

# 加熱デンプンの添加物による影響について (第1報)

## —形態学的観察—

奥 田 弘 枝

(昭和46年12月6日受理)

### On the Influence of the Annexes on Heated Starch (Part 1)

#### —On Morphological Observation—

Hiroe OKUDA

#### Abstract

Starch is sometimes used alone but very often it is used by annexing all sorts of seasonings and others.

On the influence of the annexes a lot of reports have already been made from the aspect of rheology. This experiment is a morphological observation of the variations of heated starch granules by annexing the seasonings generally used in cooking.

All the starch granules used for the observation were derived from potatoes (*solanum tuberosum*), sweet potatoes (*ipomoea batatas*) and corn (*zea mays*) on the market by triturating them according to the established method, passing them through a 120-mesh metal sieve, removing grease and protein from them, suspending them in the water, centrifugalizing them (3,000 r.p.m. 5 min) and drying the precipitates. Wheat (*Triticum aestivum*) starch was derived by washing with water some dozen times and drying starch which was made from wheat flour on the market by separating it in the water into gluten and starch.

To these starch granules I added NaCl solution, saccharose solution and acetic acid solution with all sorts of thickness, and heated them at 100 degrees for a limited hour. Then I dyed them with iodine potassium iodide solution, embedded them with glycerin, and observed them through the optical microscope.

I could find the variations of the internal structure of heated starch through the phase contrast microscope. Because the stratiform structure disappeared. Further I should like to add that I used heated starch granules without the annexes for the sake of contrast.

In the case of heated starch granules with NaCl solution more amylose gushed out and the expansion of the starch granules was smaller than in the case of heated starch granules without the annexes.

Saccharose solution added to the starch granules controled their expansion, and as I increased its quantity these was every indication that it controled their expansion more effectively.

When I added acetic acid solution to them, more amylose gushed out than in any other case, and the acid promoted the hydrolysis and broke them down.

We can reason that all of these phenomena will endorse the variations of viscosity and elasticity.

(Received December 6, 1971)

## I 緒 言

デンプンは、加熱して食されるが、加熱することにより形態変化（膨潤）がおきる。膨潤変化は添加物（調味料）による影響を受ける。調味料がデンプン糊化に及ぼす影響についてはレオロジーの面からの種々の文献はあるが形態学的面からの観察を行なった報告は少ない。

本実験はデンプンを調理する際に使用度の高い食塩、蔗糖、酢酸を添加した加熱デンプン粒の変化を形態学的な面から観察を行なったものである。

## II 実 験

### 1. 試 料

じゃがいも：品種 男しゃく (*Solanum tuberosum*)

さつまいも：品種 護 国 (*Lpomoëa batatas*)

とうもろこし：品種 デントコーン (*Zea mays*)

これらのデンプン粒は常法によって摩砕したあと 120 mesh の金属性のふるいを通した。また脱脂、脱蛋白をしたあと水に懸濁し、遠心分離 (3,000 r.p.m. 5 min) した後、沈でん物を乾燥させて試料とした。

小麦 (*Triticum aestivum*) デンプンは市販の小麦粉を水中でグルテンとデンプンとに分け、得られたデンプンを十数回水洗した後乾燥させたものである。

食塩：分析用 1 級品

蔗糖：分析用特級品

酢酸：分析用特級品

### 2. 実 験

実験に使用した調味料の濃度は調理で一般に用いられている濃度に希釈したものと、影響力を顕著に見るため濃度を高くしたものとを用いた。各々の調味料濃度を示すと Table 1 の如くである。これに対して蒸溜水のみを加えて加熱したものをコントロールとした。これらの調味料の溶液をそれぞれ 10 ml 入りの時計皿に入れてデンプン粉末をタンポンで散布し、100 ± 2°C の蒸し器の中で加熱を行なった。加

Table 1

調味料	濃 度	
	濃	度
食 塩	2 %	5 %
蔗 糖	10 %	30 % 70 %
酢 酸	0.5 % (pH3.2)	1.0 % (pH2.2)

(備考) 蔗糖 70% は常温で溶解しうる最高濃度とし酢酸 0.5 % は食酢の 10% 濃度に近いものとした。

熱時間の違いによる変化の観察に際しては3分間、5分間、10分間加熱を行ない、他はすべて5分間加熱を行なったのち、室温に放冷し、Slide glassにとりヨード、ヨー化カリウム液で染色しグリセリンで封入して検鏡した。

### Ⅲ 実験結果及び考察

#### 1. ジャがいもデンプンに対する影響

生のジャがいもデンプン粒は Out line が滑らかな楕円形をしている (Fig. 1)。これを走査型電子顕微鏡で見ると立体構造は (Fig. 2) に示したように中央部がふくらみ厚みもあり、あたかも卵を思わせる滑らかな表面をしている。

蒸溜水のみを加えて3分間加熱した場合デンプン粒は膨潤し分子量の小さいアミロースの溶出が見られる (Fig. 3)、アミロースが溶出したあとの痕跡ではないかと思われるしわが生じている。しわが生じる部位に方向性があるように考えられるが、しわは hilum<sup>1)</sup> の存在する同部位から生じるものか、あるいは hilum の反対方向から生じるものか今後の研究にゆずる。

蒸溜水のみを加えて5分間加熱したものを (Fig. 4) コントロールとして調味料を添加したものと形態上の違いを比較してゆきたい。

10分間加熱の場合は今までのものより膨潤度がさらに増加している (Fig. 5)。加熱時間がながくなるに従いデンプン粒の膨潤度が大きい。

2%食塩溶液を添加して5分間加熱したものは (Fig. 6)、多量のアミロースが溶出し、コントロールに比較してデンプン粒が小さく、食塩濃度が5%と高くなるに従いこの傾向が増す (Fig. 7)。

次に10%の蔗糖溶液を添加して5分間加熱した場合 (Fig. 8)、コントロールに比較して膨潤度が小さく蔗糖による膨潤度の抑制作用がみられる。

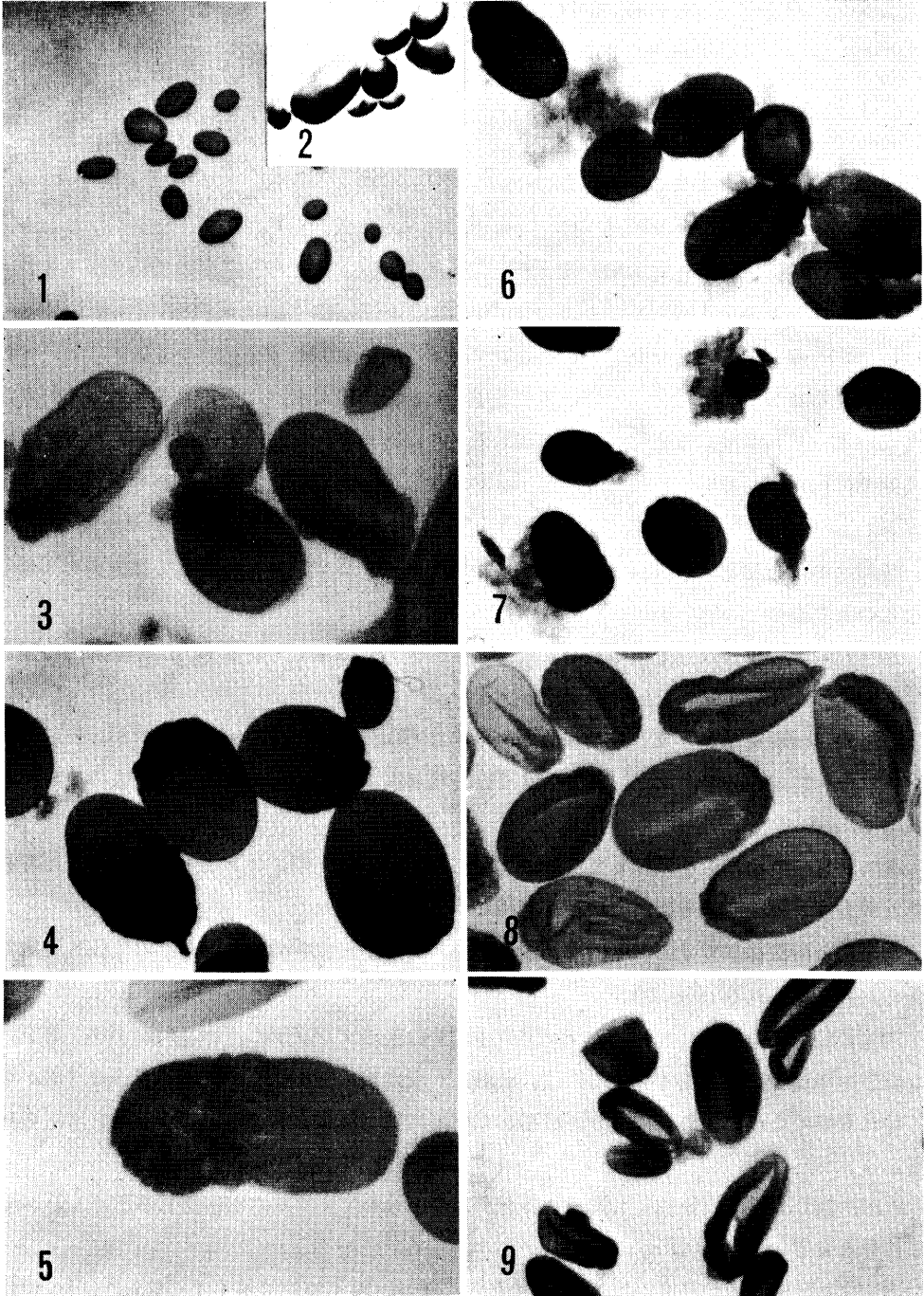
30%蔗糖溶液添加では膨潤度に抑制作用がみられ、中央部が開いて見えるのは脱水現象のあらわれと思われる (Fig. 9)。

70%蔗糖溶液を加えて加熱したデンプンの粒形は生のデンプンに近い (Fig. 10)。デンプン粒子の中央の部分が白く見えるのは、蔗糖は一般に親水性が強くデンプン粒子の外側が早く糊化を始めるため、外側に水分が移動して内部に脱水現象をおこしているものと考えられる。

次に酢酸0.5%溶液を加えて加熱するとかなり多量のアミロースが溶出し多数のしわが生じ粒形は変形している (Fig. 11)。

添加する酢酸溶液の濃度が1.0%と高くなるに従い、粒子の崩壊がすすんでおり (Fig. 12)、

図版 1



酢酸添加の場合は他のいずれの場合よりもアミロースの溶出が多いのがめだち、酸による加水分解が促進されたものと考えられるので Fehling 法により糖の分析を行なったところ還元糖の存在が確認された。

次にデンプン粒の内部構造の変化を知る目的で位相差顕微鏡<sup>2)</sup>で観察すると生デンプンは偏在する hilum を中心とした層状構造をはっきり見ることが出来る (Fig. 13)。蒸溜水のみを加えて 3 分間加熱したものは層状構造は消失している (Fig. 14)。

70% 蔗糖溶液を添加して 5 分間加熱した場合には膨潤度は非常に抑制されているにもかかわらず層状構造の存在は認められず明らかに生デンプンとは異なっている (Fig. 15)。

## 2. さつまいもデンプンに対する影響

さつまいものデンプン粒形は多形性であって、様々な形をしている。生デンプンは (Fig. 16) に示す。これを走査型電子顕微鏡で観察すると (Fig. 17) のようにドーナツ型、卵型、円錐形、半鐘形とさまざまな形をしており表面は比較的なめらかである。

(Fig. 18) は蒸溜水のみを加えて 3 分間加熱したものである。

(Fig. 19) は蒸溜水のみを加えて 5 分間加熱した場合でアミロースの溶出がかなりみられる。

なお 10 分間加熱のものではその時間がながくなるに従いデンプン粒の膨潤度はさらに増加している (Fig. 20)。

(Fig. 21) は 2% 食塩溶液添加によるアミロースの溶出量がいちじるしく、コントロールに比較してデンプン粒が小さくなっているのがみられる。

(Fig. 22) は 5% 食塩溶液を添加した場合はやはりコントロールに比べてデンプン粒が小さい。

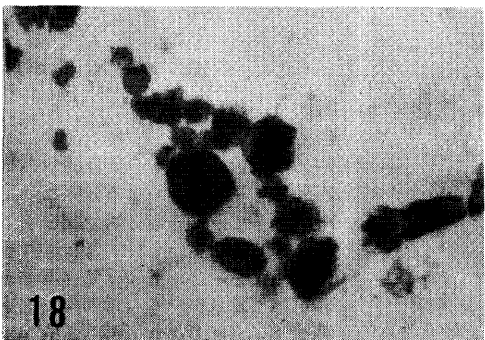
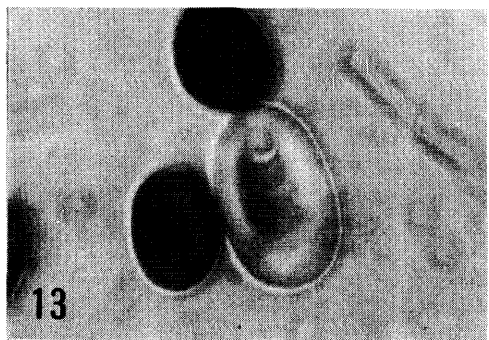
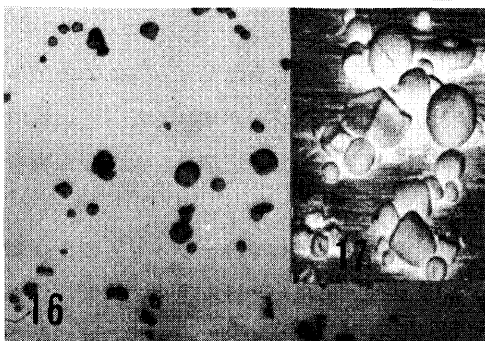
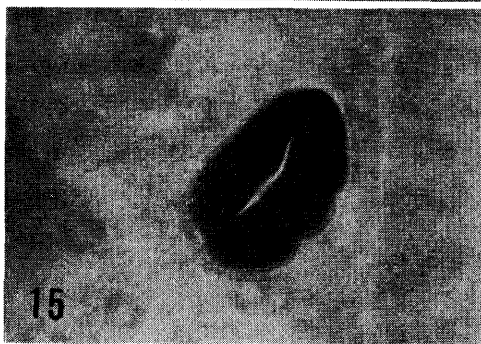
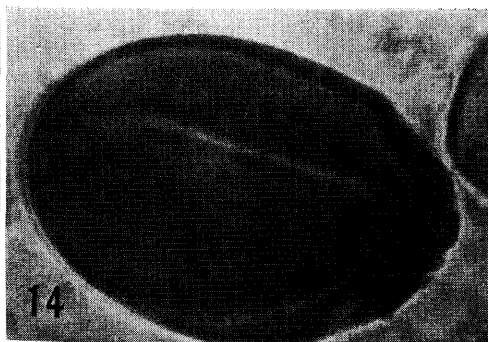
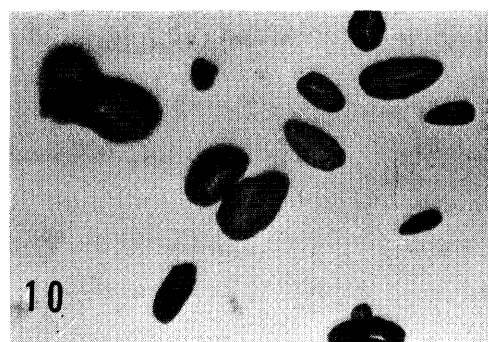
10% 蔗糖溶液添加ではコントロールと膨潤度に大差がない (Fig. 23)。

30% 蔗糖溶液添加では膨潤度に抑制作用がみられ粒が小さい (Fig. 24)。

70% 蔗糖溶液添加では 30% 蔗糖溶液添加よりもさらに膨潤度が小さくなっている (Fig. 25)。

図版 1	Fig. 1	じゃがいも 生	光学顕微鏡像 × 100
	Fig. 2	じゃがいも 生	走査型電子顕微鏡像 × 1000
	Fig. 3	じゃがいも 3 分間加熱	光学顕微鏡像 × 100
	Fig. 4	じゃがいも 5 分間加熱	〃 × 100
	Fig. 5	じゃがいも 10 分間加熱	〃 × 100
	Fig. 6	じゃがいも 2% 食塩溶液添加	〃 × 100
	Fig. 7	じゃがいも 5% 食塩溶液添加	〃 × 100
	Fig. 8	じゃがいも 10% 蔗糖溶液添加	〃 × 100
	Fig. 9	じゃがいも 30% 蔗糖溶液添加	〃 × 100

図版 2



0.5%酢酸溶液添加では多少デンプンの粒形が変形しているのも見られる (Fig. 26)。

さらに高濃度の 1.0% 酢酸溶液の添加を行なってもデンプン粒の崩壊の程度はじゃがいもデンプンほどの崩れはみられず (Fig. 27)、アミロースの溶出量が多い。

### 3. とうもろこしデンプンに対する影響

生のとうもろこしデンプンは平板状の多角形に見えるが (Fig. 28)、これを走査型電子顕微鏡で観察すると立方体で石塊に似た形をしており、粒子の表面に直径およそ  $1.3\mu$  の丸いくぼみ状の規則的なデコボコの見られるものもある (Fig. 29)。

蒸溜水のみを加えて 3 分間加熱したものはアミロースの溶出が見られる (Fig. 30)。

(Fig. 31) は蒸溜水のみを加えて 5 分間加熱した デンプン粒でこれをコントロール とする。

10分間加熱では経過時間がながくなるに従い膨潤度が増し、中央に星形の割目のみられる粒もある (Fig. 32)。

2%食塩溶液添加によりアミロースの溶出量が増加し、コントロールに比較して粒が多少小さくなっている (Fig. 33)。

5%の食塩溶液を添加した場合は 2%食塩溶液添加のものと比較し、粒の大きさのちがいはほとんど見られない (Fig. 34)。

10%蔗糖溶液添加では膨潤度はコントロールと大差がない (Fig. 35)。

30%蔗糖溶液添加もコントロールと比較して膨潤度の減少はあまり見られない (Fig. 36)。

70%蔗糖溶液添加の場合は膨潤度の減少がはっきりあらわれている (Fig. 37)。

0.5%酢酸溶液添加では膨潤した円形の粒子が横に長くのびているものもある (Fig. 38)。

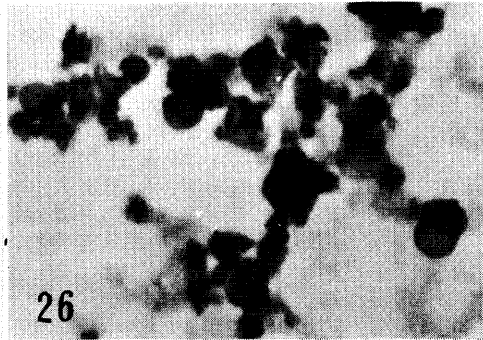
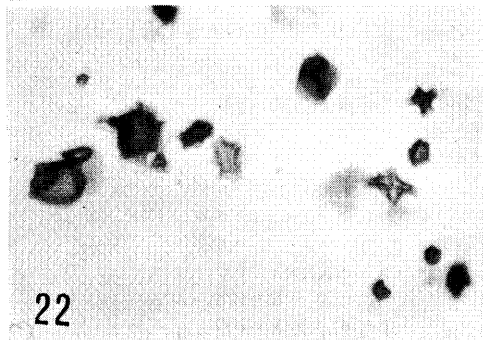
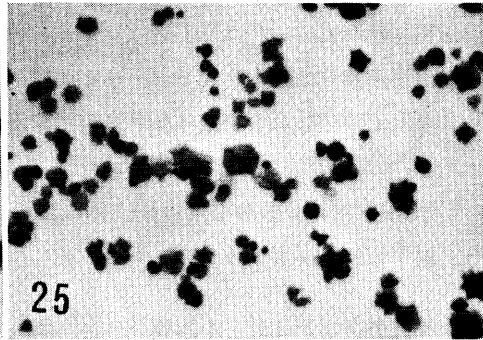
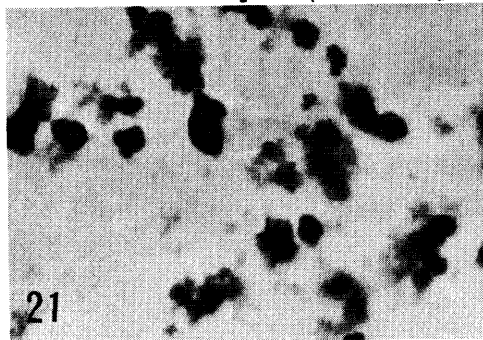
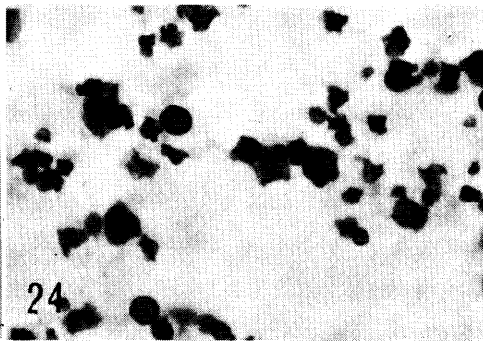
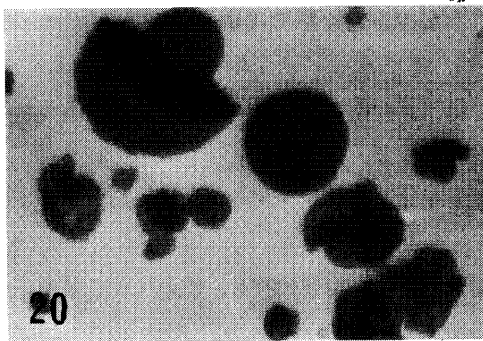
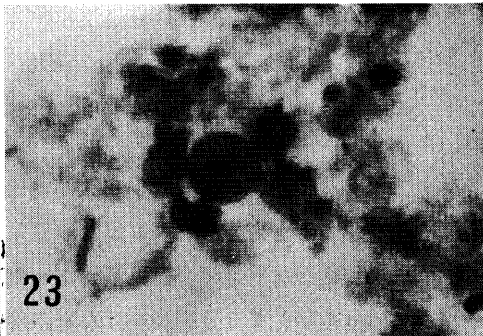
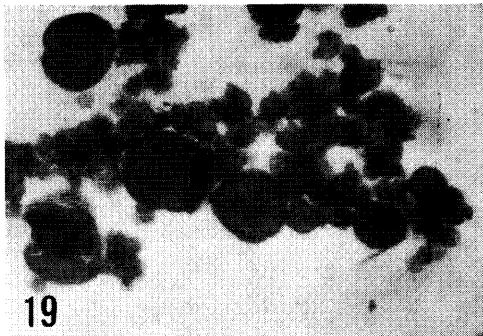
1.0%酢酸溶液を添加した場合は酢酸濃度が高くなるに従いアミロースの溶出量も多くなり、粒子の崩れが多少みられる (Fig. 39)。

### 4. 小麦デンプンに対する影響

小麦デンプンの生は円板形で粒子のところどころにき裂状の模様がある (Fig. 40)。

図版 2	Fig. 10	じゃがいも	70%蔗糖溶液添加	光学顕微鏡像×100
	Fig. 11	じゃがいも	0.5%酢酸溶液添加	" ×100
	Fig. 12	じゃがいも	1.0%酢酸溶液添加	" ×100
	Fig. 13	じゃがいも	生	位相差顕微鏡像×400
	Fig. 14	じゃがいも	3分間加熱	" ×400
	Fig. 15	じゃがいも	70%蔗糖溶液添加	" ×400
	Fig. 16	さつまいも	生	光学顕微鏡像×100
	Fig. 17	さつまいも	生	走査型電子顕微鏡像×1000
	Fig. 18	さつまいも	3分間加熱	光学顕微鏡像×100

図版 3





蒸溜水のみを加えて3分間加熱したもので膨潤した状態を示す (Fig. 41)。

(Fig. 42) はこれを拡大したものである。

5分間加熱でかなりアミロースの溶出がみられる (Fig. 43)。

(Fig. 44) は10分間加熱で溶出アミロースの量がさらにふえ、加熱時間がながくなるに従いデンプン粒の膨潤度が大きい。

2%食塩溶液添加によりさらにアミロースの溶出量が増加する (Fig. 45)。

添加する食塩濃度が5%と高くなるに従い溶出アミロースの量は2%溶液を添加した場合よりもさらに増加している (Fig. 46)。

10%蔗糖溶液を添加したものはコントロールに比較して膨潤度が小さく、抑制作用がみられる (Fig. 47)。

30%蔗糖溶液を添加した場合はさらに粒の膨潤度が小さい (Fig. 48)。

70%蔗糖溶液を添加すると粒形は生デンプンとほとんど変りがない。デンプン粒子の中央の部分が白く見えるのは脱水現象のあらわれである (Fig. 49)。

0.5%酢酸溶液を添加したものはかなり多量のアミロースが溶出しているが粒の形態にはまださほどの変化はない (Fig. 50)。

さらに高濃度の1.0%酢酸溶液を加えたものは粒子が横にのびたり、ちぎれたりしており崩壊がすすんでいる (Fig. 51)。

次にデンプン粒の膨潤の度合を知るため、比較的粒形が揃っていて測定しやすいじゃがいも、とうもろしデンプンについて、ランダムに20個のデンプン粒の長径、短径を測定した平均値が (Fig. 52) (Fig. 53) である。

#### ◎じゃがいもデンプンの場合

コントロールを100にした場合の膨潤の度合を示す。図中の点線は生デンプンの長径、短径の増加割合を示す。

1. 加熱時間が3分間の場合は長径がコントロールの86、短径が91の膨潤度であり、10分間加熱では長径がコントロールの104、短径が107になり加熱時間がながくなるに従いデンプ

図版 3	Fig. 19	さつまいも	5分間加熱	光学顕微鏡像×100
	Fig. 20	さつまいも	10分間加熱	" ×100
	Fig. 21	さつまいも	2%食塩溶液添加	" ×100
	Fig. 22	さつまいも	5%食塩溶液添加	" ×100
	Fig. 23	さつまいも	10%蔗糖溶液添加	" ×100
	Fig. 24	さつまいも	30%蔗糖溶液添加	" ×100
	Fig. 25	さつまいも	70%蔗糖溶液添加	" ×100
	Fig. 26	さつまいも	0.5%酢酸溶液添加	" ×100

図版 4

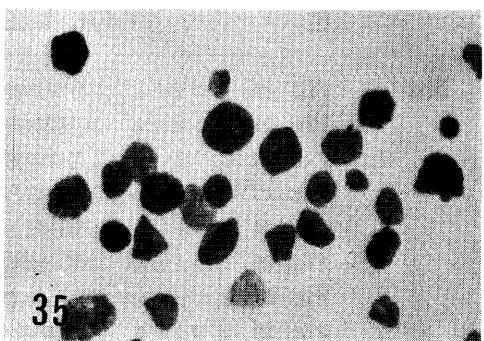
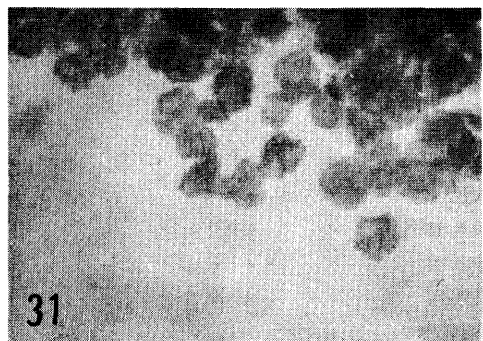
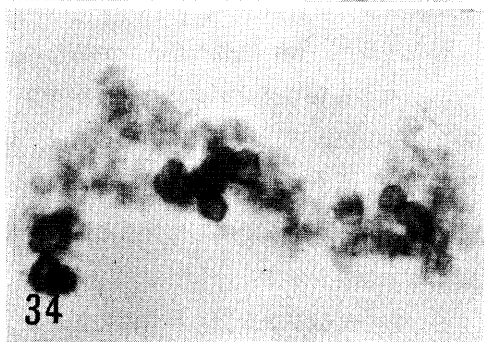
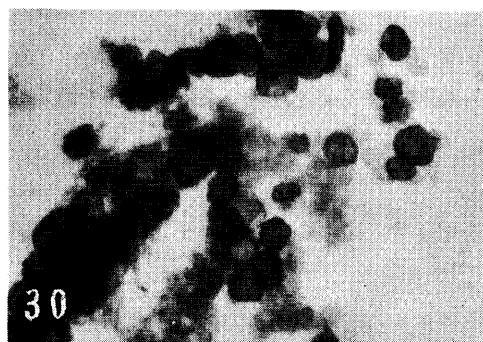
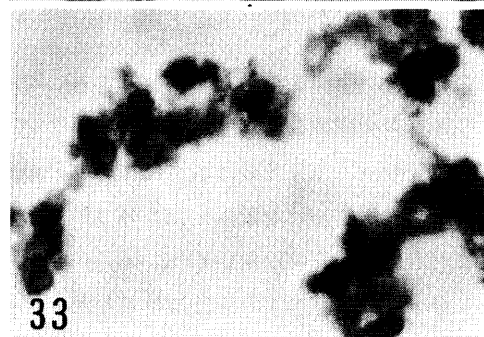
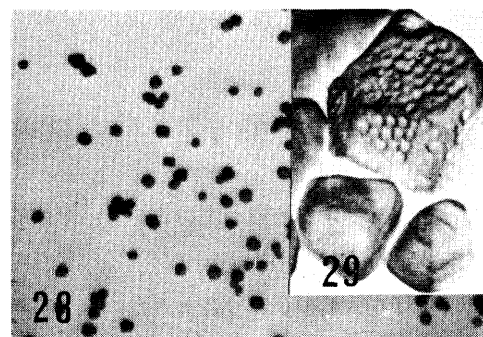
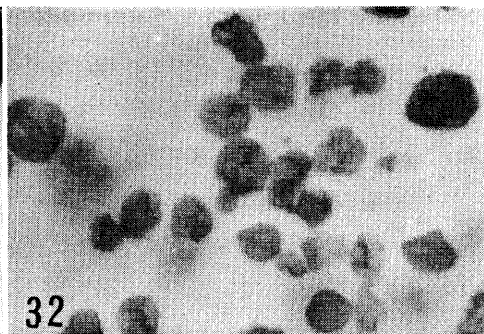
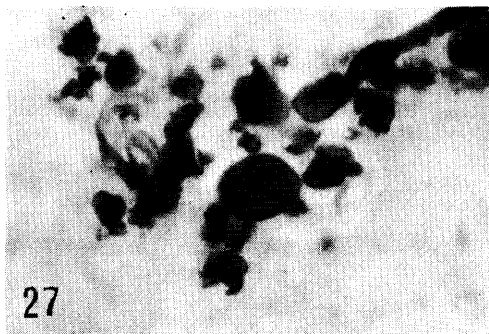
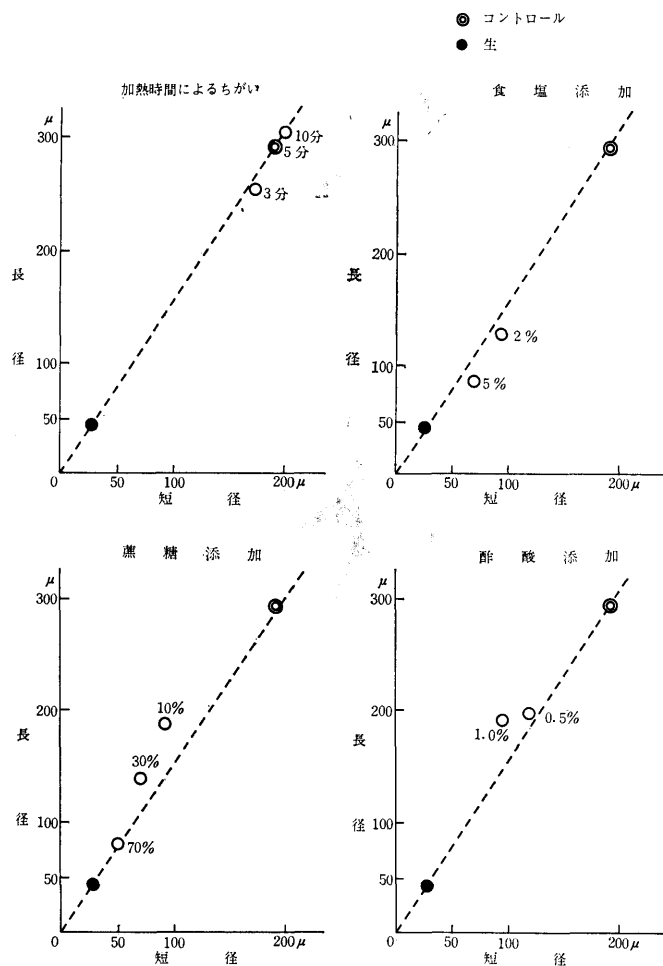
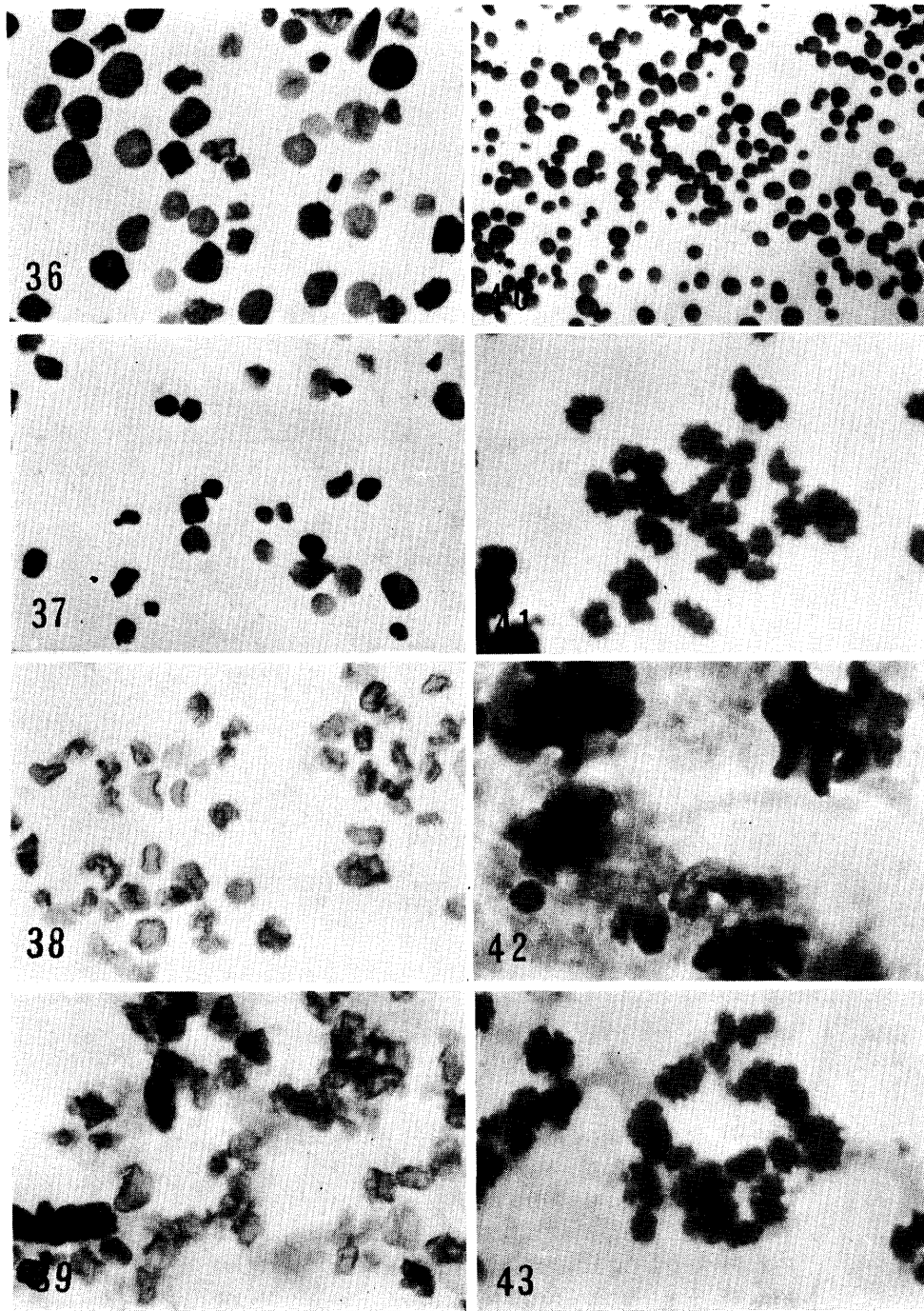


Fig. 52 ジャがいもデンプン粒の膨潤値



- 図版 4 Fig. 27 さつまいも 1.0%酢酸溶液添加 光学顕微鏡像×100  
 Fig. 28 とうもろこし 生 " ×100  
 Fig. 29 とうもろこし 生 走査型電子顕微鏡像×3000  
 Fig. 30 とうもろこし 3分間加熱 光学顕微鏡像×100  
 Fig. 31 とうもろこし 5分間加熱 " ×100  
 Fig. 32 とうもろこし 10分間加熱 " ×100  
 Fig. 33 とうもろこし 2%食塩溶液添加 " ×100  
 Fig. 34 とうもろこし 5%食塩溶液添加 " ×100  
 Fig. 35 とうもろこし 10%蔗糖溶液添加 " ×100

図版 5



ン粒の膨潤度は多少増加する。

2. 食塩添加の場合は影響をうけ易く、2%の食塩溶液添加により長径はコントロールの44、短径は49になる。5%食塩溶液添加では長径が30、短径が38となり食塩濃度が高くなるに従い粒径が小さい。

3. 蔗糖の影響もかなり顕著にあらわれており、10%蔗糖溶液添加の場合には長径がコントロールの59、短径が47で、30%添加では長径が49、短径が37になり、70%蔗糖溶液添加の場合は長径が29、短径が26と添加する蔗糖の濃度が高くなるに従い、デンプン粒の膨潤度は小さくなる。

4. 酢酸添加の場合は粒子の崩壊がおこるが0.5%酢酸溶液添加では長径がコントロールの67、短径が63、1.0%酢酸溶液添加の場合は長径が66、短径が52と多少粒径が小さい。

#### ◎とうもろこしデンプンの場合

コントロールを100とした場合の膨潤の度合を示す。

1. 加熱時間が3分間の場合は長径がコントロールの94、短径が92の膨潤度で、加熱時間が10分間では長径がコントロールの112、短径が112で加熱時間がながくなるに従い、じゃがいもの場合と同様に膨潤度が多少大きくなっている。

2. 食塩を添加した場合は、2%食塩溶液添加により長径がコントロールの79、短径が77で、5%食塩溶液添加では長径が76、短径が75となり、食塩濃度が高くなってもじゃがいもデンプンほど影響が顕著ではない。

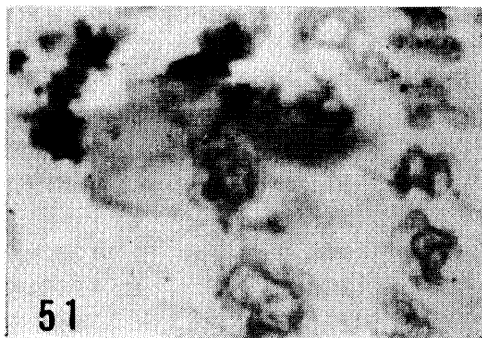
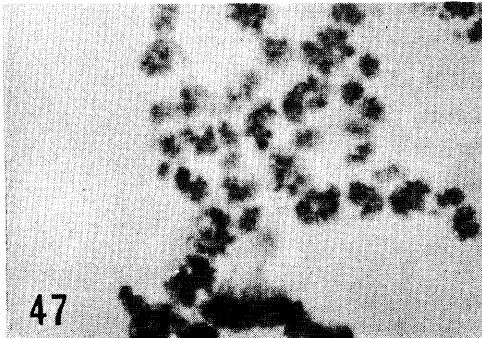
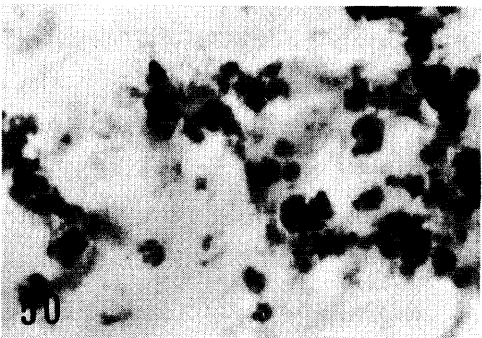
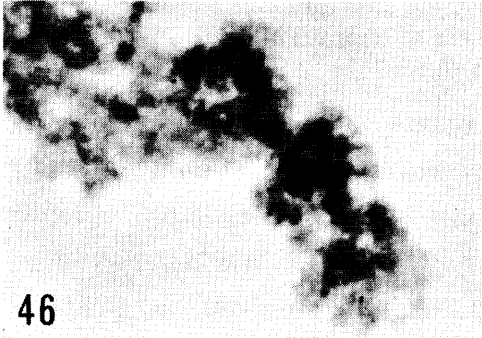
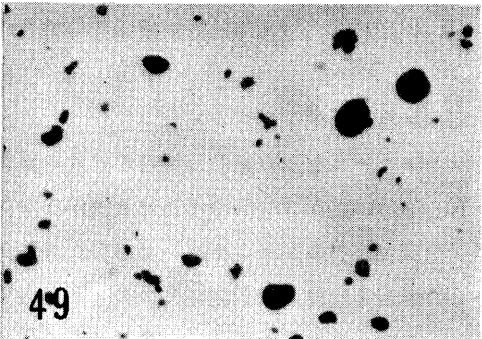
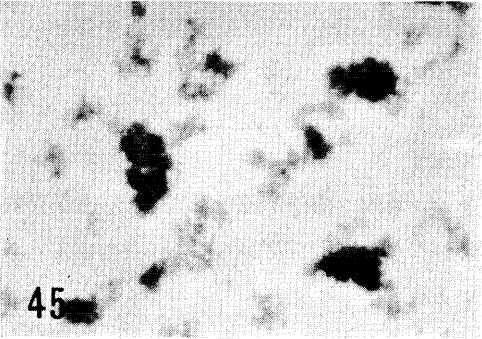
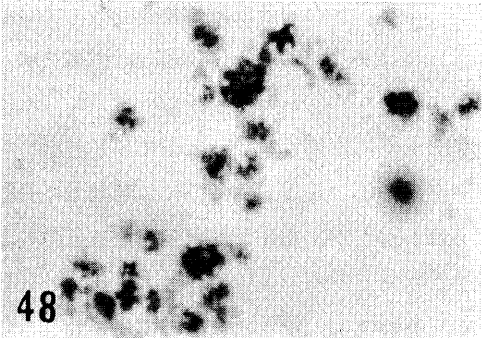
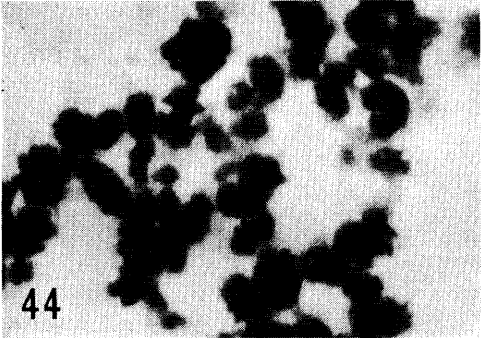
3. 蔗糖添加の場合、10%蔗糖溶液添加では長径がコントロールの106、短径が101でむしろコントロールよりも膨潤度がよい。30%添加では長径がコントロールの91、短径が92となり、コントロールとの膨潤度の差はみられない。70%添加の場合は長径は60、短径は58で膨潤度の抑制作用が多少みられるがじゃがいもデンプンほど影響が顕著ではない。

4. 酢酸添加の場合、0.5%酢酸溶液添加では長径がコントロールの83、短径が72、1.0%酢酸溶液添加で長径が86、短径が81と多少粒径が小さい。

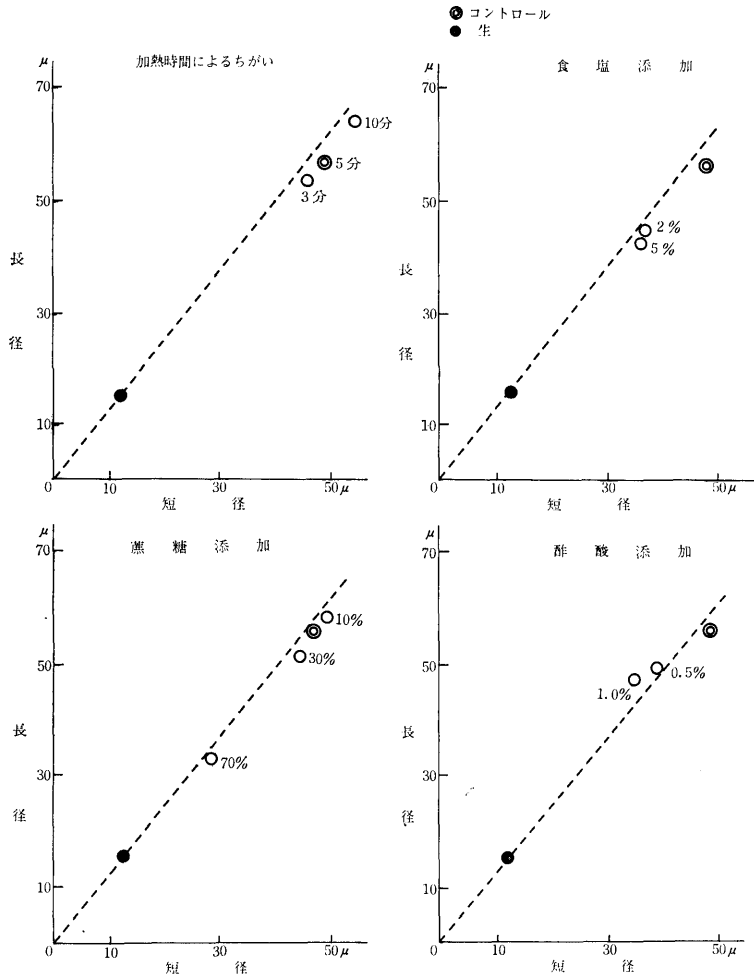
---

図版 5	Fig. 36	とうもろこし	30%蔗糖溶液添加	光学顕微鏡像×100
	Fig. 37	とうもろこし	70%蔗糖溶液添加	〃 ×100
	Fig. 38	とうもろこし	0.5%酢酸溶液添加	〃 ×100
	Fig. 39	とうもろこし	1.0%酢酸溶液添加	〃 ×100
	Fig. 40	小麦	生	〃 ×100
	Fig. 41	小麦	3分間加熱	〃 ×100
	Fig. 42	小麦	3分間加熱	〃 ×400
	Fig. 43	小麦	5分間加熱	〃 ×100

図版 6



**Fig. 53** とうもろこしデンプン粒の膨潤値



- 図版 6 **Fig. 44** 小麦 10分間加熱 光学顕微鏡像×100  
**Fig. 45** 小麦 2%食塩溶液添加 // ×100  
**Fig. 46** 小麦 5%食塩溶液添加 // ×100  
**Fig. 47** 小麦 10%蔗糖溶液添加 // ×100  
**Fig. 48** 小麦 30%蔗糖溶液添加 // ×100  
**Fig. 49** 小麦 70%蔗糖溶液添加 // ×100  
**Fig. 50** 小麦 0.5%酢酸溶液添加 // ×100  
**Fig. 51** 小麦 1.0%酢酸溶液添加 // ×100

以上のように同一物質による影響がデンプンの種類によって異なる問題は単に食塩、蔗糖の性質上（デンプンのミセルの弛緩脱水性）<sup>3)</sup>のみから判断を下すことは困難で更に検討を要する。

なお、じゃがいも、とうもろこしデンプンともに添加する調味料の種類によらず膨潤の度合は点線で示された生デンプンの長径、短径の増加割合にはほぼ近い割合で膨潤し、デンプンの長径、短径のどちらかに極端に片よって膨潤することはない。

#### Ⅳ 要 約

1. 加熱時間が3分～10分とながくなるに従い、デンプン粒の潤膨度が増す。加熱に伴い分子量の小さいアミロースが溶出し、溶出アミロース量は加熱時間がながくなるに従い増加する。デンプン粒子にアミロースが溶出したあとと思われる方向性のある痕跡が観察される。

2. 食塩の添加により溶出アミロースの量が増加し、コントロールに比較してデンプン粒は一般に小さくなる傾向がみられ、食塩の溶解による媒体浸透圧の上昇による原因が考えられる<sup>4)</sup>がデンプンの種類によって影響の度合は異なっており、じゃがいもデンプンは影響をうけ易い。このように同一物質による影響がデンプンの種類によって異なる問題は今後更に検討を要する。

3. 蔗糖添加の場合、10%蔗糖添加では無添加に比較して一般的にデンプン粒の膨潤度に大差はないが、30%～70%と添加する濃度が高くなるに従い膨潤に抑制作用がみられ、70%蔗糖添加では粒の外形は生デンプンに近く、脱水現象があるが位相差顕微鏡写真で見られたように層状構造は消失しているので生の状態とは異なっている。砂糖は一般に親水性が強く、このためデンプンの糊化に必要な自由水を奪いデンプンの糊化を抑制するといわれている。また食塩の場合と同様にデンプンの種類によって影響の度合は異なり、これらの原因は今後の検討を必要とする。砂糖を多く用いるデンプン性食品の調理では砂糖を加える時期を考慮に入れておかなければならない。高濃度の蔗糖添加の場合にはデンプン粒の膨潤を抑制しないようにある程度デンプンが糊化した後に添加することが必要である。

4. 酢酸の添加は溶出アミロースの量を増大させ、加水分解をおこし、デンプン粒の崩壊を促進するが、崩壊の度合はデンプンの種類によって異なり同じ地下茎デンプンでもさつまいも、（今回は省略したが）ながいもデンプン等はじゃがいもデンプンほど影響が著しくない。デンプンに酸を加えてながく煮たり、高濃度の酸を加える場合には目的の濃度の糊が得られないことが起りうるわけである。以上これらの現象は調味料の添加がデンプン糊の粘弾性の低下、あるいは増加をうらづけるものといえるが影響の度合はデンプンの種類によって異なり、デンプン個々の分子鎖の長短、分子重合の粗密など複雑な要因がからみあっている



ものと考えられる。

終りに本実験に終始御懇切な御指導を下さいました広島大学教授 川上いつゑ先生、助言をいただきました田村咲江先生に深く感謝いたします。

走査型電子顕微鏡の撮影に御協力いただきました日本電子株式会社に対して厚く感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) 二国二郎：デンプンハンドブック、184 (1961)
- 2) 川上いつゑ、田村咲江、大道満子：広島大学教育学部紀要第3部、**13**、28 (1964)
- 3) 川上 謙、荻原道子：家政学雑誌、**9**、178 (1958)
- 4) 高橋静枝、木倉綾子：家改学雑誌、**15**、12 (1964)