報 文

ジャガイモ澱粉粒のラット消化酵素におよぼす影響

藤 田 修 三, 高 谷 友 久, 不 破 英 次

大阪市立大学生活科学部食品化学研究室

Effects of Potato Starch Granules on Digestive Enzymes of Rats

Syuzo FUJITA, Tomohisa TAKAYA, Hidetsugu FUWA

Department of Food and Nutrition, Faculty of Science of Living,

Osaka City University, Sumiyoshi-ku, Osaka

The influences of potato starch-granules and cellulose on the digestive enzyme activities of adult and young rats were studied for various duration. When rats of 8 weeks old were fed on the diet containing 50% potato starch-granules (PSG diet) for a week, pancreatic α -amylase activity was lower than that of rats (control) fed a pregelatinized potato starch diet (PPS diet), and pancreatic protease activity was higher than that of the control. But, protease activity and maltase activity of the small intestinal mucosa of rats fed the PSG diet for 4 weeks was not significantly different from those of control. When rats of 4 weeks old were raised on the PSG diet for longer time, the tendency for the recovery of several enzyme activities was clearly revealed. After twelveth week-feeding, α -amylase activity of rats fed the PSG diet was not less than that of control. From these results, the change of digestive enzyme activities seems to be classified into three types; pancreatic α -amylase type, pancreatic protease type and intestinal maltase type. In paired feeding of PPS, PSG and cellulose diets for 8 days, pancreatic α -amylase activity of rats fed the PSG diet was similar to that of rats fed the PPS diet, nevertheless that of the cellulose group was higher than that of PSG diet. The results from the paperchromatogram indicated that several kinds of maltoligosaccharide were produced small intestinal mucosa of rats fed the PSG diet for 8 days, but hardly in that of the PPS diet.

(Received October 27, 1980)

澱粉粒の酵素分解性については、一般に根茎澱粉は穀類澱粉よりも α -アミラーゼの作用をうけにくいといわれている^{1,2)}。上田ら³⁾、不破ら⁴⁾はジャガイモ澱粉粒 (potato starch granules, 以下 PSG と略す) が、根茎澱粉粒中でも分解の悪いもので、*in vitro* の分解性は $\text{PSG} < \text{ヤマノイモ} < \text{サツマイモ} < \text{トウモロコシ} < \text{米}$ であることを報告している。またラットを用いた消化試験からも、PSG の難消化性が指摘されている^{5)~10)}。これら *in vivo* の実験は、実験動物の種類、年齢、性別、食餌組成、飼育条件などが異なるが、摂食した PSG の約半分がラット体内で消失しており、一般に、*in vitro* で非常に難消化性の澱粉粒も、*in vitro* ではかなり消化されるという結果がえられている。

このように澱粉粒が、*in vivo* で効率よく分解される

おもな理由としては、(1)胃酸による攻撃^{11,12)}、(2)胆汁酸の界面活性効果¹³⁾、(3)唾液および膵液中の α -アミラーゼ分泌量の増減¹⁴⁾、(4)小腸粘膜における効率よい膜消化と生成物の吸収^{14,15)}、(5)腸内細菌叢による分解、および、(6)消化管の蠕動運動を含む物理的損傷などがあげられる。(3)について、 α -アミラーゼを含めて膵臓からの消化酵素の分泌量は、与えた栄養素の量だけではなく、質によっても左右されることが、多数の研究者により報告されている^{16,17)}。

Nitsan¹³⁾は、ニワトリに PSG を与えて、46日目に膵臓 α -アミラーゼ活性の高まることを報告している。著者らは、ラットを用いて同様の実験を試みたが、飼育後7日目で膵臓中の α -アミラーゼ活性が、糊化ジャガイモ澱粉 (pregelatinized potato starch, 以下 PPS と略す) を与えた群に対して、PSG投与群ではむしろ半減していた。Ronald¹⁸⁾らは、低たん白質とコーンスターチで飼育

したラットの唾液 α -アミラーゼを調べた結果、一時的にその活性が低くなるが、期間とともに回復することを報告している。この場合の考察として、低たん白質により、 α -アミラーゼ活性低下が引き起こされるが、飼育期間が長くなると回復し、むしろ、その高炭水化物食のため、正常食で飼育したラットより、その活性が高まる可能性が考えられるとしている。

本報告では、脾臓中の α -アミラーゼ活性を中心に、ラットの消化酵素におよぼす PSG 摂取の影響について検討してみた。また同時に、難消化多糖類であるセルロースと PSG の消化酵素におよぼす影響を比較し、興味ある結果を得たので報告する。

実験方法

1. 実験動物と飼料

1) 実験動物 Sprague-Dawley 系 (S. D.: JCL) 雄ラットを日本クレア社より購入し、室温 $22 \pm 2^\circ\text{C}$ の動物飼育室で数日間、固型飼料と水を自由に与えて、一定範囲の体重になったものを、1群6匹ずつ実験に供した。ラットの週齢については、成熟期の実験には8週齢のラット、長期間観察の実験および PSG 食とセルロース食の比較実験には4週齢のラット、そして消化管内での澱粉分解物の状態観察には6週齢のラットを用いた。

2) 飼育期間 成熟期の実験の場合、実験食投与後1および4週間飼育し、成長期ラットを用いた長期間観察の実験では投与後1, 4, 8, 12週間飼育し、PSG 食とセルロース食の比較実験の場合、および澱粉分解物の状態観察実験では、8日間それぞれ飼育観察した。

Table 1. Composition of experimental diets.^{a)}

	Experimental diets ^{b)} (%)		
	PPS	PSG	CP
Casein	25.00	25.00	25.00
Pregelatinized potato starch	59.00	9.00	34.00
Potato starch granules		50.00	
Cellulose powder ^{c)}	5.00	5.00	30.00
Corn oil	5.00	5.00	5.00
Mineral mixture ^{d)}	5.00	5.00	5.00
Vitamin mixture ^{d)}	0.85	0.85	0.85
Choline-HCl	0.15	0.15	0.15

^{a)} Diets also contained per 100 g: 600 IU retinyl palmitate, 60 IU ergocalciferol and 10 mg all-rac- α -tocopheryl acetate.

^{b)} PPS: the group fed pregelatinized potato starch, PSG: the group fed potato starch granules and CP: the group fed cellulose powder.

^{c)} Avicel (American Viscose Co., Ltd.)

^{d)} Harper, A. E.: *J. Nutr.*, 68, 405 (1955)

3) 飼料 Table 1 に示した合成粉末飼料を、水とねって、だんごの形で与えた。セルロース食との比較実験は、ベアードフィーディングで食餌制限を行なったが、それ以外の実験では食餌を自由に与えた。水は各実験とも、自由に与えた。また毎日与える食餌重量(乾物重量)と翌日食べ残した食餌重量(乾物重量)を測定し、1日の摂食量を求めた。

2. 脾臓ならびに小腸粘膜からの酵素標本の調製

実験期間を終えたラットは、エーテル麻酔にかけて心臓採血法により死亡させ、分析に供する臓器を摘出した。脾臓は凍結保存し、1週間後に分析した。小腸はただちに実験に供した。解凍した脾臓から脂肪を取り除き、0.5% (W/V) Triton-X 100 と 5mm 塩化カルシウムを含む生理的食塩水を加えて、5分間水冷後、テフロンペストルとガラスホモジナイザーでホモジナイズし、遠心分離 ($10,000 \times g$, 20分間, 0°C) にかけて、上清を酵素溶液とした。小腸は、粘膜をスライドグラスでスクラップし、Marshall らの方法¹⁹⁾に従い、粘膜を1% (W/V) Triton-X 100 と 1mm 塩化カルシウムを含む、50mm 酢酸緩衝液 (pH 5.5) に懸濁し、氷冷下で60分間攪拌後、ホモジナイズし、さらに遠心分離 ($10,000 \times g$, 20分間, 0°C) にかけて、上清を酵素溶液とした。

3. 酵素活性の測定

α -アミラーゼ活性: Klein ら²⁰⁾の色素結合アミロース法を用いた。ただし、基質はレマゾールブリリアントブルーR塩(半井製薬)をジャガイモアミロース(アベベ社, オランダ)に結合させて調製した²¹⁾。反応条件は、70mg 色素結合アミロースを380mm トリス塩酸緩衝液 (pH 7.0, 1mm 塩化カルシウムを含む) に懸濁し、適量の酵素溶液を加えて反応を行なった。活性単位は、1分間に1mgの色素を遊離させる酵素量を1単位とした。

プロテアーゼ活性: 酵素溶液は、2回結晶ブタ脾臓トリプシン (I. C. N., U S) を加えて、 2°C で活性化させた。反応は、20mg カゼインと100mm トリス塩酸緩衝液 (pH 7.4, 1mm 塩化カルシウムを含む) に活性化した酵素溶液を加えて 37°C で反応を行なった²²⁾。TCA 可溶性窒素化合物は、牛血清アルブミンを標準物質とする Lowry らの方法²³⁾を用いて定量した。活性単位は、1分間に1mgの可溶性窒素化合物を生成する酵素量を1単位とした。

マルターゼ活性: Dahlqvist の方法²⁴⁾に従い、マルトースを25mm 含んだ、50mm 酢酸緩衝液 (pH 5.5) に適量の酵素溶液を加えて 37°C で反応を行なった。活性単位は1分間に1 μmole の基質を水解する酵素量を1単位とした。

イソマルターゼ活性: 20mm のイソマルトースを含

んだ, 50 mM 酢酸緩衝液 (pH 5.5) 中で反応を行なった。他の条件および活性単位は, マルターゼ活性の場合と同じである。

4. 肝臓グリコーゲンの測定

肝臓グリコーゲン蓄積量は, Hassid ら²⁵⁾の変法を用いた。肝臓を摘出後, ただちに30%水酸化カリウムを加えて60分間煮沸後, 冷却し, 倍量の95%エタノールを加えて60分間以上氷冷した。遠心分離 (1,600×g, 15分間) にかけて, 沈殿物を0.2%塩化カリウム溶液に溶解し, その操作を3回繰り返して洗浄後, 希釈して, グルコースを標準物質とする, フェノール硫酸法²⁶⁾で定量した。

5. 窒素出納

成長期のラットを用いた長期間の実験開始後, 19日目に, PPS 食群および PSG 食群から無作為に6匹ずつ選択し, 代謝ケージに入れて慣らした後, 22日目から3日間について飼料摂取量, 尿中および糞中窒素量をケルダール法で定量し, みかけの窒素出納を求めた。

6. 小腸粘膜中の澱粉分解産物の検出と同定

反転した小腸から, スライドグラスで粘膜をスクラップし, そのものに5倍量の水を加えてホモジナイズした。ホモジネートの一部は, 酵素を失活させる目的で5分間煮沸し, 残りは, 37°Cで90分間インキュベートした後, 同様に加熱失活した。遠心分離 (1,600×g, 20分間) を行ない, その上清についてペーパークロマトグラフィーを行なった。ペーパークロマトグラフィーは, Whatman の 3MM ろ紙に, 各サンプルをスポットし, ブタノール:ピリジン:水 (6:4:3) の溶媒により, 40°Cで上昇展開を3回繰り返した。乾燥後, グル

コアミラーゼ (*Rhizopus niveus*, 生化学工業) を37°Cで60分間作用させた後, 硝酸銀試薬法²⁷⁾で還元糖を検出した。また, 5炭糖と6炭糖を判別するため, ジフェニルアミン-アニリン試薬法²⁸⁾を用いて検出した。

実験結果

1. 成熟期のラットを用いた実験

成熟期のラットを実験動物に選んだ理由は, この時期のラットは各消化酵素活性が, 比較的安定した状態にあるからである。今回の食餌条件では, PSG の消化管滞留による死亡は認められず, また PSG 群の体重増加は, PPS 群より悪い傾向を示したが, 有意差は認められなかった。小腸重量は, PSG 群が PPS 群より増加する傾向がみられた (Table 2)。

膵臓 α -アミラーゼ活性は, 1週目で PSG 群が PPS 群より低い活性値を示し, その傾向は4週目でも同様であった。プロテアーゼ活性は, α -アミラーゼ活性とは逆に1週目で PSG 群の活性が極端に上がり, 4週目になると, その差は縮まったが依然有意差は認められた (Fig. 1)。小腸粘膜マルターゼ活性は, PSG 群が PPS 群より低い傾向にあったが, 食餌条件による影響は少なかった (Fig. 1)。

2. 成長期ラットでの長期間飼育実験

成長期のラットは, 各消化酵素活性が食餌条件以外の因子によっても変動しやすい状態にはあるが, 生物の適応力の大きいことに着目して, 長期間にわたる実験食摂取の影響を観察した。12週間飼育したラットの成長曲線および週単位のラット一匹当たりの摂食量を Fig. 2 に示した。'みかけ'の体重は, 6週目に飼育室の空調設備

Table 2. Body weight, food intake and tissue weights of young adult rats fed diets containing pregelatinized potato starch (PPS) or potato starch granules (PSG).

		Experimental groups ^{a)}	
		PPS	PSG
Final body weight (g)	1 wk	297±10 ^{b)}	285±10
	4 wk	374±25	349±21
Gain in body weight ^{c)} (g)	1 wk	31.3±6.7	18.7±7.7
	4 wk	108.0±21.8	82.3±18.5
Food intake (g/duration)	1 wk	298±14	297±18
	4 wk	369±24	328±21
Weight of pancreas (g)	1 wk	0.83±0.13	1.00±0.08
	4 wk	1.01±0.15	1.01±0.09
Weight of small intestine without content (g)	1 wk	7.02±0.52	9.51±2.71
	4 wk	8.14±0.84	8.91±1.48

^{a)} See Table 1.

^{b)} Values are mean±S.D. of six rats in a group.

^{c)} Final body weight—initial body weight.

Fig. 1. Pancreatic and intestinal enzyme activities of young adult rats fed the diet containing either pregelatinized potato starch (PPS) or potato starch granules (PSG).

Open column is PPS diet group and shaded column is PSG diet group. Vertical bars represent S.D. of mean for six rats. The asterisk indicates a difference significant ($p < 0.01$) as compared to PPS.

Fig. 2. Change in body weight and food intake of rats fed either pregelatinized potato starch (PPS) or potato starch granules (PSG) diets.

Open circle and open column are PPS, and dots and shaded column are PSG.

故障のため若干影響があったが、両群ともほぼ等しい体重増加曲線を描いた。ここで「みかけ」としたのは、両群の消化管内容物量に差があるためである。摂食量はPSG群が常に多く、12週間の総摂食量を比較すると、PSG群はラット1匹当たり1,820g、PPS群は1,310gであり、その比率は7:5であった。PPSは体内でほとんど消化吸収され、PSGが50%消化吸収されると仮定して²²⁹⁾、摂食量中の糖質と脂質にもとづくカロリーを計算すると、PSG群はラット1匹当たり3,300カロリー、PPS群では3,700カロリーであった。つまりカロリーがPSG群で不足しているが、その不足はたん白質から補われている可能性が考えられる。そこで、窒素出納試験を試みたが、その結果たん白質がカロリー源として利用された可能性が認められた (Table 3)。

PSG群の肝臓重量は期間とともに、PPS群より小さくなる傾向が認められ、一方、脾臓および小腸重量は、逆に大きくなる傾向がみられた (Table 4)。

肝臓全量に対して蓄積したグリコーゲン量について、PPS群は、1週目262±63 (mg グルコース) (平均値±

Table 3. Metabolic experiment of young rats.

	Experimental groups ^{a)}	
	PPS	PSG
Gain in body weight (g/3 days) ^{b)}	13.2±8.1 ^{c)}	10.3±4.2
N-intake (A) (mgN/3 days)	2000±380	2490±430
N-in feces (B) (mgN/3 days)	127±15	219±31 ^{a)}
N-in urine (C) (mgN/3 days)	877±147	1310±296 ^{d)}
$\frac{A-B-C}{A-B} \times 100$	53.2	48.6
Gain in body weight (g/3d) / Protein intake (g/3d)	1.06	0.66

^{a)} See Table 1.

^{b)} 22-24th day in experiment 2.

^{c)} Values are mean±S.D. of six rats in a group.

^{d)} Significantly different from PPS rats at $p < 0.05$, $p < 0.01$, respectively.

標準偏差), 4週目469±125, 8週目471±97, 12週目720±180であり、PSG群は、1週目258±72, 4週目372±152, 8週目383±113, 12週目439±163であり、肝臓重量と同様、PSG群がPPS群より低くなる傾向にあり、期間とともに、その差が広がっていくようであった。

脾臓α-アミラーゼ活性は、1週目では実験1と同様にPSG群の活性が、PPS群より低くなるが、徐々にPSG群の活性上昇がみられ、12週目ではPPS群と等しい活性をもつようになった。プロテアーゼ活性は、1週目ではPSG群の活性が高くなるが、期間とともにPPS群の活性に近づく傾向がみられた。小腸粘膜中のマルターゼ、イソマルターゼ活性は、ともに食餌組成にほとんど影響されなかった (Fig. 3)。

3. PSG食とセルロース食の比較実験

窒素出納の結果からPSG群では、たん白質摂取量がPPS群より多く、そのことが各酵素活性に影響を与えていることが考えられる。そのため、たん白質摂取量を

Table 4. The weights of body, liver, pancreas, small intestine and intestinal contents of growing rats fed the diet containing pregelatinized potato starch (PPS) or potato starch granules (PSG).

		Experimental groups ^{a)} (g)	
		PPS	PSG
Final body weight minus weight of contents in digestive tract	1 wk	122±13 ^{b)}	121±7
	4 wk	251±26	229±13
	8 wk	357±19	336±29
	12 wk	416±21	389±24
Liver weight	1 wk	5.9±1.0	6.3±1.0
	4 wk	11.6±1.5	11.0±0.8
	8 wk	12.8±1.7	12.5±1.4
	12 wk	14.1±1.7	12.5±1.1
Pancreas weight	1 wk	0.42±0.11	0.47±0.03
	4 wk	0.65±0.09	0.78±0.07
	8 wk	0.77±0.14	0.92±0.11
	12 wk	0.78±0.15	1.05±0.11 ^{c)}
Small intestine weight without contents	1 wk	4.68±0.80	5.61±0.66
	4 wk	5.09±0.61	7.10±1.18
	8 wk	6.96±1.08	7.89±0.81
	12 wk	6.98±0.95	7.99±1.14
Weight of contents in digestive tract	1 wk	5.32±1.62	12.6±2.03 ^{c)}
	4 wk	6.23±1.76	19.9±2.75 ^{c)}
	8 wk	5.33±1.29	22.0±4.45 ^{c)}
	12 wk	5.19±1.12	25.4±4.01 ^{c)}

^{a)} See Table 1.^{b)} Values are mean±S.D. of six rats in a group.^{c)} Significance of difference between PPS and PSG is indicated as ($p<0.05$).

Fig. 3. Pancreatic and intestinal enzyme activities of young rats fed the diet containing either pregelatinized potato starch (PPS) or potato starch granules (PSG).

Open column is PPS diet group and shaded column is PSG diet group. Vertical bars represent S.D. of mean for six rats. The asterisk indicates a difference significant ($p<0.05$) as compared to PPS.

Table 5. Initial body weight, gain in body weight and weights of liver, pancreas, small intestine and intestinal contents in rats fed diet containing PPS, PSG and CP.

	Experimental groups ^{a)} (g)		
	PPS	PSG	CP
Initial body weight	91±1.4 ^{b)}	100±3.5	99±3.8
Gain in body weight	61.6±3.6	34.6±2.8 ^{c)}	35.6±4.0 ^{c)}
Liver weight	7.52±0.52	5.70±0.25 ^{c)}	6.08±0.29 ^{c)}
Pancreas weight	0.44±0.05	0.58±0.09 ^{d)}	0.56±0.09 ^{d)}
Weight of small intestine without contents	6.26±0.77	5.24±0.70	3.81±0.09 ^{c)}
Weight of contents in digestive tract	4.85±1.10	11.9±2.66 ^{d)}	6.06±1.02

^{a)} See Table 1.

^{b)} Values are mean±S. D. of six rats in a group.

^{c)}^{d)} Significantly different from PPS rats at $p<0.05$, $p<0.01$, respectively.

Fig. 4. Pancreatic and intestinal enzyme activities of rats fed the diet containing pregelatinized potato starch (PPS), potato starch granules (PSG) or cellulose powder (CP) for 8 day-feeding.

Open column is PPS diet group, shaded column is PSG diet group and closed column is CP diet group. Vertical bars represent S.D. of mean for six rats. The asterisk indicates a difference significant ($p<0.05$) as compared to PPS.

同量にする目的で、ベアードフィーディングを試みた。またセルロースを多く含む実験食 (CP と略す, Table 1) 群を設けて、PSG 群と比較検討した。

体重は、カロリー不足の分だけ PSG 群、CP 群ともに PPS 群より成長が悪かった。肝臓重量は、体重と同様の傾向を示し、逆に脾臓重量は PSG 群、CP 群ともに、PPS 群より重くなっており、また小腸重量は CP 群が著しく軽くなっているのが認められた (Table 5)。CP 群の消化管は、全体に縮んでおり、とくに盲腸部は、PSG 群の膨大とは、対照的であった。

脾臓 α -アミラーゼ活性は、実験 1 および 2 の自由食で 1 週間飼育した場合 (Fig. 1 と 4) とは異なり、PPS 群と PSG 群はほとんど差がなく、CP 群の活性が高かった。プロテアーゼ活性は、PPS 群と PSG 群については、自由摂食の場合と同じ傾向だが、CP 群は PPS 群より有意に高く、また PSG 群よりは低い傾向にあった。小腸粘膜中のマルターゼ、イソマルターゼ活性は、PSG 群、CP 群の活性が高くなる傾向がみられたが、有意差はなかった (Fig. 4)。

4. 消化管内での澱粉分解物の状態

6 週齢のラットに実験食を 8 日間与えた場合、小腸粘膜の澱粉分解産物の分布は、Fig. 5 に示すペーパークロマトグラムのように、PSG 群ではグルコース以外に、オリゴ糖が残存していた。しかし、その試料を 37°C で 90 分間酵素反応をさせると、そのほとんどがグルコースまで分解された。その際、グルコースの上部に還元力をもつ物質が現われた。その物質の性質は、ジフェニルアミン-アニリン試薬による発色から五炭糖であり、またその R_f 値から、リボースであろうと推定した。これら一連のペーパークロマトグラムで、標準物質に比べて各試料の移動が遅いのは、塩類が粘膜試料中に含まれていたためである。

考 察

ジャガイモ澱粉粒をおもな炭水化物源とする食餌 (PSG) をラットに投与したときの、各種消化酵素活性のうち、脾臓 α -アミラーゼは糊化ジャガイモ澱粉 (PPS) 投与群に対して、初期にその活性は低く、期間とともに

Fig. 5. Paperchromatogram of saccharides in the intestinal mucosa of rats fed the diet containing either pregelatinized potato starch (PPS) or potato starch granules (PSG).

S: standard markers (G1; glucose, G2; maltose and G3, G4; oligosaccharides), A: without preincubation, B: with 90 min preincubation.

その活性は増加して PPS 群に近づく傾向がみられた。一方、膵臓プロテアーゼ活性は、 α -アミラーゼ活性とは逆の現象を示した。(Fig. 1 と 3)。 α -アミラーゼ活性とプロテアーゼ活性の正反対の変化は、Abdeljilil ら³⁰⁾のアロキサン糖尿病のラットでも認められている。膵臓の消化酵素は、食餌組成に影響されることが知られており¹⁶⁾、自由摂食させると、むしろ摂食量が両実験群で異なるため、その組成中で有効に消化吸収される栄養素の割合に応じて、この現象を生じた可能性が考えられた。そこで、ジャガイモ澱粉粒のラット体内での消化率を50%と想定し、ベアードフィーディングを試みた。その結果、 α -アミラーゼは PPS 群、PSG 群ともに、ほぼ等しい活性値を示し、プロテアーゼ活性は、自由摂食の場合と同じ傾向を示した。PSG とほぼ等しいグルコース吸収量を考慮したセルロース (CP) 群の α -アミラーゼ活性は、PPS 群や PSG 群よりも高く、プロテアーゼ活性は、PPS 群より高く、PSG 群よりもやや低い傾向がみられた。膵臓プロテアーゼ活性は、プロテアーゼインヒビターを使った実験、灌流実験等より、小腸上部に存在するプロテアーゼの活性中心のブロックと関連性があるといわれている^{31)~34)}。つまり、食物としてたん白質が摂食されると、プロテアーゼがそれに作用するため、活性中心がブロックされたと同じ状態になる。インヒビターもプロテアーゼの活性中心をブロックする。その結果、消化管ホルモンを介して、膵臓のプロテアーゼ活性

上昇を生じさせるとされている。また膵液の分泌は、神経支配をうけていないようであり、 α -アミラーゼの場合、食餌中のペプトンなどにより分泌が促進されることも報告されている³⁵⁾。すなわち、難消化性質がたん白質とともに多量に、消化管に入り、正常な消化機能を維持しにくい場合には、膵臓重量が増加し、酵素合成力が急激に高められる。しかし、プロテアーゼ合成が優先的に行なわれる結果、 α -アミラーゼ活性の低下という現象が、初期にあらわれるが、しだいに機能全体の適応が生じると想定される。

セルロースの消化管におよぼす影響については、奥ら³⁶⁾が記載しているが、二糖類分解酵素については、本実験結果も、セルロースによる影響はみられなかった。セルロースは消化管内では「かさ」の因子であるが、ジャガイモ澱粉粒のように盲腸での滞留は著しくはなく、両者の消化管に与える影響は、やや異なるように思える。

ジャガイモ澱粉粒は、豆類澱粉粒と同様に、トウモロコシ澱粉粒などに比べて、たん白質効率を有意に低下させる。しかし、糊化するとたん白質効率低下を改善することができると報告されている³⁷⁾。本実験の窒素出納からも、その事実を支持している。またジャガイモ澱粉粒の難消化性に起因する未消化物は、蠕動運動の困難、そして消化管、とくに盲腸への負担を大きくし、消化機能に障害を与える。しかし、初期段階で下痢を生じたラットも、期間とともに消化管の筋肉層を増して、食物の移動を促進しているのが観察された。また PSG 群の消化管腔内には、デキストリンやオリゴ糖が多量に残存し、それらが小腸粘膜酵素により効率よく分解されることも認めた (Fig. 5)。排泄される糞は、黄白色で、大豆状の大粒な便であるが、その乾燥物を割ってみると中空になっており、先に述べたように、排便されるまでに分解作用が続いていたとわかった。

以上のことより、本実験で、当初予想していた膵臓 α -アミラーゼ活性の、ジャガイモ澱粉粒投与による上昇は認められず、むしろ種々の消化酵素を含めて、消化機能全体が長期間をかけて、難消化性澱粉粒摂取に適応していくようである。

要 約

ジャガイモ澱粉粒を成熟期および成長期のラットに与えて、各種消化酵素の変動を検討し、以下の結果を得た。

1) 成熟ラットにおいては、膵臓 α -アミラーゼ活性は、澱粉粒摂取と同時にその活性が下がり、4週間後に至っても回復しなかった。プロテアーゼ活性は、逆に摂取開始時に、その活性が高まり、以後回復する傾向にあ

った。小腸粘膜中のマルターゼ活性は、期間中を通して澱粉粒にあまり影響されなかった。

2) 成長期のラットにおいては、膵臓 α -アミラーゼ活性は、澱粉粒摂食開始と同時に下がるが、飼育期間の経過とともに回復し、12週間後では、糊化澱粉摂取のラットとはほぼ同じ活性力に至った。プロテアーゼ活性は、摂取と同時に急激に高まったが、飼育期間の経過とともに回復する傾向にあった。しかし、小腸粘膜中のマルターゼ、イソマルターゼ活性は、澱粉粒にあまり影響されなかった。また難消化性澱粉粒の摂取の場合、たん白質をカロリー源として利用しており、たん白質効率を低下させていた。

3) 澱粉粒とセルロースのペアードフィーディングによる比較実験から、膵臓 α -アミラーゼ活性は、セルロース摂取で明らかに上昇した。しかし、澱粉粒摂取の場合は、上記1), 2)の結果とは異なり、糊化澱粉摂取の場合と同様の活性を示した。プロテアーゼ活性は、澱粉粒およびセルロース摂取により、その活性が高められた。小腸粘膜中のマルターゼ、イソマルターゼ活性は、各投与食にあまり影響されなかった。

4) 糊化澱粉摂取ラットの腸粘膜中に含まれている糖は、グルコースがほとんどであるが、澱粉粒摂取では、オリゴ糖がかなり含まれており、効率のよい膜消化が続けられていることが認められた。

本研究の一部は、文部省科学研究費の援助によって行なわれた。また実験用ジャガイモ澱粉粒をご恵与いただきました北海道澱粉工業協会に深く感謝いたします。

文 献

- 1) Balls, A. K. and Schwimmer, S.: *J. Biol. Chem.*, **156**, 203 (1944)
- 2) 山崎何恵, 上田誠之助: 農化, **24**, 181 (1951)
- 3) 上田誠之助: 澱粉科学, **21**, 210 (1974)
- 4) Fuwa, H., Nakajima, M., Hamada, A. and Glover, D. V.: *Cereal Chem.*, **54**, 230 (1977)
- 5) 桜井芳人, 増原泰三, 渡辺至子, 早川清一: 食研報, **5**, 41 (1951)
- 6) Booher, L. E., Behan, I. and McMeans, E.: *J. Nutr.*, **45**, 75 (1951)
- 7) Reussner, G., Jr., Andros, J. and Thiessen, R., Jr.: *J. Nutr.*, **80**, 291 (1963)
- 8) 吉田 実, 森本 宏: 農化, **37**, 337 (1963)
- 9) 杉本温美, 高谷友久, 不破英次: 澱粉科学, **22**, 103 (1975)
- 10) Shalon, W. A.: *J. Nutr.*, **90**, 235 (1966)
- 11) 高尾文子, 杉本温美, 不破英次: 澱粉科学, **25**, 12 (1978)
- 12) 多田 洋, 河合文雄: 栄養と食糧, **30**, 15 (1977)
- 13) Nitsan, Z. and Bartov, I.: *Poultry Sci.*, **51**, 836 (1972)
- 14) Crane, R. K., Miller, D. and Bihler, I.: *Membrane Transport and Metabolism*, 439 (1961), Academic Press (New York)
- 15) Ugolev, A. M.: *Physiol. Rev.*, **45**, 555 (1915)
- 16) Howard, F. and Yudkin, J.: *Brit. J. Nutr.*, **17**, 281 (1963)
- 17) Michaelis, O. E., IV, Hallfrisch, J. G., Putney, J. D., Schfield, D. J. and Reiser, S.: *J. Nutr.*, **107**, 2171 (1977)
- 18) Ronald, R. W. and Magda, A.: *J. Nutr.*, **110**, 771 (1980)
- 19) Marshall, J. J., Sturgeon, C. M. and Whelan, W. J.: *Anal. Biochem.*, **82**, 435 (1977)
- 20) Klein, B., Foreman, J. A. and Searcy, R. L.: *Anal. Biochem.*, **31**, 412 (1969)
- 21) 遠藤慶子, 杉本温美, 高谷友久, 不破英次: 澱粉科学, **25**, 24 (1978)
- 22) 江上不二夫 (編): 標準生化学実験, 207 (1953), 文光堂 (東京)
- 23) Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. and Randall, R. J.: *J. Biol. Chem.*, **193**, 265 (1951)
- 24) Dahlqvist, A.: *Anal. Biochem.*, **22**, 99 (1968)
- 25) Hassid, W. Z. and Abraham, S.: *Methods Enzymol.*, **3**, 34 (1957)
- 26) Dubois, M., Gills, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F.: *Anal. Chem.*, **28**, 350 (1956)
- 27) Trevelyan, W. E., Procter, D. P. and Harrison, J. S.: *Nature*, **166**, 444 (1950)
- 28) Bailey, R. W. and Bourne, E. J.: *J. Chromatog.*, **4**, 206 (1960)
- 29) Sugimoto, Y., Fujita, S., Takaya, T. and Fuwa, H.: *Stärke*, **32**, 290 (1980)
- 30) Ben Abdeljlil, A., Palla, J. C. and Desnuelle, P.: *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **18**, 71 (1965)
- 31) Schneeman, B. O. and Lyman, R. L.: *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **148**, 897 (1975)
- 32) Morisset, J. and Dunnigan, J.: *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **136**, 231 (1971)
- 33) Johnson, A. and Krechmer, N.: *J. Nutr.*, **107**, 87 (1977)
- 34) Dagorn, J. C., Paradis, D. and Morisset, J.: *Digestion*, **15**, 110 (1977)
- 35) Wang, C. C. and Grossman, M. I.: *Am. J. Physiol.*, **164**, 527 (1951)
- 36) 奥 恒行, 山田和彦, 細谷憲政: 栄養と食糧, **32**, 235 (1979)
- 37) Ageswara Rao, C. N. and Ageswara Rao, B. S.: *Brit. J. Nutr.*, **40**, 1 (1978)

(昭和55年10月27日受理)