

# 生デンプンの消化に関する研究

青木みか・内島幸江・大沢つね子・岩瀬幸子

## Studies on the Digestion of the Raw Starch

by

M. AOKI, Y. UCHIZIMA, T. ŌSAWA and S. IWASE

### はじめに

日本人は摂取熱量の60%以上を糖質に依存しているが、糖質の多くはデンプン性食品でしめているため、食生活におけるデンプンの果す役割は大きい。デンプンは水とともに加熱すると $\alpha$ 化して消化酵素が働きやすくなるが、動物においては生デンプンを摂取するものが多い。一方私共の日常食品でもヤマノイモ、バナナ、レンコンなど生デンプンのまま摂取するものもあり、また穀類、いも類の加工品、調理品、かし類の $\alpha$ 化度が諸氏<sup>1-3)</sup>の実験で測定されているが8~95の広範囲にわたり、これらの食品には $\alpha$ デンプンの他、老化デンプン、 $\beta$ デンプンをかなり含むことが推定される。老化デンプンの性状に関しては二国<sup>4)</sup>、尾崎氏<sup>5)</sup>などの報告があり、私どもも前回<sup>6)</sup>、ウルチゴメ、モチゴメ、トウモロコシ、ジャガイモから調製した $\alpha$ 、 $\beta$ 、老化デンプンに対する Diastase 作用と、X線回折による結晶構造の関連性を比較して、結晶の崩壊度と Diastase 作用との間には必ずしも正の相関性のないことを報告した。

今回は、穀類およびいも類から結晶構造A、B、C図形のデンプンをおのおの2種類ずつ調製し、Pancreatin による消化試験ならびに穀類、いも類を飼料としたマウスの飼育実験によって、生デンプンの栄養的意義を調べ、また酵素作用に影響をおよぼす因子について検討を加えた。

### 実験方法および結果

#### 1) Pancreatin によるデンプンの消化試験

試料の調製：

ウルチゴメ（コシヒカリ種）、オオムギ、ヤマノイモ、ジャガイモ（いずれも愛知県産）、クズの根（三重県産）、チューリップの球根（奈良県大和農園産）、おのおの1kgを用い常法によりデンプンを調製した。すなわち穀類は精白後、試料の5倍の0.2% NaOH を加えて放置し、軟くなった時、砕いて乳状化し、イモ類、球根類は剥皮後、細切して水を加えて1分間、ミキサーでデンプン粒子の破壊されない程度に摩砕し、いずれの試料も100メッシュの篩で沓過した乳濁状の沓液を一夜静置してデンプンを沈降させる。つぎに上澄液を捨て、穀類デンプンには0.2% NaOH、その他のデンプンには水を加えて、かく拌し、再び沈殿させる。この操作を毎日くり返し、穀類は約1カ月、その他は約10日後、顕微鏡下にデンプン粒子のみを認めるようになれば、蒸溜水で数回洗浄し、メタノールで精製して真空デシケーター中で乾燥して、150メッシュの篩を通して実験試料とした。これらの試料の水分含有量は第1表のとおりである。

テンブン名	ヤマノイモ	ウルチゴメ	オオムギ	ジャガイモ	ク　ス	チューリップ
水分含有率 (%)	11.05	13.56	14.98	10.81	12.28	16.89

第1表 試料の水分含有量

消化試験：

測定は Gates R. L.<sup>9)</sup> の方法に準じて行なった。すなわち試料 0.4g を基質とし、ゼラチン、CaCl<sub>2</sub> のおのおの 0.2% のリン酸緩衝溶液 (pH 6.8) 15ml, 2% の市販 Pancreatin 水溶液の溶液 5 ml (Standstedt<sup>10) 11)</sup> 改法によって測定した力価は 205 単位に当る) を添加した。この反応液を 35°C の恒温器に入れ、時々振盪しながら静置培養を行なう。2, 4, 6…20 時間の所要時間を経過した時、2N-HCl を添加して、酵素作用をとめ、残存する基質を濾紙で濾過して採取し、真空デシケーター中で 48 時間乾燥して、重量を秤量した。一方酵素添加後すぐに HCl を加えたブランクテストを同様に試験し、両者との残存基質の差より分解したテンブンの重量を求め、分解率を算出した。

また同様な条件で培養した反応液中の麦芽糖量を Willstatter 法で定量し、ブランクテストの定量値を差引いて、基質 0.4g から生成した麦芽糖量を求めた。

以上の実験結果は第 1, 2 図および第 2, 3 表に表示した。

作用時間 (hr.)	基 質	オオムギ	ウルチゴメ	ク　ス	ヤマノイモ	チューリップ	ジャガイモ
2		33.01	32.19	2.35	1.76	6.18	3.62
3		60.89	40.20	15.64	6.67	17.66	5.70
4		74.40	56.72	29.79	10.73	21.44	8.13
6		87.02	75.00	42.09	12.79	29.25	10.73
8		90.06	83.87	47.91	16.81	45.30	10.80
15		91.20	87.91	53.21	22.58	48.11	16.31
20		93.63	90.62	60.22	28.10	53.11	18.39

第2表 Pancreatin による生テンブンの基質分解率 (%)

作用時間 (hr.)	基 質	オオムギ	ウルチゴメ	ク　ス	ヤマノイモ	チューリップ	ジャガイモ
4	生成糖量						
	麦芽糖量 (mg)	135.0	65.15	119.2	42.90	85.75	42.90
6	麦芽糖/基質×100 (%)	40.29	18.89	37.77	11.85	25.30	11.98
	麦芽糖量 (mg)	205.0	201.5	157.8	47.75	100.4	80.90
15	麦芽糖/基質×100 (%)	61.19	58.26	49.84	13.16	29.49	22.59
	麦芽糖量 (mg)	305.0	268.5	251.6	60.0	190.1	93.5
20	麦芽糖/基質×100 (%)	91.04	77.68	79.68	16.57	56.04	26.11
	麦芽糖量 (mg)	310.0	287.3	276.9	63.45	216.4	99.45
	麦芽糖/基質×100 (%)	92.53	83.18	87.61	17.51	63.71	27.79

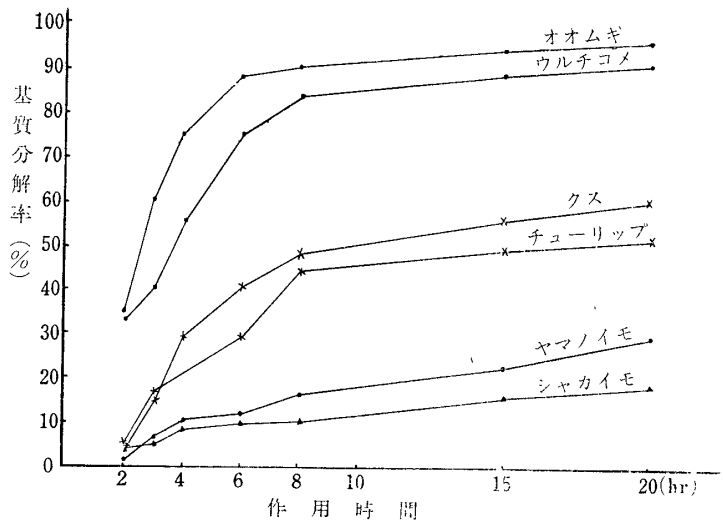
第3表 Pancreatin による生テンブンからの生成麦芽糖量 (mg)

実験結果はいずれの場合も基質分解率と麦芽糖生成量の間には正の相関を示すが、ヤマノイモはジャガイモに比し、基質分解率は高いが麦芽糖生成量は少なく、前者のデンプンは **Pancreatin** により可溶性の中間生成物が後者より、多くできるものと推察される。クズは他の試料に比べ、基質分解率が低い割に生成糖量が多く、15時間の酵素作用によって穀類とおおよそ同量の多量の麦芽糖が生成される。ウルチゴメ、オオムギなどの穀類は生の場合も他のデンプンよりいちぢるしく酵素作用を受け易く、8時間で90%近く分解されることは興味深く、生ジャガイモデンプンは **Diastase** 作用を受け難いことを前回報告したが **Pancreatin** によっても同様な結果を得た。

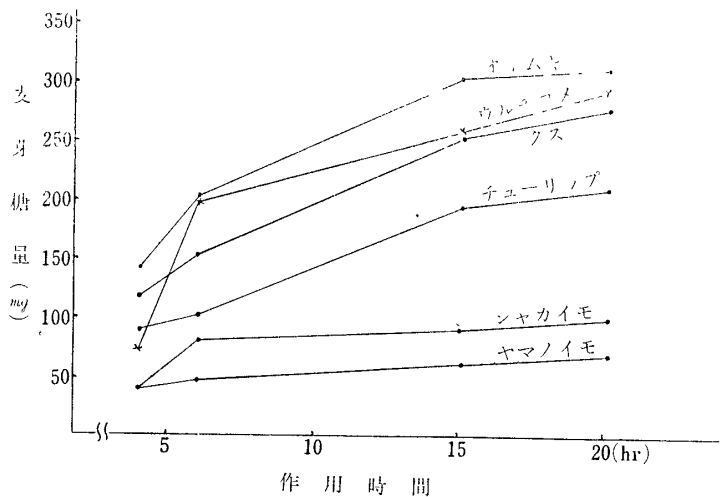
2) マウス飼育試験によるデンプンの消化実験

実験 I :

dds系, ♂, 生後1カ月のマウス25匹使用し, A群は5匹, B, C, D, E, F群はおのこの4匹とし, A群には第4表に示す組成の標準飼料(オリエンタル酵母の市販品)を投与し, 他の群にはB, C, D, E, Fの順にそれぞれ精白ウルチゴメ, 精白オオムギ, サツマイモ, ジャガイモ, ヤマノイモを投与したが, いずれにも1日1匹当たり2~3gの標準飼料を添加した。各群において最初に投与した飼料の重量を測定し, 残った量を差引いてマウスの頭数で割り, 1日1匹当たりの平均摂取量を求めた結果は第5表のようであった。



第1図 Pancreatinによる生デンプンの分解(基質消化率)



第2図 Pancreatinによる生デンプンの分解(生成糖量)

水	分	6.4g	ビタミン A	10,000 I.U.	ビタミン B <sub>12</sub>	0.02mg
脂	質	3.5g	ビタミン D	2,000 I.U.	パントテン酸	30mg
可溶性無窒素物		56.0g	ビタミン E	15mg	ナイアシン	80mg
蛋白質		24.0g	ビタミン B <sub>1</sub>	7mg	コリン	1,400mg
せんい	素	4.5g	ビタミン B <sub>2</sub>	10mg	葉酸	0.2mg
無機質		6.0g	ビタミン B <sub>6</sub>	4mg		

第4表 標準飼料の成分(100g中)

A	群	標準飼料	10		
B	群	精白ウルチゴメ	8	標準飼料	2
C	群	精白オオムギ	6	標準飼料	2
D	群	サツマイモ	15	標準飼料	2
E	群	ジャガイモ	1~5	標準飼料	3
F	群	ヤマノイモ	1.2~4	標準飼料	3

第5表 1日1匹当りの飼料摂取量(g)

マウスは3カ月間飼育し、この間、週2回ずつ体重を測定し、各群の体重の消長を標準飼料区と比較した。

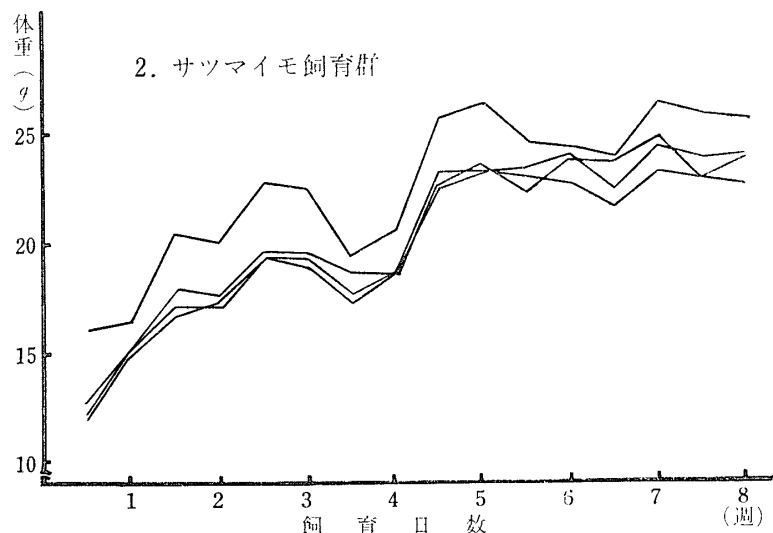
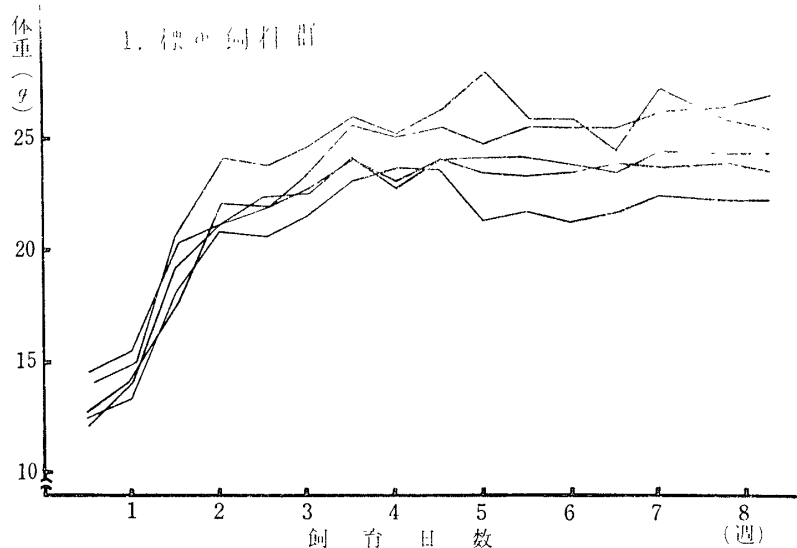
さらに試験飼料で飼育中のマウスを殺して消化器および糞中のデンプン粒子の消化状態を顕微鏡下に観察した。

実験Ⅱ：

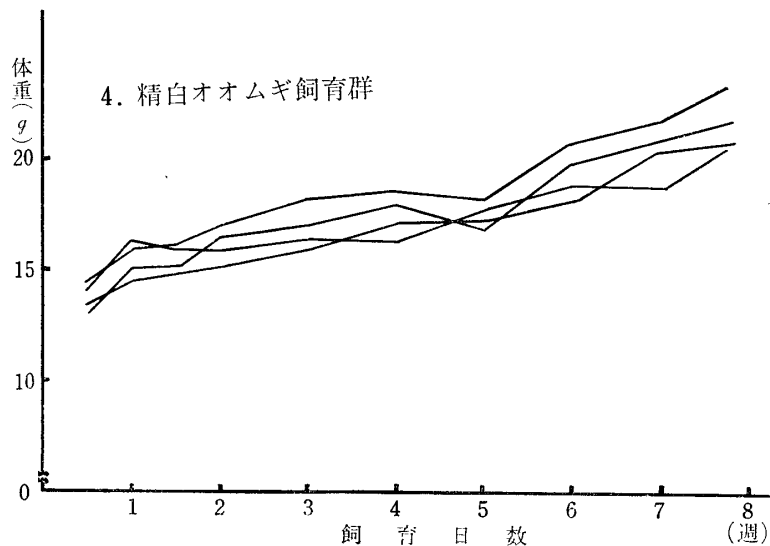
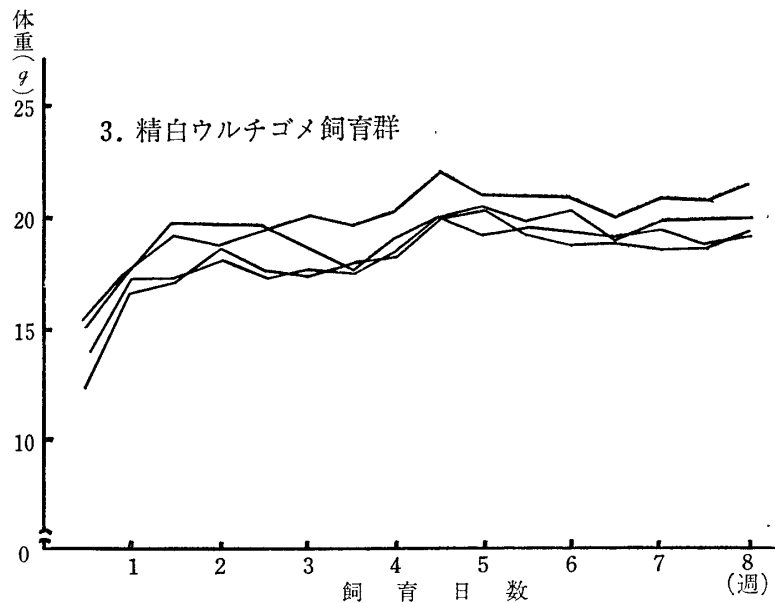
JCE系、♂、生後40日のマウス18匹使用し、3匹ずつA、B、C、D、E、Fの6群において実験Ⅰと同様な飼料を各群に与えて体重の消長を測定した。

実験結果は実験Ⅰにおけるマウスの体重の消長を第3図1~4に示した。また実験ⅠおよびⅡにおける飼育開始時と終了時における各群の体重の平均値、飼育期間中における1週間の体重増減度の平均値ならびに摂取した試験飼料1g(無水物)当りの1週間における体重増減度の測定結果は第6表に表示した。

以上の結果より実験Ⅰにおいてはサツマイモ、精白ウルチゴメ、精白オオムギは標準飼料区とほとんど変りない成長を示し、実験Ⅱにおいては精白オオムギのみ正常に発育するか他の飼料群はいずれも体重が減少



第3図 マウス飼育試験



第3図 マウス飼育試験

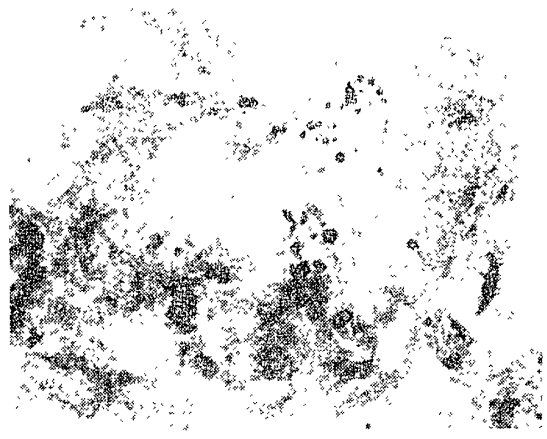
することを認めた。またジャガイモ、ヤマノイモは実験Ⅰ、Ⅱとも、1日約5gしか摂取せず体重はいちぢるしく減少して数日後に死亡した。さらにジャガイモを皮部、デンプン質部、デンプン分離残渣（せんいそ、蛋白などを含む）に分けて投与してみたが、いずれも数日後に死亡した。その原因がジャガイモに含まれる未知な特殊成分によるものか否かは不明である。

一方試験飼料で飼育中のマウスを殺して小腸の内容物および糞をヨウソ染色し、顕微鏡写真に撮影したものが第4～5図である。

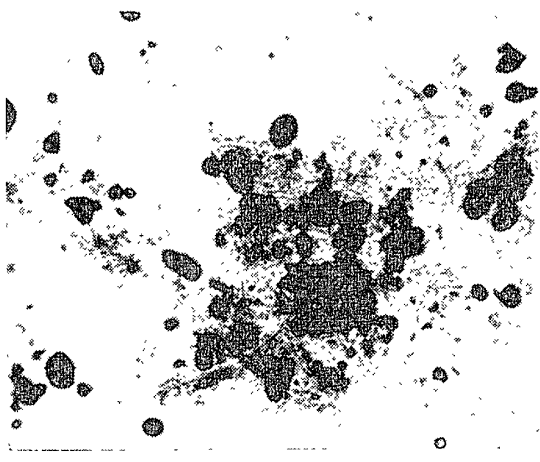
精白ウルチゴメ、オオムギによる飼育マウスは小腸内にデンプン粒子がわづかにみられるが糞中にはほとんど認められず、サツマイモの場合は細胞膜に囲まれた数個のデンプン粒子が糞中に一部残っているがほとんど消化されて消失している。ジャガイモの場合のみ小腸内にも糞中にもほとんどデンプン粒子のまま存在する事実より、飼育実験においても、*in vitro*の酵素実験においてもジャガイモデンプンは消化され難いことが解る。



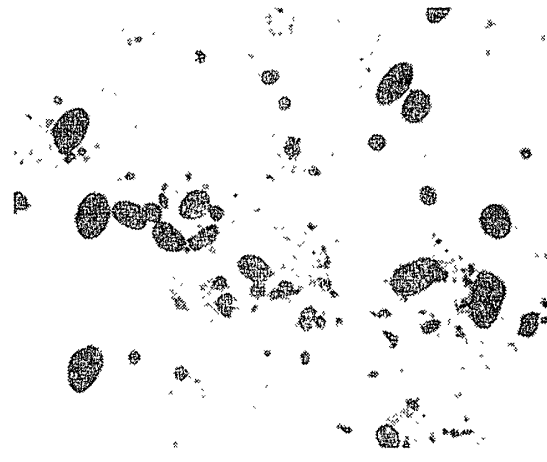
第 4 図 1



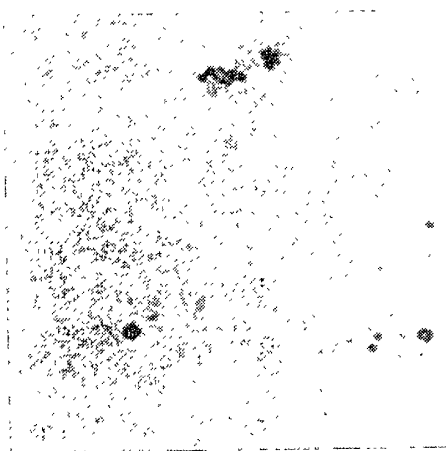
第 5 図 1



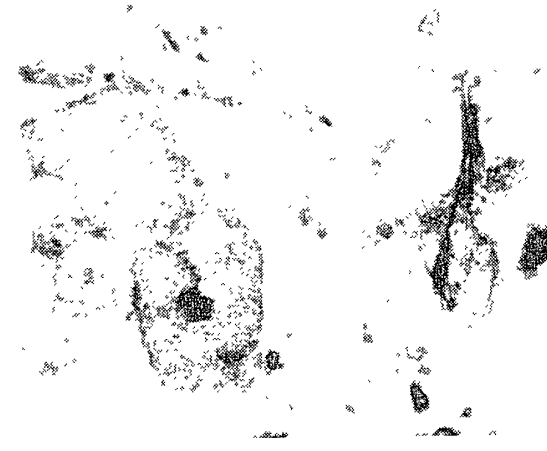
第 4 図 2



第 5 図 2



第 4 図 3



第 5 図 3

第4図 マウス小腸内におけるテンブン粒子

第5図 マウス糞中のテンブン粒子

1. サツマイモ飼育 2. シャガイモ飼育 3. 粘白ソルテゴ×飼育

実験 I

飼料別分類	飼育開始時体重 (g)	飼育終了時体重 (g)	1週間の体重平均増減度 (g)	デンプン質飼料1g当りの1週間における体重増減度 (g)
A 群	13.2 ± 1.2	24.3 ± 3.4	+ 1.4	+ 0.15
B 群	14.0 ± 1.5	20.6 ± 1.0	+ 0.83	+ 0.12
C 群	13.8 ± 0.8	22.0 ± 1.5	+ 1.1	+ 0.20
D 群	13.2 ± 2.0	24.2 ± 1.4	+ 1.4	+ 0.12
E 群	13.2 ± 1.8	11.3 ± 2.0 (死亡)	- 1.9	—
F 群	14.1 ± 0.8	11.8 ± 0.5 (死亡)	- 2.3	—

実験 II

A 群	25.7 ± 1.0	29.4 ± 2.6	+ 0.41	+ 0.05
B 群	25.0 ± 2.4	23.8 ± 3.6	- 0.15	- 0.03
C 群	24.7 ± 0.6	27.2 ± 0.5	+ 0.4	+ 0.08
D 群	25.6 ± 2.5	24.2 ± 2.0	- 0.17	- 0.02
E 群	25.2 ± 2.0	21.0 ± 1.5 (死亡)	- 4.2	—
F 群	24.0 ± 0.7	20.6 ± 0.3 (死亡)	- 3.4	—

第6表 飼料別によるマウス体重の消長

考 察

Walker<sup>12)</sup> たちはジャガイモデンプンが唾液、膵液、枯草菌、麹菌の  $\alpha$ -amylase によって分解され難いことを認めて、生デンプンの消化には特別な因子を必要としないがデンプン粒表面への酵素の吸着度が影響するらしいと推定した。また Rudolph<sup>13)</sup> は生穀類デンプンは生根茎デンプンに比べて動物の消化系に感受性が強いが、これはデンプン粒の構造や分子間結合の相異によるものと推察し、K. Balls<sup>14)</sup> も生デンプンの  $\alpha$ -amylase の吸着性はデンプン粒子の大小と逆比例すると報告している。一般にデンプンはその由来する植物の品種により粒子の形態は異なる。今回使用したデンプンもチューリップ、ジャガイモ、ヤマノイモは20~100 $\mu$ の単粒であるのに反し、オオムギ、ウルチゴメ、クズは2~25 $\mu$ の不定形のものが多いが、これらは多数の小粒が集って複数粒で細胞に存在していたものがその結合が非常に弱いため分離操作中に小粒となったものと思われる。今回の実験において穀類デンプンは Pancreatin による消化試験のほか、マウスの飼育試験によっても消化されやすいことを認め、デンプンは植物細胞中においても消化性に粒子の形態や構造が影響する可能性のあることが考えられる。しかし個々のデンプン粒子の表面構造がどのようになり、酵素がどのように吸着されるかは解らず、興味深い今後の問題である。

デンプンのミセル構造による分類は Katz<sup>15)</sup> の説にしたがえば、供試料としたウルチゴメ、オオムギはA図形、ジャガイモ、チューリップはB図形、クズ、ヤマノイモはC図形であるため、得られた実験結果からは結晶構造の相異が酵素作用に影響することは考えられない。しかし吉田、森本氏<sup>16)</sup> らは飼育試験によってA図形デンプンは消化よく、B図形は消化難であり

また非晶部分は消化されやすいと報告している。さらに結晶状態は植物の生育する環境温度によって変化することはすでに認められ<sup>17) 18)</sup>ているが、最近、鈴木氏<sup>19)</sup>はサツマイモを高温栽培すればA図形に、低温栽培すればB図形になり、 $\alpha$ -amylaseによる消化性はデンプン粒生成時の温度に影響されるとのべている。諸氏の意見を考え合せても結晶構造と酵素作用の関連性については一致した見解のない現状である。

デンプンは日常食品のほか発酵食品の原料としてもわが国で多く使用されているが、生デンプンを容易に酵素で分解することができれば発酵工業の技術革新上にも寄与する点多く、すでに上田氏<sup>20)</sup>は黒麹菌から生デンプンを糖化する酵素を発見している。食品加工、栄養学、生化学的見地から、デンプンの酵素作用に関しては興味深い点が多く、さらに検討を加えたいと思う。

## ま と め

1) 穀類、いも類、球根類から調製した6種類の生デンプンを試料とし、Pancreatinによる消化試験を行った結果、オオムギ、ウルチゴメは最も分解されやすく、ついでクズ、チュールリップの順で、ヤマノイモ、ジャガイモはいちじるしく分解の劣ることを認めた。

2) マウスの飼育実験による体重の消長ならびに消化器内容物の顕微鏡的観察によっても、穀類デンプンは消化よく、サツマイモこれにつき、ヤマノイモ、ジャガイモはほとんど消化されないことを認めた。

実験にあたり御教示賜った岐阜大学名誉教授高橋悌蔵先生に厚く謝意を表しますとともに、デンプン試料を譲与頂いた大和農園に深謝いたします。

なおこの報告の要旨は昭和41年5月、日本家政学会中部支部会において発表した。

## 参 考 文 献

- 1) 川上, 飯島 : (1964) 穀工, **12**, 27
- 2) 渡辺, 長谷 : (1958) 穀工, **5**, 111
- 3) 外山, 松作, 二国 : (1966) 穀工, **13**, 69
- 4) 尾崎 : (1960) 栄養と食糧, **13**, 149
- 5) 佐藤 : (1959) 農産技研誌, **6**, 285
- 6) 二国二郎 : (1961) デンプンハンドブック
- 7) 尾崎 : (1960) 日農化, **34**, 1056
- 8) 青木, 内島, 林部 : (1966) 名女大紀要, **12**, 45
- 9) R. L. Gates : (1953) Cereal Chem., **30**, 413
- 10) R. M. Sandstedt : (1939) Cereal Chem., **16**, 712
- 11) S. Reclfern : (1947) Cereal Chem., **24**, 259
- 12) G. J. Walker et al : (1963) J. Biochem., **86**, 452
- 13) Rudolph M. Sandstedt et al : (1962) Cereal Chem., **39**, 123
- 14) K. Balls : (1949) J. Biol Chem., **180**, 883
- 15) J. R. Katz : (1930) Z. Physik. Chem., **150**, 90
- 16) 吉田, 森本 : (1963) 日農化, **37**, 337
- 17) 松作 : (1963) 日農化総会講演要旨 p. 195
- 18) 鈴木裕, 川原, 村山 : (1965) 同上 p. 61
- 19) 鈴木繁, 他 : (1965) 穀工, **12**, 61
- 20) 上田誠之助 : (1957) 日農化, **31**, 902