加熱処理したアミロメイズVデンプンの人工 消化と幼若ラットに対する成長試験†

綾野雄幸, 渡辺幸雄, 鈴木徹, 横井昌子

千葉大学園芸学部農芸化学科

On the *in vitro* Digestion of Various Heat-Processed Amylomaize V Starches and on the Growth of Weanling Rats Fed those Starches as a Sole Carbohydrate Source

Yūkō AYANO, Yukio WATANABE, Tōru SUZUKI, Masako YOKOI

Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Horticulture,
Chiba University, Matsudo, Chiba

In order to improve the nutritive value of the amylomaize V starch (amylose contents 49.3%), it was processed under various conditions. This study was undertaken to estimate the *in vitro* digestibilities of the processed starches and their effects on growth of weanling rats.

In the *in vitro* experiment using extract of rat small intestine, the digestibilities of the various alkali or heat-processed amylomaize starches, incubated for 24 hours at 37°C, were as follows; alkali-processed starch 96.8%, raw normal corn starch as a control 92.4%, pregelatinized starch (processed by extruder) 89.6%, autoclaved starch (with 400% of added water, heated at 120°C for 30 min. and freeze dried) 75.2%, steamed starch (with 60% of added water, heated at 100°C for 60 min. and vacuum dried) 71.5%, and raw starch 36.2%.

In the animal experiment, the growth rates of weanling rats fed diets containing the various heat-processed amylomaize starches at 78% level of diet, were compared with those of rats fed diet containing either raw amylomaize starch or raw normal corn starch. The pregelatinized starch (processed by extruder) maintained normal growth, but caused slight enlargement of cecum and deteriorated protein digestibility comparing with normal corn starch. The autoclaved starch caused larger cecum, less depot fat and smaller carcass as compared with the pregelatinized starch. Growth indexes, such as body weight gain, feed conversion and protein efficiency ratio of rats fed the autoclaved starch, were not significantly different from those of rats on normal corn starch. The steamed starch showed rather lower digestibility than the autoclaved one. In addition, the former induced slight abnormal growth of the rats. It failed to depress apparent body weight gain of the fed animals, but caused slight decrease of eviscerated carcass weight as well as small depot fat content as compared with the autoclaved one. These results indicated that amylomaize starch could not be improved the nutritive values to be equal with that of raw normal corn starch, even if the former starch was heat-processed at 120°C for 30 min.

(Received September 29, 1976)

前報¹⁾で、生のアミロメイズVデンプンを糖質源として幼若ラットに投与した場合、恒常な成長を示さず、下痢症状を呈し、消化器官、とくに盲腸において顕著な増大が観察された。また、85%メタノールで脱脂洗浄処理をほどこして投与しても、その成長成績は未処理のデンプン

の場合と有意差がなかったことを報告した。

このたび、アミロメイズVデンプン(アミロース含量、49.3%)を入手できたので、本実験ではアミロメイズデンプンの消化性ならびに栄養効率を向上させる目的で、種々の条件で加熱処理をほどこした。これら処理デンプンについて、その消化性を人工消化試験で調べるとともに、幼若ラットに投与した場合の成長度、臓器重量の変化、蓄積脂肪の脂肪酸組成および消化吸収に与える影響を、生のアミロメイズデンプンおよび普通トウモロコシデンプンと対比して調べた。以下、その結果を報告する。

† High-Amylose Corn Starch の栄養学的研究 (第2報)

Studies on the Nutritive Value of High-Amylose Corn Starch (Part 2)

〒271 千葉県松戸市戸定 648

実験方法

1. 人工消化試験

1) 試料の調製

アミロメイズVデンプンは85%メタノールにて洗浄後エチルエーテルで脱水乾燥したものを用い、次の処理法によって試料を調製した。

i) アルカリ糊化：デンプン1に対し、1N水酸化ナトリウム液を10の割合で加え、一夜放置後、0.5N塩酸にてpH 6.0に中和し、ただちに凍結乾燥した。

ii) 加熱（加水量 60%）：デンプン1に対し、水 0.6の割合で撒水後、30メッシュの篩を通して含水度を均一にし、シャーレに8gずつとり、濾紙で蓋をして100°Cに保ったオートクレーブ内にて30分、60分蒸煮した。蒸煮後はただちに真空デシケーターに入れて乾燥した。

iii) 加熱（加水量 400%）：デンプン1に対し、水4の割合で加水し、沸とう湯浴中で糊状にしたのち、オートクレーブに入れ、100°Cおよび120°Cでそれぞれ30分、60分処理した。加熱処理したものはただちに凍結乾燥した。

iv) α 化処理：エクストルーダーにより α 化処理した。豊年製油(株)より提供を受けた。

以上のように調製した各処理デンプンは100メッシュに篩別して、以下の実験に用いた。

2) 人工消化試験法

共栓目盛付試験管に試料デンプンを無水物換算にして100mgを秤取し、蒸留水5mlを加えてよく分散させたのち、1/15Mリン酸塩緩衝液(pH 6.8)5ml、ラットの小腸磨砕抽出液2mlおよびトルエン1滴を加え、よくけん濁させたのち、37°Cで反応させた。所定時間後、手早く1N塩酸0.4mlを加えて20mlに定容したのち濾過し、濾液の一定量について生成還元糖をWillstätter schudel法²⁾で定量した。ラットの小腸磨砕抽出液は次のようにして調製した。まず摘出小腸の内容物を除き、生理食塩水で洗浄後、1/15Mリン酸塩緩衝液(pH 6.8)を加え、ホモジナイズしたのち、冷アセトンを加え（最終濃度70%）、生じた沈殿物を最初はアセトン・エチルエーテル等容混合液で、次にエチルエーテルで洗浄・脱水したのち、60メッシュに篩別してアセトンパウダーとした。使用に当っては、1/15Mリン酸塩緩衝液(pH 6.8)2mlにつき、アセトンパウダー50mgの割合で三角フラスコに入れ、15分間振とう抽出したのち、6,000r.p.m.にて10分間遠沈し、上澄液をとって酵素液とした。なお、可溶性デンプン100mgに、この酵素液2mlを加え、試料の人工消化試験と同条件で24時間消化したところ98.0%の消化率を示した。消化率の算出は前報¹⁾にならった。

2. 動物飼育実験

1) 飼料

Table 1に示した飼料を用いた。デンプン源としては、人工消化試験の結果から、アミロメイズデンプンの120°C—30分加熱（加水量400%）・凍結乾燥デンプン(Diet 2), 100°C—60分蒸煮（加水量60%）・風乾デンプン(Diet 3), α 化処理デンプン(Diet 4)を選び、対照として生の普通トウモロコシデンプン(Diet 1)および生のアミロメイズデンプン(Diet 5)の計5種類を用いた。なお、これらデンプンは次のようにして調製した。

i) 120°C—30分加熱・凍結乾燥デンプン（以後、120°C処理アミロメイズデンプンと略記）：アミロメイズデンプン1kgに水4lを加え、沸とう湯浴中で糊状にしてからオートクレーブに移し、120°Cにて30分間加熱処理後、ただちに凍結乾燥した。

ii) 100°C—60分蒸煮・風乾デンプン（以後、蒸煮アミロメイズデンプンと略記）：アミロメイズデンプン1kgに水0.6lを加え、水分が均一になるようによく攪拌してからオートクレーブに移し、100°Cにて60分間蒸煮後、3～4日間風乾した。

iii) α 化処理アミロメイズデンプン：エクストルーダーにより α 化処理したもので、豊年製油K.K.より提供を受けた。外山ら³⁾のグルコアミラーゼ消化法によって測定した α 化度は70.5%であった。

以上の処理デンプンについて、X線回折を前報¹⁾と同じ方法で行なった結果をFig. 1に示す。ただし、X線ディフラクトメーターの測定条件のうち、count full scaleは400c/sとした。生のアミロメイズデンプンはバレイショデンプンと同様なB図形を示したが、120°C処理アミロメイズデンプンおよび α 化処理アミロメイズデンプンは結晶化度が低く、V図形に近い回折像を示した。蒸煮アミロメイズデンプンは生デンプンに近い結晶化度を示し、この程度の処理では α 化されていないことを示した。

2) 実験動物および飼育方法

体重50～60gのウイスター系雄ラットを日本ラットK.K.より購入し、Table 1に示したDiet 1で1週間予備飼育したのち、1群10匹ずつ5群に分け、各実験食を与えて28日間飼育した。なお、各群の平均体重ならびに予備飼育期間中の体重増加量はほぼ等しくなるよう配慮した。飼料ならびに水は自由に摂取させ、体重ならびに飼料摂取量は毎日定刻に測定した。実験終了日にラットは断頭、放血して殺し、解剖して肉眼による観察を行なった。次いで内臓諸器官を摘出し、重量を測定した。

Table 1. Composition of the test diets. (%)

Components	Diet				
	I	II	III	IV	V
Starch	78 ^{a)}	78 ^{b)}	78 ^{c)}	78 ^{d)}	78 ^{e)}
Casein	15	15	15	15	15
Soybean oil	2	2	2	2	2
Salt mixture ^{f)}	4	4	4	4	4
Vitamin mixtures ^{g)}	1	1	1	1	1
Choline chloride	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Vitamin A	3,000 (I.U./kg)	3,000	3,000	3,000	3,000
Vitamin D	7.5 (μ g/kg)	7.5	7.5	7.5	7.5
dl- α -Tocopherol	100 (mg/kg)	100	100	100	100

^{a)} Raw normal corn starch.

^{b)} Amylomaize V starch (1)-water (4), autoclaved at 120°C for 30 min., thereafter freeze-dried.

^{c)} Amylomaize V starch (1)-water (0.6), steam-heated at 100°C for 60 min., thereafter dried at room temperature.

^{d)} Pregelatinized amylomaize V starch by extruder.

^{e)} Raw amylomaize V starch.

^{f)} The Harper's salt mixture (*J. Nutr.*, 68, 405 (1959)).

^{g)} The vitamin mixture contained. (% in the mixture) thiamine, 0.059; riboflavin, 0.059; niacin, 0.294; calcium pantothenate, 0.235; pyridoxine-HCl, 0.029; menadione, 0.006; biotin, 0.001; folic acid, 0.002; cyanocobalamin, 0.0002; myoinositol, 1.176; ascorbic acid, 0.588; and lactose, 97.551.

3) 蓄積脂肪の脂肪酸分析

摘出した後腹壁脂肪の脂肪酸組成は、前報¹⁾と同じ方法で測定した。

4) 見かけの消化吸収率の測定

さきのアミロメイズVIIデンプンの試験¹⁾では、飼育後まもなく下痢症状を呈し、糞の採取が困難であったため、今回は実験開始日から8日目までの糞をラットごとに集めた。これを乾燥後、糞中のデンプンおよびたん白質含量を前報¹⁾と同じ方法で測定し、見かけの消化吸収率を求めた。

実験結果

1. 人工消化試験

種々の条件で加熱処理をほどこしたアミロメイズデンプンについて、ラット小腸磨砕抽出液を用いて人工消化試験を行なった結果を Table 2 に示す。

アミロメイズデンプンは、生では24時間消化で36.2%ときわめて低い消化率を示したが、60%加水し、100°Cで蒸煮するとかなり向上し、蒸煮時間30分では68.6%、60分では71.5%の消化率を示した。また、乾燥中の老化を防ぐために凍結乾燥を行なったが、真空乾燥とくらべ、消化率の向上は1~3%にとどまった。加水量400%で、加熱温度を120°Cにして加熱し、凍結乾燥を行なったものは24時間消化で約75%の消化率

を示し、この場合は加熱時間を延長しても消化率は向上しなかった。アルカリ糊化したアミロメイズデンプンはほぼ完全に消化されたが、他の加熱処理では、24時間消化でくらべると、生の普通トウモロコシデンプンよりもかなり消化率が劣った。消化3時間および6時間目において、加熱処理したアミロメイズデンプンの消化率が、普通トウモロコシデンプンのそれにくらべて高いのは、加熱処理によりデンプン粒が膨潤して、消化されやすい形態に変化したためであろう。しかし、24時間目の消化率は、生の普通トウモロコシデンプンのそれにくらべてかなり低い値を示したが、これはデンプン粒が膨潤しても中心部まで十分に糊化されておらず、いまだ強固なミセルが残存していたためと考えられる。

2. 動物試験

1) 成長経過

各群の飼育期間中における成長経過を群平均体重と比較すると、Fig. 2 のとおりである。

普通トウモロコシデンプン群と α 化処理アミロメイズデンプン群は滑らかな成長曲線を示し、順調な成長が見られたが、120°C処理アミロメイズデンプン群、蒸煮アミロメイズデンプン群および生アミロメイズデンプン群では成長がやや不規則であった。この3群では第2週から下痢症状を呈するラットが現われ、前2者では症状も軽く、その後回復したが、生アミロメイズデンプン群で

Fig. 1. X-ray diffraction diagrams.

A: Raw normal corn starch, B: Autoclaved (120°C—30 min.) amylo maize V starch, C: Steamed (100°C—60 min.) amylo maize V starch, D: Pregelatinized amylo maize V starch, E: Raw amylo maize V starch.

は 10 匹全部が激しい症状を呈してまったく回復せず、第 4 週には糞中にデンプン粒が見られた。

次に各群の平均成長結果を、体重増加率、飼料摂取量、飼料要求率およびたん白質効率とともに Table 3 に示す。

体重増加率は、普通トウモロコシデンプン群と 120°C 処理アミロメイズデンプン群および蒸煮アミロメイズデンプン群の間には有意差が認められなかった。これに対し、生アミロメイズデンプン群は普通トウモロコシデンプン群にくらべ、体重増加率は低く、 α 化処理アミロメイズデンプン群では高い値を示して、ともに 1% の危険率で有意差が認められた。蒸煮アミロメイズデンプン群の体重増加量は、試験初期の 10 日目頃までは急激な増加を示したが、その後の増加は緩やかになり、生アミロメイズデンプン群と同じであった。他群では 20 日目まで順調な増加を示した。

飼料摂取量は、蒸煮アミロメイズデンプン群および α 化処理アミロメイズデンプン群が多く、他の 3 群には差がなかった。この 2 種の飼料には試料調製の際の加熱により生じた匂いがあり、ラットの嗜好と関係しているの

Fig. 2. Growth curves of each dietary group. A: Raw normal corn starch group (Diet 1), B: Autoclaved (120°C—30 min.) amylo maize V starch group (Diet 2), C: Steamed (100°C—60 min.) amylo maize V starch group (Diet 3), D: Pregelatinized amylo maize V starch group (Diet 4), E: Raw amylo maize V starch group (Diet 5).

かもしれない。10日目頃から体重増加量が徐々に低下した蒸煮アミロメイズデンプン群や生アミロメイズデンプン群においても、摂取量の減退は見られなかった。

飼料要求率は、普通トウモロコシデンプン群、120°C 処理アミロメイズデンプン群および蒸煮アミロメイズデンプン群の間には有意差は認められなかった。生アミロメイズデンプン群は他の 4 群にくらべて有意に劣り、とくに激しい下痢症状を呈した最後の 10 日間では飼料要求率は 15.9 にも達し、普通トウモロコシデンプン群の 4.3 に比し著しく高い値を示した。 α 化処理アミロメイズデンプン群は若干すぐれた値を示したが有意差はなかった。

たん白質効率は、普通トウモロコシデンプン群、120°C 処理アミロメイズデンプン群および蒸煮アミロメイズデンプン群の間には有意差は認められなかった。また、生アミロメイズデンプン群は有意に低く、 α 化処理アミロメイズデンプン群は他の処理デンプン群に比しすぐれていた。

以上より、アミロメイズデンプンは加熱処理により幼若ラットの体重増加、飼料要求率およびたん白質効率の改善が認められ、普通トウモロコシデンプンと見かけ上ほぼ同様の栄養効果が得られることが示された。

2) 剖検所見ならびに臓器重量

試験終了日に解剖を行ない、各臓器の変化を肉眼的に

Table 2. *In vitro* digestibilities of various heat-processed amylo maize V starches by extract of rat small intestine.

Process	Digestibility (%)			
	3 hour	6 hour	24 hour	
None	11.7	18.5	36.2	
Solubilization in N-NaOH, neutralization, followed by freeze-drying	87.1	95.0	96.8	
Starch (1)-water (0.6), steam-heating, followed by vacuum-drying at room temp.	100°C—30 min.	46.4	60.7	68.6
	100°C—60 min.	45.1	61.8	71.5
Starch (1)-water (4), steam-heating, followed by freeze-drying	100°C—30 min.	50.6	62.3	71.5
	100°C—60 min.	51.3	63.4	72.7
Starch (1)-water (4), autoclaving, followed by freeze-drying	120°C—30 min.	53.7	65.9	75.2
	120°C—60 min.	53.0	63.5	75.1
Pregelatinized by extruder	50.7	67.8	89.6	
None*	29.7	56.3	92.4	

* Normal corn starch.

Table 3. Body weight gain, feed conversion and protein efficiency ratio of rats fed on diets containing differently heat processed starches for 28 days.

±S.D.

Group	Body weight			Feed consumption		
	Initial (g)	Final (g)	Gain ratio	Feed intake (g)	Feed conversion*	Protein efficiency ratio**
Raw normal corn starch	78.1±4.8	215.2±13.8	1.76±0.21	447.0±40.2	3.28±0.21	2.20±0.17
Autoclaved (120°C—30 min.) amylo maize V starch	78.1±5.0	216.4±15.1	1.78±0.19	442.0±31.8	3.21±0.22	2.24±0.15
Steamed (100°C—60 min.) amylo maize V starch	78.1±4.8	222.4±13.7	1.86±0.22	495.7±34.1	3.45±0.23	2.09±0.13
Pregelatinized amylo maize V starch	78.1±5.1	242.0±19.6	2.10±0.15	489.6±41.9	2.99±0.14	2.50±0.11
Raw amylo maize V starch	78.2±5.2	184.4±31.5	1.39±0.34	468.1±77.8	4.42±0.57	1.69±0.21

* Feed conversion; feed intake/body weight gain.

** Protein efficiency ratio; body weight gain/protein intake.

観察した。120°C 処理アミロメイズデンプン群および生アミロメイズデンプン群は、普通トウモロコシデンプン群にくらべ脂肪沈着が少なく、盲腸が増大していた。とくに生アミロメイズデンプン群は脂肪沈着が極端に少なく、盲腸は他の臓器を横隔膜の下部まで押し上げ、腹腔一杯に拡大していた。これら増大した盲腸の内容物は発酵臭を放ち、未消化デンプン粒の存在が認められた。

次に、内臓摘出屠体重および各臓器重量の内臓摘出屠体比を Table 4 に示す。120°C 処理アミロメイズデンプン群および蒸煮アミロメイズデンプン群は、総体重では普通トウモロコシデンプン群と差がなかったが、内臓摘出屠体重は小さかった。120°C 処理アミロメイズデンプン群、蒸煮アミロメイズデンプン群および生アミロメ

イズデンプン群では消化器系（胃・小腸・盲腸・大腸）が普通トウモロコシデンプン群にくらべて大きな値を示し、とくに盲腸における差は著しかった。また、これら3群は後腹壁脂肪が少なく、120°C 処理アミロメイズデンプン群および蒸煮アミロメイズデンプン群では、体重増加率と飼料摂取量は普通トウモロコシデンプン群と変わりなくとも脂肪蓄積が少なかったことを示した。

3) 見かけの消化吸收

試験初期8日間における各群のデンプンならびにたん白質の見かけの消化吸收率を Table 5 に示す。

糞の排泄量（乾物量）は、普通トウモロコシデンプン群が1日平均 0.31 g であるのに対し、120°C 処理アミロメイズデンプン群はその約3倍、蒸煮アミロメイズデ

Table 4. Relative weight of organs to eviscerated carcasses.

±S.D.

Organ	Raw normal corn starch	Autoclaved amylomaize V starch*	Steamed amylomaize V starch**	Pregelatinized amylomaize V starch	Raw amylomaize V starch
Carcass	171±11(g)	161±13	159±11	192±16	126±24
Carcass/Body weight	79.6±0.93(%)	74.3±1.20	71.6±1.48	79.1±1.07	66.9±2.30
Thymus	0.35±0.09(%)	0.38±0.05	0.36±0.07	0.35±0.06	0.36±0.07
Lung	0.68±0.13	0.70±0.09	0.76±0.14	0.68±0.09	0.80±0.11
Heart	0.51±0.06	0.54±0.05	0.52±0.03	0.50±0.05	0.57±0.07
Liver	5.22±0.44	5.14±0.38	5.23±0.49	5.22±0.54	5.36±0.41
Stomach	0.50±0.05	0.60±0.06	0.58±0.04	0.56±0.07	0.68±0.10
Small intestine	1.80±0.28	2.15±0.29	2.27±0.47	1.57±0.12	3.27±0.41
Cecum***	1.32±0.21	7.67±1.40	11.01±1.61	2.49±0.49	16.00±2.91
Cecum	0.44±0.07	1.46±0.40	1.58±0.24	0.60±0.13	2.26±0.54
Large intestine	0.27±0.06	0.38±0.06	0.43±0.11	0.28±0.06	0.47±0.10
Spleen	0.28±0.03	0.30±0.04	0.31±0.05	0.30±0.04	0.34±0.06
Kidneys	0.97±0.07	1.05±0.08	1.19±0.18	1.03±0.05	1.41±0.27
Adrenals	0.0189±0.0088	0.0276±0.0074	0.0248±0.0062	0.0229±0.0054	0.0323±0.0085
Testicles	1.47±0.20	1.61±0.21	1.64±0.21	1.42±0.15	2.00±0.22
Retroperitoneal fat	1.26±0.46	0.89±0.35	0.80±0.28	1.19±0.31	0.36±0.14

* Autoclaved at 120°C for 30 min.

** Steamed at 100°C for 60 min.

*** With contents.

Table 5. Digestibility of starch and protein for first 8 days on experimental diets.

±S.D.

Group	Content		Weight of feces* (g)	Starch			Protein		
	Starch (%)	Protein (%)		Daily intake (g)	Daily output (g)	Apparent digesti- bility (%)	Daily intake (g)	Daily output (mg)	Apparent digesti- bility (%)
Raw normal corn starch	63.85	14.24	0.31 ±0.06	8.78 ±1.04	0.03 ±0.00	99.7 ±0.06	1.96 ±0.23	122.2 ±22.6	93.8 ±0.92
Autoclaved (120°C—30 min.) amylo- maize V starch	64.76	13.96	1.07 ±0.32	7.88 ±0.79	0.49 ±0.21	94.0 ±2.06	1.70 ±0.17	249.7 ±52.5	85.9 ±2.99
Steamed (100°C—60 min.) amylo- maize V starch	63.75	13.91	2.48 ±0.38	9.82 ±0.87	1.58 ±0.32	83.9 ±3.20	2.14 ±0.19	338.7 ±32.8	84.1 ±1.80
Pregelatinized amylo- maize V starch	65.07	13.42	0.56 ±0.10	9.48 ±1.03	0.08 ±0.03	99.2 ±0.18	1.95 ±0.22	211.9 ±32.8	89.2 ±0.83
Raw amylomaize V starch	66.61	13.59	3.53 ±0.70	8.89 ±1.38	2.54 ±0.55	71.6 ±3.10	1.83 ±0.27	308.7 ±65.6	83.1 ±2.15

* Mean value of daily excrement per rat.

Table 6. Weight and fatty acid composition of retroperitoneal depot fat.

±S.D.

Group	Weight (g)	Fatty acid composition (%)						
		C ₁₄	C ₁₆	C _{16:1}	C ₁₈	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}
Raw normal corn starch	2.17 ±0.88	2.2 ±0.21	32.4 ±1.65	12.6 ±1.21	2.5 ±0.46	41.6 ±2.12	7.6 ±1.59	1.1 ±0.27
Autoclaved (120°C—30 min.) amylo maize V starch	1.46 ±0.68	2.3 ±0.29	31.6 ±1.53	11.6 ±1.23	3.5 ±0.59	41.9 ±1.68	8.2 ±1.70	0.8 ±0.16
Steamed (100°C—60 min.) amylo maize V starch	1.30 ±0.54	2.0 ±0.18	30.8 ±1.58	10.3 ±1.77	3.7 ±0.75	43.2 ±2.98	8.6 ±1.02	1.4 ±0.27
Pregelatinized amylo-maize V starch	2.30 ±0.79	2.2 ±0.24	32.5 ±1.96	12.7 ±1.09	3.0 ±0.45	40.8 ±1.91	7.8 ±0.87	1.0 ±0.39
Raw amylo maize V starch	0.46 ±0.28	2.1 ±0.18	30.2 ±1.76	8.6 ±2.04	4.9 ±1.07	43.4 ±2.78	9.5 ±1.17	1.2 ±0.16

ンブンは約8倍、生アミロメイズデンプン群は約11倍と多くなっており、普通トウモロコシデンプン群では糞中のデンプン量が10%以下であるのに対し、生アミロメイズデンプン群では72%もあることから、この差は不消化デンプンに由来するものが大部分であると考えられる。また、Sandstedt ら⁴⁾は生のアミロメイズデンプンを投与したラットの糞中には、完全な形のデンプン粒が存在することを報告している。

デンプンの消化吸収率は、普通トウモロコシデンプン群と α 化処理アミロメイズデンプン群はいずれも99%以上を示して最もすぐれ、両者の間には有意差が認められなかった。他の群の間には1%の危険率で有意差がすべて認められ、その差もきわめて大きかった。120°C処理アミロメイズデンプン群と蒸煮アミロメイズデンプン群は、飼料要求率、たん白質効率では差が認められなかったが、デンプンの消化吸収率では、前者が94.0%、後者が83.9%を示し、120°C—30分加熱処理の効果が蒸煮処理よりも大きいことが示された。アミロメイズデンプンはその遺伝子形により消化性の異なることが知られているが⁴⁾、本実験での生アミロメイズデンプン群の消化吸収率は71.6%で、Borchers⁵⁾の報告とほぼ同じ値を示した。

たん白質の消化吸収率は、デンプンの消化吸収率と異なり、普通トウモロコシデンプン群と α 化処理アミロメイズデンプン群との間には1%の危険率で有意差が認められ、前者が93.8%の消化率を示したのに対し、後者は89.2%であった。アミロメイズデンプン投与の各群の間では、蒸煮アミロメイズデンプン群と生アミロメイズデンプン群の間に有意差がないほかは、すべての群の間に有意差が認められ、ここにおいても120°C—30分加熱処理の効果が蒸煮処理よりも大きいことが示された。

4) 後腹壁脂肪の脂肪酸組成

後腹壁脂肪の重量ならびに脂肪酸組成を Table 6 に示す。

各群を通してみると、パルミチン酸およびパルミトレイン酸は後腹壁脂肪量の多い群に増加する傾向を示し、ステアリン酸およびリノール酸は後腹壁脂肪量が少ない群に増加する傾向を示した。ミリスチン酸、オレイン酸およびリノレン酸は差が認められなかった。実験に用いた飼料はどれも脂肪含量2%と、必須脂肪酸が不足しない程度の低脂肪食であるから、体脂肪の多くはデンプンより合成されたと考えられる。体脂肪の多少を示す指標となる後腹壁脂肪量が少ない120°C処理アミロメイズデンプン群、蒸煮アミロメイズデンプン群および生アミロメイズデンプン群では、必須脂肪酸であるリノール酸の割合が高く、生合成脂肪酸の約50%以上を占める⁶⁾といわれるパルミチン酸の割合が低かった。この事実は、これら3群のデンプン消化吸収率が低いことと一致して、体内での脂肪合成が進まなかったことを示している。120°C処理アミロメイズデンプン群は蒸煮アミロメイズデンプン群よりも、脂肪酸組成が普通トウモロコシデンプン群に近く、加熱処理効果によるデンプンの消化吸収量の増大を裏付けている。 α 化処理アミロメイズデンプン群は後腹壁脂肪量、脂肪酸組成ともに普通トウモロコシデンプン群と差が認められなかった。

考 察

アミロメイズVデンプンは、生のままではさきに報告¹⁾したアミロメイズVIIデンプンの場合と同様、消化性が非常に劣ったが、加熱処理をほどこすことにより、その消化性は向上した。本実験に用いた100°C—60分蒸煮(60%加水)デンプンや120°C—30分加熱(400%加水)デンプンは、人工消化試験では消化率が生のものに

くらべ、倍以上に向上した。しかし、 α 化処理したものや普通トウモロコシデンプンよりは劣った。両加熱デンプンを幼若ラットに投与した成長試験では、見かけの成長面は普通トウモロコシデンプンと大差ない結果を得たが、デンプンの消化吸収率は低く、脂肪の沈着が悪く、軽い下痢症状や盲腸の増大を示した。

以上の現象から、アミロメイズVデンプンは、この程度の加熱処理では粒構造がいまだ壊れずに相当残っており、ラットの盲腸増大や下痢症状は、この種デンプンの難消化性による影響と推察される。したがって、この種デンプンは普通デンプンと同じような加熱調理だけでは、糖質源として利用し難いと考えられる。しかし、この種デンプンの難消化性、低栄養効率を考慮して、低カロリー食品の糖質源素材への利用を考える場合には、 120°C —30 分の加熱処理が目ざされる。この処理デンプンの幼若ラットに対する成長試験では、見かけの成長面は普通トウモロコシデンプン群と差が認められなかったが、体脂肪の多少を示す目安となる後腹壁脂肪量は普通トウモロコシデンプン群の約 67% という結果が得られた。ただ、この場合、盲腸の増大が問題であり、この点については糖質源中におけるこの種デンプンの配合比率を調節することにより、解決できるのではないかと考えられ、今後の研究にまちたい。

α 化処理アミロメイズデンプンが十分に α 化されていることは、人工消化試験の結果からも推察され、幼若ラットの成長試験では普通トウモロコシデンプン群よりすぐれた成長を示し、盲腸が少し増大したほかは普通トウモロコシデンプン群と変わるところがなかった。

要 旨

アミロメイズ V デンプン (アミロース含量 49.3%) の消化性ならびに栄養効率を向上させるために、種々の加熱条件で処理をほどこしたのち、人工消化試験ならびに幼若ラットに投与し、成長に及ぼす影響を生じるアミロメイズデンプンおよび普通トウモロコシデンプンと対比して調べた。

1) 加熱処理アミロメイズデンプンのラット小腸磨砕抽出液による 37°C 、24 時間の人工消化試験で、その消

化率は α 化処理デンプン (エクストルーダーによる) 89.6%, 120°C —30 分加熱 (加水量 400%) デンプン 75.2%, 100°C —60 分蒸煮 (加水量 60%) デンプン 71.5% を示し、生アミロメイズデンプン 36.2% に比し、消化率の向上は著しかった。なお、普通トウモロコシデンプンの消化率は 92.4% であった。

2) 動物試験では、 α 化処理デンプン群は順調な成長を示したが、普通トウモロコシデンプン群に比し、盲腸が少し増大し、たん白質の消化吸収率が少し劣った。 120°C —30 分加熱デンプン群は成長がやや不規則で、体重増加率、飼料要求率およびたん白質効率は普通トウモロコシデンプン群と有意差がなかった。 α 化処理デンプン群とくらべると、内臓摘出屠体比は小さく、盲腸はいくらか増大し、デンプンおよびたん白質の消化吸収率はわずかに劣り、体脂肪の蓄積量も少なかった。 100°C —60 分蒸煮デンプン群も成長がやや不規則で、見かけの成長度は 120°C —30 分加熱デンプン群と有意差がなかったが、内臓摘出屠体比、デンプンの消化吸収率、体脂肪の蓄積量では劣った。

3) アミロメイズVデンプンは加熱処理により、その栄養効率は向上したが、 120°C —30 分処理しても生の普通トウモロコシデンプンの栄養効率には到底及ばなかった。

終わりに、本実験を行なうにあたり、試料デンプンを提供くださった豊年製油株式会社に深謝します。本報の要は日本栄養・食糧学会第 28 回大会 (1974 年 5 月) において発表した。

文 献

- 1) 綾野雄幸, 古橋樹雄, 渡辺幸雄, 鈴木 徹, 高居百合子, 岩尾裕之: 栄養と食糧, 30, 113 (1977)
- 2) 満田久輝: 実験栄養化学, p. 165 (1961), いずみ書房 (京都)
- 3) 外山忠男, 檜作 進, 二国二郎: 澱粉工誌, 13, 69 (1966)
- 4) Sandstedt, R.M., Strahan, D., Ueda, S. and Abbott, R.C.: *Cereal Chem.*, 39, 123 (1962)
- 5) Borchers, R.: *Cereal Chem.*, 39, 145 (1962)
- 6) Rehold, A.E. and Cahill, J.R.: *Adipose Tissue*, American Physiological Society, p. 399 (1965)

(昭和 51 年 9 月 29 日受理)