

セルロース、ペクチン、コンニャク精紛の摂取がラットの成長及びタンパク質の消化吸収に及ぼす影響

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 大阪市立大学生生活科学部 公開日: 2024-09-09 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 三好, 弘子, 奥田, 豊子, 石井, 木実, 大杉, 由香, 留田, 正美, 小石, 秀夫 メールアドレス: 所属: 大阪市立大学, 大阪市立大学, 大阪市立大学, 大阪市立大学, 大阪市立大学, 大阪市立大学
URL	https://ocu-omu.repo.nii.ac.jp/records/2015069

セルロース, ペクチン, コンニャク精粉の摂取がラットの 成長及びタンパク質の消化吸収に及ぼす影響

三好弘子・奥田豊子・石井木実・大杉由香・留田正美・小石秀夫

Effects of cellulose, pectin, and konjac intake on growth and digestibility of protein in growing rats

HIROKO MIYOSHI, TOYOKO OKUDA, KONOMI ISHII, YUKA OHSUGI,

MASAMI TOMEDA, and HIDEO KOISHI

序 論

著者らはバブアニューギニア高地人の食生活についての調査を行ってきた¹⁾。バブアニューギニア高地人は大量のサツマイモを摂取しており、食物繊維の摂取量が多い。そのため、糞重量が多く、腸内細菌叢に影響を及ぼしている事が示唆されたが、栄養素の消化吸収には影響していない事が明らかになった。

近年、食物繊維の生体内での役割が注目されている。食物の消化管通過時間を短縮し、糞重量を増加させることにより、大腸癌や憩室症などの発生を抑制したり、血中コレステロールを低下させ、血糖の上昇を抑制するなど、食物繊維が種々の有益な生理作用を持つことが明らかにされつつある²⁾。一方、食物繊維は同時に生体内で栄養素の消化吸収を低下させる作用のあることが知られている³⁾。これらの生理作用はすべての食物繊維が持っているのではなく、その食物繊維の物理化学的性質がその生理作用に大きく影響し⁴⁾、消化吸収に与える影響も異なると考えられている。このことは、ヒトを含めた動物の成長にも影響すると考えられる。

食物繊維を水不溶性と水易溶性という物理化学的性質によって分け、水不溶性の食物繊維としてセルロース、水易溶性としてペクチン、コンニャク精粉を成長期ラットに与えて、体重増加、タンパク質の消化吸収、消化管重量、消化管に残した内容物の重量及び窒素量などに及ぼす影響を観察した。

実 験 方 法

3週齢のSprague Dawley系雄ラット(日本クレア

から購入)20匹を、3日間固形飼料(CE-2, 日本クレア)で予備飼育した後、各群5匹として4群に分けた。

(1)コントロール群として5%セルロース(アビスル, 旭化成)群, (2)10%セルロース群, (3)ペクチン群, (4)コンニャク群とした。ペクチン(レモンペクチン, 和光純薬工業), コンニャク精粉(特等, 大西商店)は10%とした。飼料組成はTable 1に示した。タンパク質効率(PER)をみるために、すべての飼料はカゼインを10%レ

Table 1. Composition of diet(%).

Ingredient	5 %Cellulose	10%Cellulose	10% Pectin	10% Konjac
Casein	10	10	10	10
Corn oil	5	5	5	5
Cellulose	5	10	—	—
Pectin	—	—	10	—
Konjac	—	—	—	10
Corn starch	74	69	69	69
Mineral mixture ^{A)}	5	5	5	5
Vitamin mixture ^{B)}	1	1	1	1

a) Mineral mixture(100g) contained $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 14.56g; KH_2PO_4 , 25.72g; NaH_2PO_4 , 9.35g; NaCl , 4.66g; Ca-lactate , 35.09g; Fe-citrate , 3.18g; MgSO_4 , 7.17g; ZnCO_3 , 0.11g; $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{-}6\text{H}_2\text{O}$, 0.12g; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.03g; and KI , 0.01g.

b) Vitamin mixture(100g), contained vitamin A-acetate, 50,000IU; vitamin D_3 , 10,000IU; thiamine-HCl, 120mg; riboflavin, 400mg; pyridoxine-HCl, 80mg; vitamin B_{12} , 0.05mg; vitamin C, 3,000mg; vitamin E-acetate, 500mg; vitamin K_3 , 520mg; biotin, 2mg; folic acid, 20mg; Ca-pantothenate, 500mg; p-amino benzoic acid, 500mg; nicotinic acid, 600mg; inositol, 600mg; and choline chloride, 20,000mg.

ベルにし、ラットを28日間飼育した。その後、ラットを1匹ずつ代謝ケージに入れて、窒素出納を3日間測定するために、尿、糞を採取した。糞は凍結乾燥した。飼料及び水は自由に摂取させ、飼育期間中の体重、飼料摂取量は毎日測定した。ラットを24時間絶食させた後、玄米を0.5g/100g体重の割合で摂食させ、5時間後に解剖し、小腸の長さを測定後、消化管を胃、小腸上部、小腸下部、大腸に分け、消化管内容物を取り出し、消化管湿重量、消化管内容物の乾燥重量及び窒素量を測定した。窒素量はセミマイクロキダル法で定量した。

4群の間の有意差検定はStudent's *t*-test にて行った。

実 験 結 果

1日当りの体重増加量、PERをTable 2に示した。1日当りの体重増加量、PERとも10%セルロース群が最も高い値を示した。それらの値は5%セルロース群との間に有意差は認められないものの、他の2群に比べて有意に高かった。コンニャク群では他の3群に比べて有意に低かった。

各群の体重100g当りの窒素出納をTable 3に示した。摂取窒素量に差はないが、コンニャク群の糞中の窒素量は他の3群に比べて有意に多く、次いでベクチン群となっ

た。尿中の窒素量は各群の間に差がなく、その結果、窒素出納値はベクチン群とコンニャク群で5%セルロース群に比べて有意に低かった。またタンパク質のみかけの消化吸収率は、糞中の窒素量を反映してコンニャク群で他の3群に比べて有意に低く、次いでベクチン群となった。コンニャク群とベクチン群では窒素出納値、タンパク質のみかけの消化吸収率ともに低かった。

体重当りの糞乾燥重量は、Table 4に示したが、10%セルロース群で他の3群に比べ有意に大きく、ベクチン群で5%セルロース群、10%セルロース群に比べて有意に小さかった。しかし、Table 3で示した様に、10%セルロース群では糞重量が大きいにもかかわらず、糞中の窒素量は少なかった。

各群の小腸の長さ及び4つの部位の体重100g当りの消化管湿重量をTable 5に示した。小腸の長さはベクチン群で長くなる傾向が見られたが、個体差が大きかった。消化管の重量について、ベクチン群の胃がコンニャク群よりも小さかったが、他の群の間には差がなく、また小腸上部も各群の間に有意差はなかった。小腸下部と大腸の湿重量は、コンニャク群で5%セルロース群、10%セルロース群に比べて有意に大きくなり、ベクチン群でも大きくなる傾向が見られた。消化管全体の重量はコンニャ

Table 2. Body weight gain and protein efficiency ratio (PER) of rats fed various dietary fibers.

	No. of rats	Body weight gain (g/day)	PER (g/g)
5% Cellulose	5	3.99 ± 0.38 ^{ab}	3.38 ± 0.23 ^{ab}
10% Cellulose	5	4.24 ± 0.25 ^a	3.60 ± 0.16 ^a
10% Pectin	5	3.46 ± 0.28 ^b	3.22 ± 0.26 ^b
10% Konjac	5	2.62 ± 0.44 ^c	2.83 ± 0.11 ^c

Values are means ± S.D.
abc; means in the same column with a different superscript letter are significantly different ($p < 0.05$).

Table 4. Dry weight of feces (g/100 B.W./day) of rats fed various dietary fibers.

	Dry weight of feces
5% Cellulose	1.80 ± 0.26 ^a
10% Cellulose	3.02 ± 0.57 ^b
10% Pectin	1.26 ± 0.13 ^c
10% Konjac	1.50 ± 0.49 ^{ac}

Values are means ± S.D.
abc; means in the same column with a different superscript letter are significantly different ($p < 0.05$).

Table 3. Nitrogen balance (mgN/100g B.W./day) and protein digestibility (%) of rats fed various dietary fibers.

	N Intake	Fecal N	Urinary N	N-Balance	Digestibility
5% Cellulose	116.8 ± 10.8	11.9 ± 2.1 ^a	18.5 ± 3.0	86.4 ± 7.5 ^a	89.8 ± 1.4 ^a
10% Cellulose	114.2 ± 13.1	12.5 ± 1.7 ^a	19.2 ± 3.3	82.5 ± 10.3 ^{ab}	89.0 ± 1.1 ^a
10% Pectin	106.0 ± 5.3	16.4 ± 2.1 ^b	16.8 ± 2.5	73.4 ± 3.1 ^b	84.6 ± 1.6 ^b
10% Konjac	116.3 ± 11.5	24.9 ± 7.4 ^c	14.9 ± 4.4	76.5 ± 2.4 ^b	79.0 ± 4.7 ^c

Values are means ± S.D.
abc; means in the same column with a different superscript letter are significantly different ($p < 0.05$).

Table 5. Length of small intestine and weights of liver, muscle, digestive tracts of rats fed various dietary fibers.

	Length(cm)		Weight(g/100gB.W.) ^{A)}					
	Small intestine	Liver	Muscle	Stomach	Small intestine		Large intestine	Total of digestive tracts
					Proximal	Distal		
5% Cellulose	90.4±6.6	2.08±0.10	0.42±0.07	0.52±0.11 ^{ab}	1.11±0.17	1.10±0.09 ^a	0.64±0.04 ^a	3.37±0.17 ^a
10% Cellulose	93.8±4.7	2.20±0.18	0.54±0.12	0.52±0.14 ^{ab}	1.07±0.13	1.11±0.30 ^a	0.77±0.04 ^b	3.46±0.27 ^a
10% Pectin	101.2±4.6	2.22±0.22	0.38±0.07	0.46±0.04 ^a	1.29±0.02	1.26±0.12 ^{ab}	0.85±0.10 ^{bc}	3.86±0.21 ^a
10% Konjac	91.6±9.0	2.08±0.16	0.52±0.10	0.63±0.08 ^b	1.26±0.26	1.58±0.29 ^b	0.95±0.06 ^c	4.42±0.32 ^b

Values are means ± S.D. abc; means in the same column with a different superscript letter are significantly different ($p < 0.05$).

A) Final body weight(g) of rats fed 5% cellulose was 194 ± 12 , that of rats fed 10% cellulose was 201 ± 9 , that of rats fed 10% pectin was 174 ± 8 , and that of rats fed 10% konjac was 146 ± 14 .

ク群が他の群に比べて有意に大きかった。なお肝臓、筋肉の重量はともに各群の間に差はなかった。

消化管内容物の乾燥重量及び窒素量について Table 6 に示した。消化管内容物の重量はどの部位においても各群の間に有意差はなかった。胃、小腸上部内容物の窒素量は各群の間に有意差はなかった。大腸ではペクチン群とコンニャク群で 5%セルロース群、10%セルロース群よりも有意に多くなった。消化管内容物全体の窒素量は 10%セルロース群でペクチン群、コンニャク群に比べて有意に少なく、コンニャク群は他の群に比べて有意に多かった。

考 察

一般に食物繊維と言っても水易溶性と水不溶性のもの

では生理機能に及ぼす影響は異なる⁴⁾。今回は精製された食物繊維として、セルロース、ペクチン、コンニャク精粉（コンニャクマンナンが主成分）をラットに与えて、タンパク質の消化吸収率などへの影響を観察した。

セルロースの様な水不溶性の食物繊維は 10%程度の添加量では、ラットの成長にはとくに影響を与えず、成長を抑制しないと言われており⁵⁻⁷⁾、著者の成績でもラットの成長は 10%セルロース群が 5%セルロース群より良好であった。今回、セルロース群に対して、水易溶性の食物繊維であるペクチン群とコンニャク群ではラットの成長は劣った。特にコンニャク精粉で著しく成長が劣った。これについて、いろいろの原因が考えられる。

食物繊維の動物の成長に及ぼす効果は、繊維の添加方法によって影響すると言われる⁸⁾。例えば、著者の行っ

Table 6. Weight and nitrogen in the contents of digestive tracts of rats fed various dietary fibers.

Weight of contents(g)	Stomach	Small intestine		Large intestine	Total of digestive tract
		Proximal	Distal		
5% Cellulose	0.44 ± 0.22	0.32 ± 0.08	0.36 ± 0.12	0.57 ± 0.30	1.69 ± 0.39
10% Cellulose	0.37 ± 0.09	0.31 ± 0.13	0.39 ± 0.06	0.73 ± 0.19	1.80 ± 0.25
10% Pectin	0.31 ± 0.19	0.30 ± 0.08	0.31 ± 0.03	0.73 ± 0.21	1.64 ± 0.38
10% Konjac	0.32 ± 0.19	0.26 ± 0.01	0.40 ± 0.18	0.67 ± 0.24	1.61 ± 0.22
Nitrogen of contents(mgN)					
5% Cellulose	4.10 ± 2.78	4.27 ± 1.54	4.03 ± 0.59	9.49 ± 4.83 ^a	23.08 ± 6.15 ^{ab}
10% Cellulose	3.10 ± 1.48	3.52 ± 0.91	4.18 ± 1.02	8.24 ± 0.52 ^a	18.63 ± 2.31 ^b
10% Pectin	2.67 ± 3.28	3.82 ± 0.80	4.53 ± 1.44	18.98 ± 5.09 ^b	29.99 ± 6.42 ^a
10% Konjac	2.97 ± 2.56	3.41 ± 1.40	7.09 ± 3.07	21.79 ± 9.92 ^b	35.06 ± 9.16 ^c

Values are means ± S.D. abc; means in the same column with a different superscript letter are significantly different ($p < 0.05$).

た方法は、従来から行われている飼料中のデンプンを食物繊維で置き換える方法であるが、無繊維食に繊維を添加していく方法もある。吸収されたエネルギーに対する栄養素の比を一定にすることが成長や栄養素の利用を調べる時には必要である。今回、著者は繊維源が5%セルロースのものをコントロールとし、10%レベルで繊維の種類を変えて比較したため、エネルギーに対する栄養素の比はあまり変わらなかったと考えられる。しかし、一方では腸内細菌によって食物繊維は一部分解され、エネルギー源として宿主に供給されるとすれば^{(9) (10)}、腸内細菌による食物繊維の分解率^{(11) (12)}が食物繊維の種類で異なることも問題になってくるであろう。

ペクチン、コンニャク精粉などの水易溶性の食物繊維では糞重量が増加していないにもかかわらず、糞中の窒素量の増加が見られ、タンパク質の消化吸収率が有意に低下した。逆に10%セルロース群では糞重量は有意に増加したのに、糞中の窒素量は増加しなかった。一般に、糞重量が多くなると糞中の窒素量が増加し、栄養素の消化吸収率が低下するが、5%および10%セルロース群では、みかけの消化吸収率の低下と糞重量の増加には相関関係は見られなかった。10%セルロース群の糞重量の増加は、おそらくセルロースや他の多糖類などの、窒素成分以外のものによっているのであろう。これは食物繊維の有している物理化学的な性質が大きく影響するため⁽³⁾と思われる。糞重量の増加の原因として水分保持能力、腸内細菌による繊維の分解性、腸内細菌の増加などがあげられており、又、竹久は繊維の種類により、糞重量の増加や消化管通過時間への影響は異なると報告している⁽¹³⁾。

糞中の窒素量が増加する原因としては、内因性の糞中窒素の増加が考えられ、消化酵素の分泌の増加^{(14) (15)}、小腸絨毛の脱落の増加⁽¹⁶⁾などが考えられる。また、摂取された飼料の消化吸収が食物繊維によって低下したためとも推測される。In vitroの消化実験で、食物繊維が消化酵素の働きを低下させたとの報告がある^{(17) (18)}、光学顕微鏡や電子顕微鏡による小腸粘膜の微細構造の観察によると、ペクチンを多量与えたラットの腸吸収細胞には形態的变化が見られるという。そのために吸収細胞がその機能を正常に営めなくなるとも推察される^{(19) (20)}。さらに、腸内細菌叢が変化することも糞中窒素量の増加と関係が深いものと推測される⁽²¹⁾。今回、水易溶性の繊維で消化吸収率が低下したのは、これらの原因が考えられる。

ペクチンあるいはコンニャク精粉を与えたラットでは、小腸下部および大腸の湿重量が増加した。本実験では盲腸と結腸を分離せずに大腸として測定したが、奥らはペ

クチン、グルコマンナンなどを与えたラットの盲腸が肥大したと報告している^{(6) (22)}。しかもこの肥大は細胞のサイズが増加したというより、むしろ細胞数の増加による⁽²³⁾。なぜ細胞数が増加して、肥大するのか、このメカニズムは明らかになっていないが、盲腸や結腸に流入してきた未消化物の量およびその組成成分と密接な関係があるものと想像される。

著者は本実験において、消化管内容物の重量には、ラットに与えた繊維源の違いによって差が見られなかったにもかかわらず、小腸下部及び大腸内の窒素量に5%セルロース群と、ペクチン群、コンニャク精粉群との間に大きな差を観察した。すなわち、コンニャク群とペクチン群の小腸下部、大腸に窒素の残存が大きかった。ペクチン、コンニャク精粉が繊維源の場合に、内容物の消化管通過時間が遅いことが知られている⁽¹⁵⁾。このように消化管通過時間が遅く、また、消化管内容物の重量には差がないにもかかわらず、それらの組成成分の中に未消化のタンパク質（あるいはペプチド）や内因性の窒素が多く存在し、タンパク質の消化吸収率が低下したことが、ペクチンが繊維源でも、コンニャク精粉が繊維源でも、ともにラットの成長がコントロール（5%セルロース群）にくらべて劣ったことの原因であろう。

今回の実験では、水易溶性の食物繊維でタンパク質の消化吸収率の低下が見られた。しかし、実際の食生活では水易溶性の食物繊維を大量に食事として摂取することはなく、また、それほど多くは食べられない。ヒトの現実の食生活の中での各種食物繊維の生理的意味について説明していく事が、今後必要であると考えられる。

要 約

ラットに5%セルロース、10%セルロース、10%ペクチン、10%コンニャク精粉を含む飼料を与え、体重増加、タンパク質のみかけの消化吸収率、消化管重量、消化管内容物の重量及び窒素量を調べた。

- 1) タンパク質効率、ペクチン群とコンニャク群において低下した。
- 2) タンパク質のみかけの消化吸収率、窒素出納値もペクチン群とコンニャク群において低く、これが成長を低下させた原因であろう。
- 3) 10%セルロース群の糞重量は多かったが、これと糞中窒素量とは相関がなく、タンパク質のみかけの消化吸収率は低下しなかった。
- 4) コンニャク群の小腸下部、大腸に肥大が見られた。コンニャク群とペクチン群では多くの窒素が小腸下部、

大腸に残存していた。

文 献

- 1) Miyoshi, H., Okuda, T., Fujita, Y., Ichikawa, M., Kajiwaru, N. M., Miyatani, S., Alpers, M. P. and Koishi, H. : Jpn. J. Physiol., 36, 761 (1986)
- 2) 印南 敏：食物繊維，印南 敏，桐山修八編，第一出版，東京，p1 (1982)
- 3) 池上幸江：食物繊維，印南 敏，桐山修八編，第一出版，東京，p99 (1982)
- 4) 武田秀敏，桐山修八：食物繊維，印南 敏，桐山修八編，第一出版，東京，p57 (1982)
- 5) Shah, N., Atallah, M. T. Mahoney, R. R. and Pellett, P. : J. Nutr., 112, 658 (1982)
- 6) 奥 恒行，神田 晃，黄 雅文，細谷憲政：栄食誌，37, 51 (1984)
- 7) Delorme, C. B. and Wojcik, J. : J. Nutr., 112, 21 (1982)
- 8) Delorme, C. B., Wojcik, J. and Gordon, C. : J. Nutr., 111, 1522 (1981)
- 9) McNeil, N. : Am. J. Clin. Nutr., 39, 338 (1984)
- 10) Fleming, S. E. and Rodriguez, M. A. : J. Nutr., 113, 1613 (1983)
- 11) Slavin, J. L., Brauer, P. M. and Marlett, J. A. : J. Nutr., 111, 287 (1981)
- 12) Innami, S., Suzuki, T. and Sahashi, Y. : Agri. Biol. Chem., 25, 164 (1961)
- 13) 竹久文之：栄食誌，39, 457 (1986)
- 14) Ikegami, S., Dobashi, N., Nagayama, S., and Innami, S. : Nutr. Rep. Intern., 26, 239 (1982)
- 15) Schneeman, B. O. : Dietary fiber in health and disease, ed. by Vahouny, G. V. and Kritchevsky, D., Plenum, New York, p73 (1982)
- 16) Sheard, N. F. and Schneeman, B. O. : J. Food Sci., 45, 1645 (1980)
- 17) Dunaif, G. and Schneeman, B. O. : Am. J. Clin. Nutr., 34, 1034 (1981)
- 18) Gagne, C. M. and Acton, J. C. : J. Food Sci., 48, 734 (1983)
- 19) Classidy, M. M., Lightfoot, F. G., and Vahouny, G. V. : Adv. Lipid Res., 19, 203 (1982)
- 20) 片山(須川) 洋子，小島雅代：栄養学雑誌，43, 277 (1985)
- 21) Stephen, A. M. and Cumming, J. H. : Nature, 284, 283 (1980)
- 22) 奥 恒行，小西史子，細谷憲政：栄養と食糧，34, 437 (1981)
- 23) Konishi, F., Oku, T. and Hosoya, N. : J. Nutr. Sci. Vitaminol., 30, 373 (1984)

(昭和62年10月12日受理)

Summary

The effects of cellulose, pectin, and konjac intake on body weight gain, apparent digestibility of protein, weight of the digestive tract, and the weight and nitrogen in the contents of the digestive tract were studied in growing rats. Diets containing 10% casein with 5% cellulose, 10% cellulose, 10% pectin or 10% konjac, were given to 4 groups of 5 rats.

Body weight gain and the protein efficiency ratio in the groups fed 10% pectin or 10% konjac were significantly lower than those in the group fed 10% cellulose. Nitrogen balance and the apparent digestibility of protein in the group fed 10% pectin or 10% konjac were significantly lower than those in the group fed 5% cellulose, which may have caused the lower body weight gain.

The weight of feces of the group fed 10% cellulose was significantly higher than in the other groups, but fecal nitrogen in this group was lower than in the groups fed 10% pectin or 10% konjac. There was no correlation between the weight of feces and fecal nitrogen.

Enlargement of the distal small intestine and of the entire large intestine occurred in the group fed 10% konjac. Much nitrogen was found in the distal small intestine and also in the large intestine of the groups fed 10% pectin or 10% konjac. It seemed that undigested protein and endogenous nitrogen remained inside these areas of the intestine.

These results indicate that water-soluble fibers such as pectin and konjac suppressed body weight gain and protein digestibility by causing the retention of much nitrogen in the distal small intestine and in the large intestine.