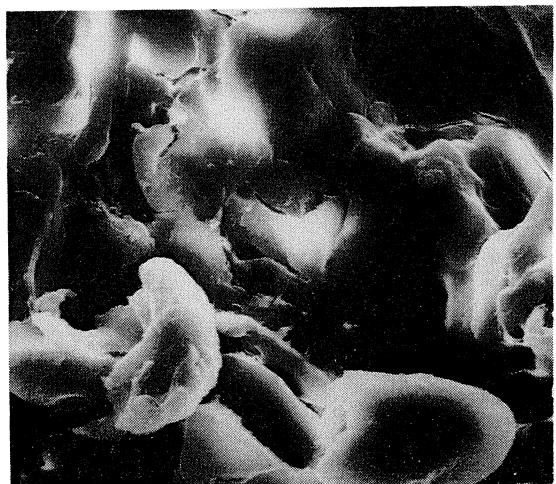
対 照



卵アルブミン (5 g / 100 g でん粉)

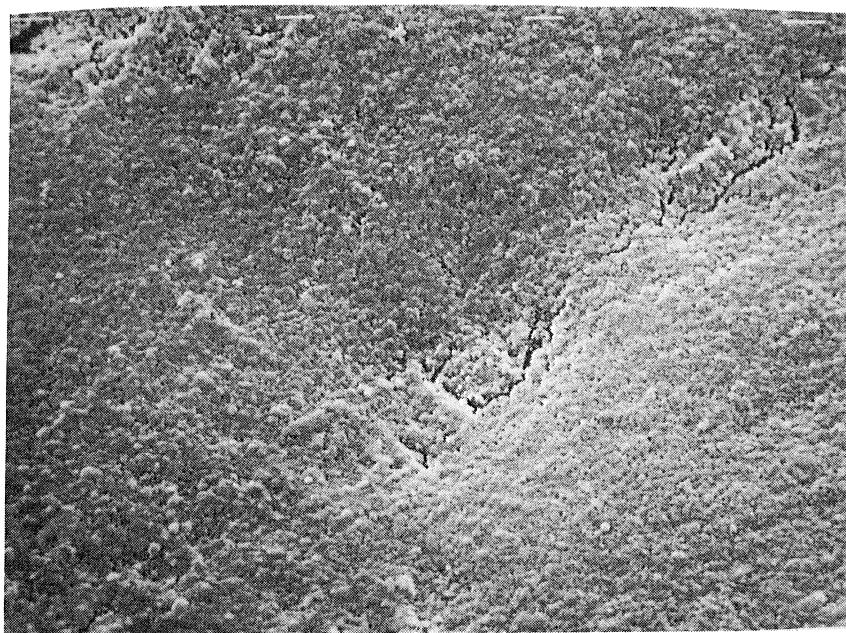


酒石酸 (2 g / 100 g でん粉)



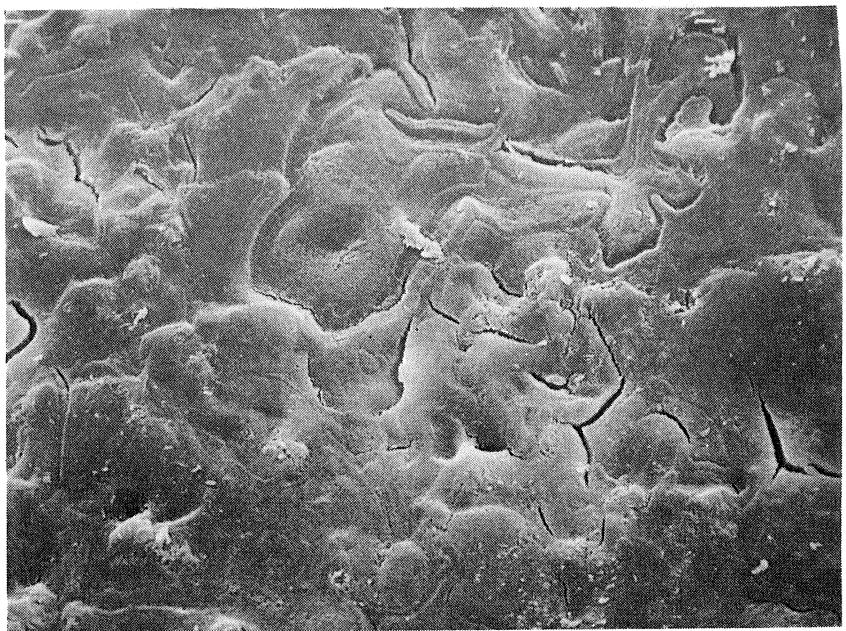
カプリン酸ナトリウム (1 g / 100 g でん粉)

第6図 添加物を変えて加熱した生地の比較
走査型電子顕微鏡 ($\times 1,000$)



塩化アルミニウム (1.0 g / 100 g でん粉)

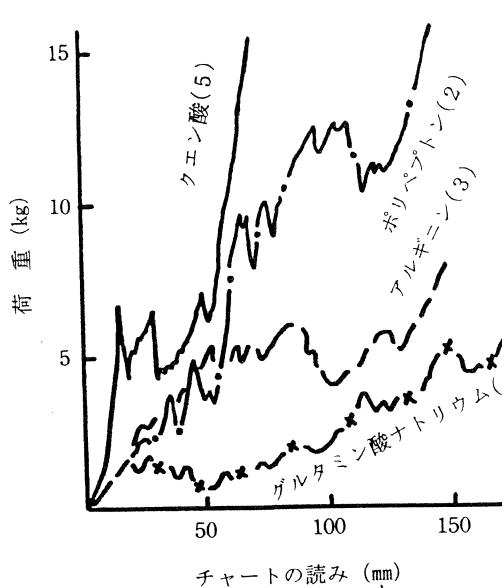
×3,500



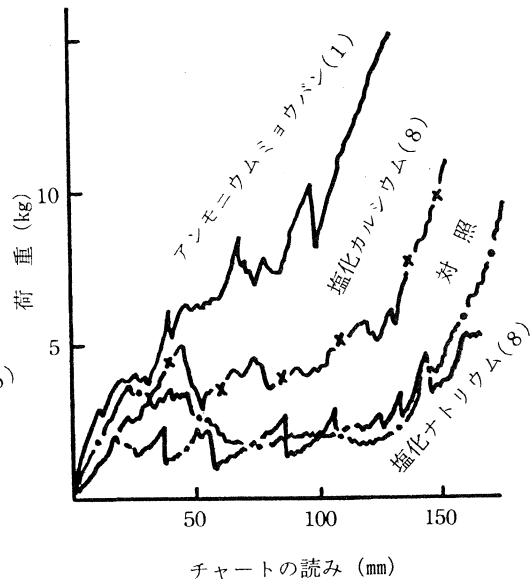
ホウ砂 (2.0 g / 100 g でん粉)

×1,000

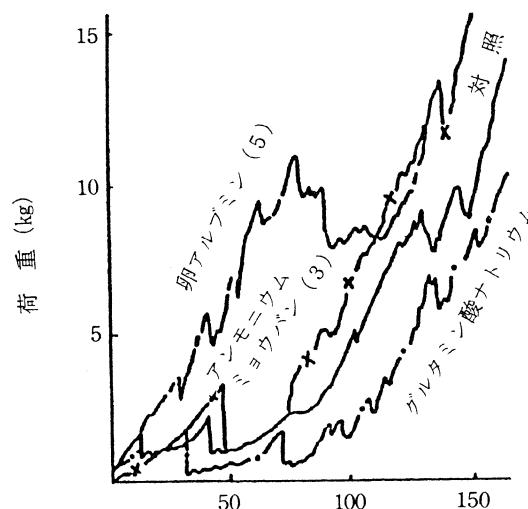
第7図 塩化アルミニウムとホウ砂添加の糊の比較



第8図 烧きの膨化品の圧縮曲線に及ぼすグルタミン酸ナトリウム、アルギニン、ポリペプトン、およびクエン酸の影響、()内の数字は、でん粉100gに対する添加量(g)
圧縮スピード 20mm/min、チャートスピード 500mm/min



第9図 烧きの膨化品の圧縮曲線に及ぼす塩化ナトリウム、塩化カルシウムおよびアンモニウムヨウバンの影響、測定条件は第8図と同じ



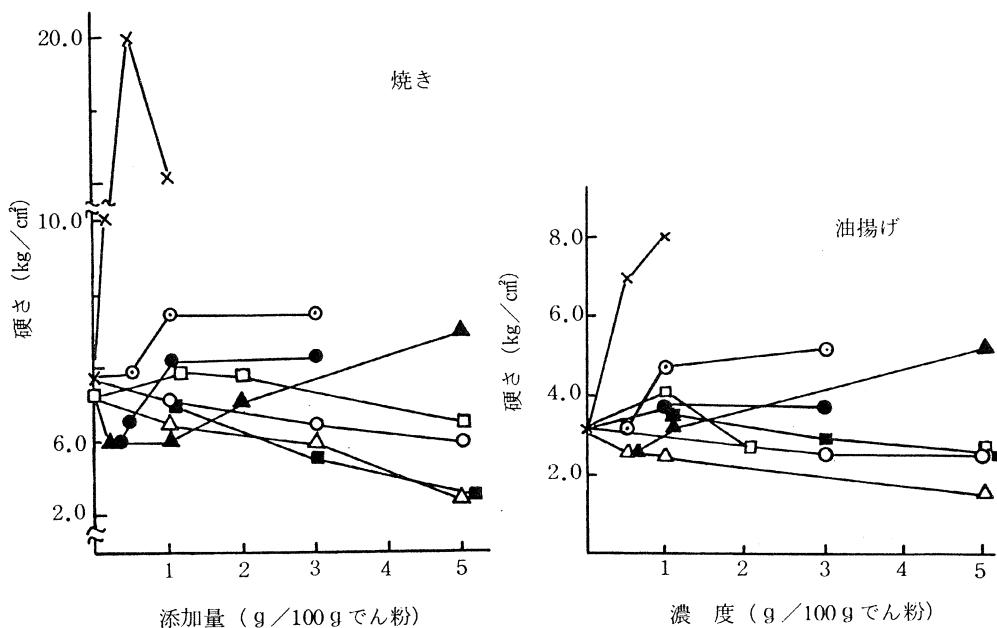
第10図 油揚げによる膨化品の圧縮曲線に及ぼす、グルタミン酸ナトリウム、卵アルブミンおよびアンモニウムヨウバンの影響
測定条件は第8図と同じ

3. 膨化品の硬さ

膨化品の圧縮破壊曲線を第8～10図に例示した。図のように、焼きではクエン酸、アンモニウムミヨウバン添加、油揚げでは卵アルブミン添加のものが圧縮により急激に荷重が増加した。

添加量と硬さとの関係は第11、12図に示すように、焼きの硬さはカプリン酸ナトリウム添加で大となり、アンモニウムミヨウバン添加では硬さが対照よりやや大となった。有機酸の0.5～1.0 g 添加では小となるが、1.0 g 以上の添加では大となった。グルタミン酸ナトリウム、食塩は添加量が増すにつれて硬さは小となり、5.0 g 添加では 2.5 kg/cm^2 になった(第11図)。油揚げの膨化品の硬さはカプリン酸ナトリウム、アンモニウムミヨウバン添加で大となり、食塩添加ではやや小となった(第12図)。

他の添加物ではリノール酸、ホウ砂、塩化鉄、卵アルブミン添加で硬さが大となり、その他はいずれも硬さは小となった。



第11図 製品の硬さに及ぼす各種添加物の影響

- アンモニウムミヨウバン、▲食塩、
- しょ糖、■グルタミン酸ナトリウム
- ポリペプトン、●クエン酸、▲酒石酸、
- X カッピング試験結果

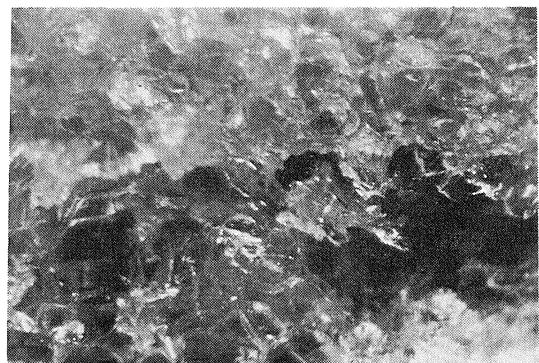
第12図 油揚げの場合の膨化品の硬さに及ぼす各

種添加物の濃度の影響

記号は第11回と同じ



カプリン酸ナトリウム
(1 g / 100 g でん粉)



卵アルブミン (5 g / 100 g でん粉)



尿素 (5 g / 100 g でん粉)



食塩 (5 g / 100 g でん粉)

1.0mm

第13図 膨化品の内部組織の比較（実体顕微鏡）

以上の結果から、含窒素化合物では低分子の尿素、アミノ酸、ポリペプトンなどは対照より硬さが小となったが、卵アルブミンでは硬さが大となった。

脂肪酸については本報では均一性を重視して、溶解度の高いカプリン酸ナトリウムとリノール酸を用いたが、いずれも膨化品の硬さは著しく大となった。しかし、後藤²³⁾は高濃度でん粉乳中の膨潤阻害効果をプラスチックグラフを用いて検討し、オレイン酸、パルミチン酸、ミリスチン酸などの阻害効果が著しいことを認めているため、脂肪酸の種類の膨化への影響も追究する必要があろう。

第3表 膨化品の硬さに及ぼす添加物の影響

	添 加 量 g/100gでん粉	硬 さ*	
		焼 き	油 揚 げ
グリシン	5	0.45	0.83
尿素	"	0.51	0.53
塩酸グアニジン	"	0.64	0.81
卵アルブミン	"	1.16	1.50
CaCl ₂ · 2H ₂ O	"	0.77	0.60
FeCl ₂ · 6H ₂ O	0.5	1.09	1.70
NaHCO ₃	5	0.48	0.63

a) 硬さは対照を1.00とした場合の比率で示した。

無機塩ではホウ砂、アンモニウムミョウバン、塩化鉄添加などは硬さ大となったが、他のものはいずれも小となった。3価の鉄とアルミニウムでは膨化倍数は両者とも小となったが、硬さは異なった傾向が認められた。即ち、鉄添加では硬さが大となったがアルミニウムは小となった。

膨化品の硬さについては米菓の製造条件による製品硬度の差に関する斎藤²⁴⁾の報告が見られるが、添加物の硬さに及ぼす影響についての報告はまったく見当らない。

第13図は実体顕微鏡で観察した膨化品の内部組織を例示した。尿素、食塩添加のものでは気泡が大きく、よく膨れているのに対して、卵アルブミン添加の内部は気泡が小さく、組織もやや不均一になっており、カプリン酸ナトリウム添加では添加量は少なくとも、糊の膨れていない部分が多く、膨化品の硬さと密接な関係が見られた。

要 約

ばれいしょでん粉の膨化に及ぼす各種添加物の影響を明らかにするため、膨化倍数および膨化品の硬さにつき検討を行なった。

1. 焼きでは尿素、チオ尿素、塩酸グアニジン、食塩添加の膨化倍数が大となり、カプリン酸ナトリウム、塩化第二鉄、有機酸添加は小となった。
2. 1価、2価の陽イオン添加の場合、膨化倍数は陰イオンによって影響を受け、その度合いは離液系列と関係が認められるが、3価の陽イオンは異なった挙動を示し、鉄とアルミニウム添加ではともに膨化倍数が著しく低下した。

3. 粘度およびゲルの性質と膨化との関係を検討した結果、アミログラムの粘度比、プラストグラムの最高粘度および糊化開始温度と膨化倍数との関連性が認められた。

4. 膨化品の硬さでは脂肪酸添加が最も大となり卵アルブミン、有機酸、ホウ砂添加がやや大となり、食塩、アミノ酸、尿素、ショ糖添加は対照より硬さが小となった。

5. 3種の鉄とアルミニウム添加では膨化品の硬さに差がみられ、鉄は対照より硬さが大となるが、アルミニウムでは小となった。

本報告の概要は日本澱粉学会（昭和49年6月27日）において講演した。

文 献

- 1) 杉本ら：日食工誌，24，7（1977）
- 2) 露木、首藤：食品工業，12（24），83（1969）
- 3) 高橋ら：岐大農研究報告，9，124（1958）
- 4) 杉本ら：日食工誌，24，1（1977）
- 5) 後藤：澱粉科学，19，100（1972）
- 6) 八木、岡本：農化，50，327（1976）
- 7) 杉本：愛知食品工技年報，30，51（1989）
- 8) 杉本：愛知食品工技年報，30，60（1989）
- 9) 佐藤ら：農産技研誌，5，8（1958）
- 10) 斎藤ら：新潟食品研報，13，75（1974）
Xerac
- 11) S. Y. Gerlsma : Starke, 22, 3 (1970)
Starke
- 12) 中浜ら：家政誌，22，303
- 13) F. D. Medcalf and K. A. Gilles : Starke, 18, 101 (1966)
- 14) M. K. S. Morsi and C. Sterring : T. Polymer Science, Part A1, 3547 (1963)
- 15) 高橋ら：澱粉科学，27，22（1980）
ak
- 16) 高橋ら：農化，32，243（1958）
- 17) 田崎ら：日食工誌，9，274（1962）
ak
- 18) H. W. Leach et al. : Cereal Chem., 36, 534 (1959)
- 19) K. Yasumatsu and S. Moritaka : T. Food, Sci. , 29, 198 (1964)
- 20) V. M. Gray and T. J. Schoch : Starke, 14, 239 (1962)
- 21) 檜作：食品工業，12（2），89（1969）
- 22) 杉本ら：澱粉科学，26，241（1979）
- 23) 後藤：澱粉科学，19，76（1972）
- 24) 斎藤：日本食品工業学会第17回大会、特別講演ならびにシンポジウム講演集，P50（1970）