

ラット消化管に対する難消化性多糖類の粘性の影響

Effect of viscosity by indigestible polysaccharides on digestive tracts in rats

池上 幸江

大妻女子大学名誉教授

Sachie Ikegami

Professor Emeritus at Otsuma Women's University

12 Sanban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8357 Japan

キーワード：難消化性多糖類、粘性、グアガム、キサンタンガム、消化管

Key words : Indigestible polysaccharides, Viscosity, Guar gum, Xanthan gum, Digestive tracts

抄録

粘性のある難消化性多糖類5種（ジェランガム、タマリンドガム、サイリウムシードガム、グアガム、キサンタンガム）についてラット消化器官に対する影響と粘性の関係について検討した。実験には4週齢のSprague Dawley 系雄性ラットを用い、難消化性多糖類5%を含む飼料とセルロース5%飼料をコントロールとして24日間投与した。

実験1では上記6種の難消化性多糖類飼料を投与し、飼料投与中止後5時間目に解剖し、消化管重量、内容物の重量と粘度、糞重量を測定した。小腸、盲腸の内容物の粘度はキサンタンガム群が最も高く、グアガム群がもっとも低く、難消化性多糖類そのものの粘度とは相関しなかった。また、消化管重量、消化管内容物重量、糞便量にも粘度との関連性は見られなかった。

実験2ではセルロース、ジェランガム、タマリンドガム、サイリウムシードガム、キサンタンガムを含む飼料で飼育し、5時間絶食後0時間として、飼料5gを投与して2時間後に解剖した群を2時間とした。2時間後の胃固形物量は最も粘度の高いキサンタンガム群が他の4群に対し、有意に低かった。

実験3ではセルロース、サイリウムシードガム、グアガムを含む飼料で飼育し、絶食後0時間として、飼料5gの投与2、5時間後に解剖した。2時間後の胃固形物量は粘度の高いグアガム群が他の2群に比べて有意に低かった。しかし、グアガム群の胃内容物の高粘度は、小腸と盲腸では顕著に低下した。他方、サイリウムシードガム群では胃内容物の粘度は低かったが、盲腸ではグアガム群より高くなった。

以上の結果より、難消化性多糖類を飼料として投与すると、飼料や消化管内容物の粘度は本来の粘度とは異なることがあり、飼料成分や消化管内での物理化学的影響によって変化することが示唆された。また、従来高粘度の難消化性多糖類は胃から小腸への食物の移動を低下させることによって、血糖値低下などの機能が示されると考えられてきたが、本研究は再考が必要であることを示した。

1. 序論

食物繊維の消化管機能に対する影響は、その多様な物理化学的性質に起因する。その中でもとりわけ粘性が食物繊維としての機能に果たす役割が大きいと考えられてきた。粘性のある水溶性食物繊維は、摂取した食物の胃における滞留時間を長くし、結果として小腸における食物の消化成分の

吸収を遅延させると考えられてきた^[1,2]。他方、小腸においても高い粘性が食物の拡散や移動をおくらせることによって、消化・吸収に影響すると推測されている。池上らも粘度の高い食物繊維について膵胆管からのアミラーゼや胆汁酸の分泌などが、消化管内容物の粘性が高い場合に促進されることを明らかにした^[3,4]。しかし、この研究では難

消化性多糖類の1%水溶液、10%飼料懸濁液、胃と小腸内容物の粘度の傾向は一致していなかった。

Dikeman ら^[5]は人消化管モデル *in vitro* 実験において、グアガム、キサントタンガム、サイリウムシードガム、2種のメチルセルロースの時間経過に伴う粘度の変化を観察している。特に粘度の高いグアガムやサイリウムシードガムでは、本来の粘度とモデル系消化管内の粘度の傾向には差異がなく、動物実験による池上らのデータ^[3]とは一致しない。Common-Smith ら^[6]は3種の難消化性多糖類（グアガム、キサントタンガム、メチルセルロース）を含む飼料をラットに投与し、血糖値の変化と難消化性多糖類の本来の粘度とは必ずしも関連しないことを観察し、消化管内の条件が粘性を変化させる可能性を示唆している。

そこで、本研究では粘性のある難消化性多糖類について、本来の粘度とラットの消化管重量やその内容物の粘度に対する影響を比較検討することを目的として実験を行った。

2. 実験方法

2.1. 実験に用いた難消化性多糖類

本研究には、セルロース、ジェランガム、タマリンドガム、サイリウムシードガム、グアガム、キサントタンガムを用いた。セルロースはオリエンタル酵母株式会社製、その他の難消化性多糖類はいずれも DSP 五協フードケミカル株式会社製のものを用いた。Table 1 に実験に用いた難消化性多糖類の本来と飼料に混合した時の粘度を示した。

Table 1 Viscosity of polysaccharides (mPa-s)

polysaccharides	solution* ¹	diet suspension* ²
cellulose	1.7	215
gellan gum	15	248
tamarind gum	42	1079
Psyllium seed gum	154	562
guar gum	1300	1325
xanthan gum	1318	1423

*1:0.8%polysacchride solution

*2:8% suspension

2.2. 動物実験

実験には4週齢 Sprague Dawley 系雄性ラット1群6-7匹を用い、3回行った。実験1ではTable 1に示した6種の難消化性多糖類を用い、3日間の予備飼育後、Table 2に示す飼料を24日間自由摂取させ、5時間絶食後に解剖した。

Table 2 Composition of diets

	g/kg
α -cornstarch	529.5
sucrose	100
casein	200
soybean oil	70
Indigestible polysaccharides*	50
mineral mixture	35
vitamin mixture	10
L-cystine	3
cholin bitartrate	2.5
tert-butylhydroquinone	0.014

*Exp.1:cellulose, gellan gum, tamarind gum, psyllium seed gum, guar gum, xanthan gum
Exp.2:cellulose, gellan gum, tamarind gum, psyllium seed gum, xanthan gum
Exp.3:cellulose, psyllium seed gum, guar gum

実験2では、セルロース、ジェランガム、タマリンドガム、サイリウムシードガム、キサントタンガムを含む飼料で実験1と同様に飼育し、5時間絶食後直ちに解剖する群(0hr)と5gの飼料を投与し、2時間後に解剖する群(2hr)の2群に分けた。

実験3ではセルロース、サイリウムシードガム、グアガムの3種の難消化性多糖類を用い、絶食後直ちに解剖(0hr)、飼料5g投与2時間後(2hr)、飼料5g投与5時間後(5hr)に解剖した。

いずれの実験でも飼料の組成はTable 2に示すようにAIN-93を基本として、難消化性多糖類は5%になるように混合した。飼料と水は自由に摂取させ、体重、飼料摂取量は2-3日おきに測定した。飼育室は22±2℃、12時間明暗サイクル(明期8:00-12:00)にコントロールした。

動物の取り扱いに関しては、「実験動物の飼養及び保管に関する基準」(昭和55年3月総理府告示第6号)を遵守して行った。

2.3. 糞重量の測定

実験1において解剖前の3日間の糞を採取し、

湿重量を測定後、凍結乾燥して乾燥重量を測定した。

2.4. 解剖

飼育終了後、ラットはエーテル麻酔を行なって、心臓より採血した。いずれの実験でも胃と小腸を摘出し、実験 1 では盲腸と結腸、実験 2、実験 3 では盲腸を摘出し、いずれも直ちに重量を測定した。その後、内容物を洗い出し、水分を拭き取ってから重量を測定して、内容物重量を計算で求めた。実験 2 と 3 では内容物を凍結乾燥してから固形物量を求めた。

2.5. 粘度の測定

難消化性多糖類は 0.8% 水溶液として粘度を測定（以下、本来の粘度と表記）し、飼料の場合は 8% 懸濁溶液としてホモジナイズして粘度を測定した。消化管内容物は、胃、小腸では水で 25ml、盲腸では 20ml としてからホモジナイズした。

粘度の測定には回転粘度計 VISCOMETER TV20 (TOKIMEC 社製) を用いた。測定条件は回転数 30rpm (せん断速度 $8.6s^{-1}$)、サンプルの温度は $25^{\circ}C$ とした。

2.6. 統計処理

データは各群の平均値と標準偏差で示した。各データは一元配置分散分析を行った後、Turkey-Kramer の多重検定法を用いた。有意水準は 5% 未満とした。

3. 実験結果

3.1. 体重と消化器官への影響 (実験 1)

Table 3 には実験 1 におけるラットの体重変化、飼料摂取量、飼料効率、消化管重量、消化管内容物重量を示した。

実験 1 におけるラットの体重変化、飼料摂取量、飼料効率は、いずれも難消化性多糖類による有意な影響は認められなかった。

消化管重量に対する影響では胃重量には有意な影響は見られなかったが、小腸重量ではサイリウムシードガム群が最も重く、グアガム群、タマリンドガム群、キサントランガム群、ジェランガム群、セルロース群の順に低下した。盲腸の重量はタマリンドガム群がやや重く、セルロース群とジェランガム群が軽い、難消化性多糖類の間での差異は小さい。結腸ではサイリウムシードガム群がやや重いものの、その他の難消化性多糖類の間では差が小さい。以上の結果から難消化性多糖類の本

来の粘度と消化管重量との間には相関はなかった。

Table 3 には消化管内容物の重量を湿重量で示した。胃では群間に差はなかった。小腸ではグアガム群が最も重く、キサントランガム群、タマリンドガム群、サイリウムシードガム群、ジェランガム群、セルロース群の順に軽くなっており、Table 1 の難消化性多糖類の粘度と比較的相関がみられた。しかし、盲腸ではタマリンドガム群が最も重く、キサントランガム群、サイリウムシードガム群、グアガム群、セルロース群、ジェランガム群の順で低下しており、本来の難消化性多糖類の粘度とは相関がなかった。難消化性多糖類の影響は消化管によってやや異なるものの、キサントランガム群は全般的に消化管重量への影響が大きく、グアガム群は盲腸や結腸のような末梢での影響が低下し、サイリウムシードガム群は末梢での影響が強まっていった。

Table 4 には消化管内容物の粘度を小腸と盲腸で比較し、さらに飼育最終前の 3 日間の糞重量を湿重量と乾燥重量で示した。消化管内容物の粘度は小腸、盲腸ともにキサントランガム群において高く、特に盲腸で顕著であった。他方、グアガム群は小腸と盲腸で最も粘度が低く、Table 3 に示した消化管重量への影響との関連が見られた。

飼育最終前の 3 日間の糞の湿重量と乾燥重量は、いずれもサイリウムシードガム群の重量が最も重く、セルロース群の順であり、タマリンドガム群が最も低く、その他の多糖類では差異が小さかった。

実験 1 では飼育終了後、5 時間目に解剖しているが、消化管内容物の粘度に大きな個体差が見られる。その理由として、飼育終了直前におけるラットの飼料摂取状況に個体差があり、その結果が影響したものと推察される。従って、飼料の摂取後の影響は詳細に検討する必要があると思われる。

3.2. 飼料摂取直後の影響 (実験 2)

実験 1 の結果から難消化性多糖類摂取後の消化管への影響をさらに詳細に観察するために、実験 2 では絶食直後を 0 時間として、5g の飼料を摂取後 2 時間目の消化管への影響について、ジェランガム、タマリンドガム、サイリウムシードガム、キサントランガムとコントロールとしてセルロースを用いて検討した。

Table 5 には実験 2 におけるラットの体重変化と飼料摂取量、飼料効率を示した。キサントランガム

群では終体重が有意に低く、タマリンドガム群とキサンタンガム群で飼料摂取量が有意に低下したが、体重増加量には差は見られなかった。実験 2

と実験 1 で、ラットの飼育条件には差異がなかったが、ラットの飼料摂取量に対する難消化性多糖類の影響がわずかながら観察された。

Table 3 Effect of polysacchrides on body weigh, diet intake,digestive tract weight and contents in digestive tract

diet	cellulose	gellan gum	tamarind gum	psyllium seed gum	guar gum	xanthan gum
body weight, diet intake and food efficiency						
initial body weight(g)	112.6±5.7	112.4±4.3	112.4±3.0	112.5±4.1	112.6±3.2	112.5±4.3
final body weight(g)	315.6±24.5	309.6±22.0	306.4±11.9	304.0±21.1	304.7±22.4	312.4±17.0
body weitht gain(g/day)	8.46±0.99	8.22±0.87	8.08±0.56	8.04±0.86	8.01±0.87	8.33±0.37
diet intake(g/day)	19.3±1.3	19.4±1.5	17.6±1.0	18.2±2.0	17.9±1.3	19.3±0.5
food efficiency(%)	43.6±2.7	42.4±2.5	45.9±2.4	44.3±1.9	44.2±6.8	43.2±2.2
digestive tract weight(g)						
stomach	1.24±0.08	1.20±0.18	1.07±0.16	1.28±0.16	1.14±0.13	1.24±0.14
small intestine	3.28±0.19 ^a	3.99±0.48 ^{ai}	5.11±0.33 ^{bc}	5.71±0.98 ^c	5.50±0.85 ^c	4.91±0.75 ^{bc}
cecum	0.60±0.14 ^a	0.56±0.13 ^a	1.48±0.30 ^b	1.07±0.17 ^c	0.97±0.20 ^c	1.08±0.22 ^c
colon	0.99±0.12 ^a	1.02±0.34 ^a	1.20±0.20 ^{ab}	1.51±0.24 ^b	1.08±0.17 ^a	0.98±0.05 ^a
contents in digestive tracts(g)						
stomach	1.30±0.97	1.88±1.60	163±1.06	1.82±0.89	1.18±0.45	1.64±0.78
small intestine	3.44±0.76 ^a	4.07±0.48 ^a	6.09±1.07 ^b	5.14±1.96 ^{ab}	6.23±1.03 ^b	6.56±0.29 ^b
cecum	0.28±0.28 ^a	0.39±0.39 ^a	5.37±1.25 ^b	4.66±0.95 ^{bc}	3.75±1.01 ^c	5.32±0.52 ^b
colon	0.63±0.33 ^a	1.27±1.26 ^a	0.92±0.21 ^a	3.85±1.35 ^b	0.77±0.77 ^a	1.27±0.73 ^a
mean ± SD						
Values not shering a superscript letter are significantly different(P<0.05)						

Table 4 Effect of polysacchrides on viscosity of digestive tract contens (mPa·s)

diet	cellulose	gellan gum	tamarind gum	psyllium seed gum	guar gum	xanthan gum
viscosiry of digestive tract contents(mPa·s)						
small intestine	15.2±7.2 ^a	52.0±37.8 ^a	35.9±29.6 ^a	36.9±35.5 ^a	20.1±9.3 ^a	161.7±47.1 ^b
cecum	5.5±0.7 ^a	67.8±39.4 ^{bc}	19.2±8.9 ^{ab}	104.9±67.7 ^c	11.5±5.4 ^{ab}	4047.1±1266.6 ^d
wet and dry fecal weights (g)						
wet feces	6.07±1.32 ^a	5.93±2.46 ^{ab}	3.18±2.28 ^b	10.11±5.89 ^a	5.02±3.19 ^{ab}	5.62±2.17 ^{ab}
dry feces	4.61±0.89 ^a	3.88±1.28 ^{ac}	2.28±0.48 ^b	4.99±0.82 ^a	2.58±0.39 ^{bc}	3.69±0.81 ^{abc}
mean ± SD						
Values not shering a superscript letter are significantly different(P<0.05)						

Table 5 Effect of polysacchrides on body weigh, diet intake and food efficiency in Exp.2

dietary fiber	cellulose	gellan gum	tamarind gum	psyllium seed gum	xanthan gum
initial body weight(g)	107.2±7.8	107.6±4.3	107.2±4.8	107.6±4.6	107.5±4.2
final body weight(g)	237.2±17.6	248.4±18.5	236.5±17.7	240.3±14.8	228.6±8.9
body weitht gain(g/day)	6.84±0.84	8.22±0.87	6.80±0.94	6.99±0.82	6.38±0.51
diet intake(g/day)	16.5±1.9 ^a	17.1±1.7 ^a	15.0±0.8 ^b	16.3±1.1 ^a	15.1±0.6 ^b
food efficiency(%)	41.5±3.5 ^a	43.6±2.6 ^{ab}	45.4±4.7 ^b	42.9±4.7 ^{ab}	42.2±2.8 ^{ab}
mean of 6 rats ±SD					
Values not shering a superscript letter are significantly different at P<0.05.					

Fig.1には実験2における胃、小腸内の固形物重量に対する難消化性多糖類の影響を示した。胃では0時間においては難消化性多糖類による差は認められなかったが、飼料摂取2時間後ではキサンタンガム群で有意に低くなった。キサンタンガム群ではFig.2に示すように粘度が他の難消化多糖類群に比べて高いが、高い粘度が胃から小腸への食物の移動を抑制するよりもむしろ促進することを示している。また、胃固形物重量が0時間と2時間では差が大きく、小腸や盲腸に比べて絶食中の食物の残留や胃粘膜からの分泌量が少ないことが示唆された。また、飼料摂取2時間後でも胃には大量の食物が残存することが示唆された。

他方、小腸ではタマリンドガム群、サイリウムシードガム群、キサンタンガム群がセルロース群とジェランガム群に比べて内容物が多い傾向を示した。また、小腸では0時間と2時間では胃に比べて内容物量の差が小さく、2時間ではまだ食物が到達していないことと、食物以外の分泌物が占める割合が大きいことが示唆された。

Fig.2には胃と小腸の内容物の粘度を示した。胃内容物ではキサンタンガム群の2時間後の粘度が極めて高い。小腸においてもキサンタンガム群の粘度の傾向は変わらないが、0時間においても小腸内容物の粘度が高く、飼料の影響が長く持続している可能性も考えられる。

3.3. 飼料摂取後の長時間における変化(実験3)

実験1と2から消化管への難消化性多糖類の粘性の影響は、難消化性多糖類本来の粘性とは必ずしも一致しないことを示した。実験2は粘度の高いキサンタンガム群を除いては、胃の重量や内容物量に対する難消化性多糖類の影響の違いはほとんど見られなかった。他方、小腸以下の消化管では影響があるが、それは一様ではない。とくに小腸、盲腸では消化管内では分泌量の占める割合が大きく、その影響を考慮する必要がある。そこで、実験3では、実験1と2で用いた難消化性多糖類のうちサイリウムシードガムとグアガムについて飼料摂取前を0時間として、飼料摂取後の2、5時間目での変化を観察した。

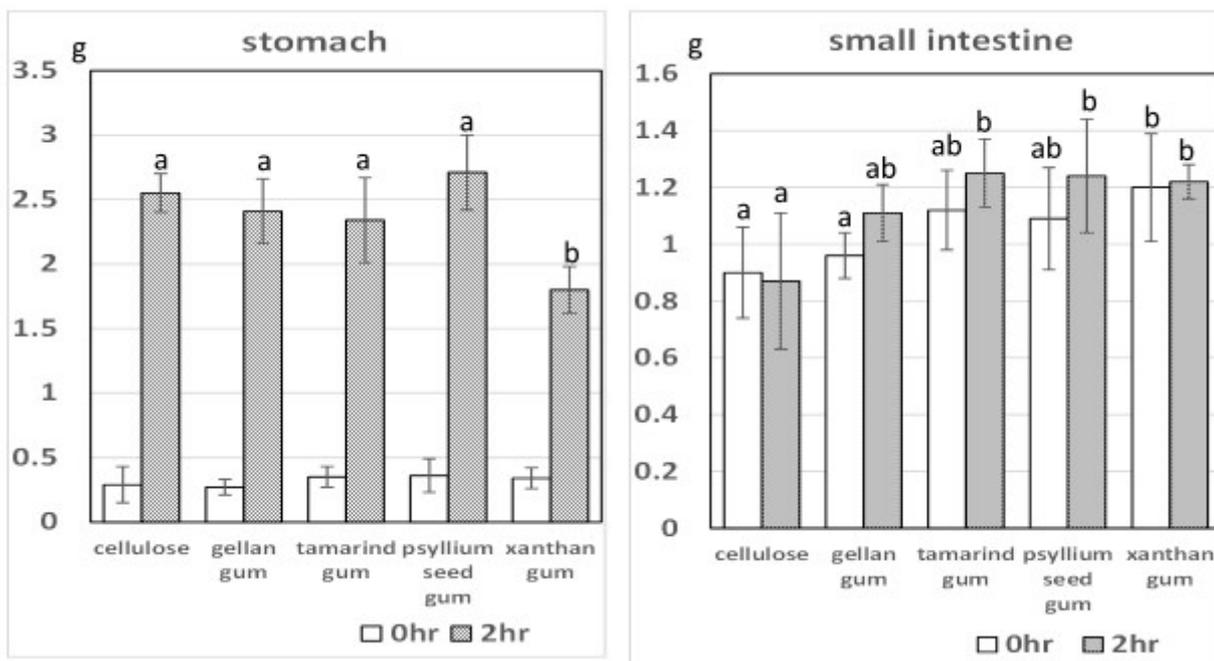


Fig.1 Effect of polysaccharides on weight of digestive tract contents at 0 and 2 hours after feeding means \pm SD, Values not sharing a common superscript letter are not significantly different at the same time after feeding ($P < 0.05$)

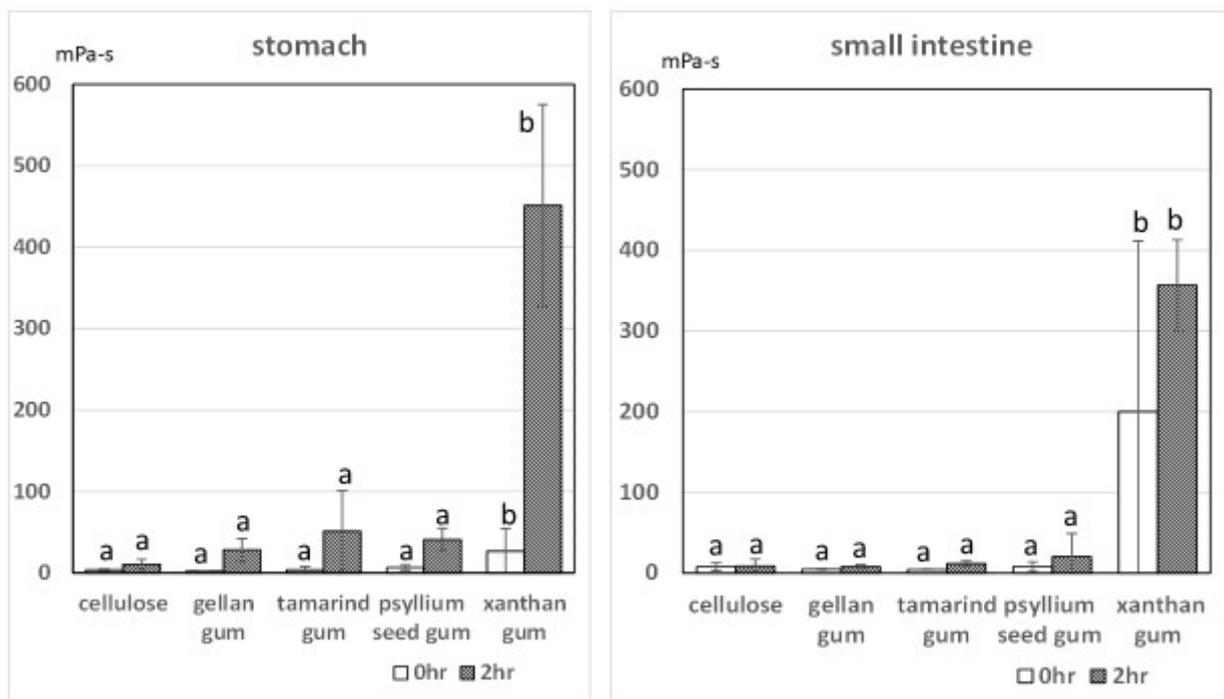


Fig.2 Effect of polysacchrides on viscosity of digestive tract contents at 0 and 2 hours after feeding means \pm SD
Values not shearing a common superscript letter are significantly different at the same time after feeding(P<0.05).

Table 6 Effect of polysaccharides on body weight and food intake in Exp.3

diet	cellulose	psyllium seed gum	guar gum
initial body weight(g)	99.1 \pm 2.7	99.1 \pm 3.7	99.1 \pm 0.7
final body weight(g)	239.7 \pm 8.6 ^a	238.7 \pm 7.1 ^a	222.8 \pm 8.6 ^b
body weitht gain(g/day)	7.03 \pm 0.41 ^a	6.98 \pm 0.46 ^a	6.18 \pm 0.42 ^b
diet intake(g/day)	18.3 \pm 4.3 ^a	18.7 \pm 4.3 ^a	16.6 \pm 4.0 ^b
food efficiency(%)	40.6 \pm 9.8	39.2 \pm 10.1	40.7 \pm 12.1

mean of 6 rats \pm SD

Values not sharing a common superscript letter are significantly different at P<0.05.

Table 6 には実験 3 におけるラットの体重変化と飼料摂取量を示した。実験 1 と 2 とほぼ同様に良好な生育を示したが、グアガム群では飼料摂取量がやや低く、体重にも有意な影響が見られた。

Fig.3 には消化管固形物重量の経時変化を示した。胃では飼料摂取 2 時間後においてグアガム群で内容物重量がセルロース群とサイリウムシードガム群に比べて少なく、実験 2 のキサントガム群と同様の結果を示した。5 時間後では 3 群間に差は見られなかった。小腸においては粘度の高いグア

ガム群では固形物重量が高い傾向で推移した。サイリウムシードガム群では 2 時間後がもっとも高く、5 時間後ではやや低下した。他方、盲腸ではサイリウムシードガム群がいずれの時間でもやや低い傾向であった。

Fig. 4 では消化管内容物の粘度を示した。胃ではグアガム群の粘度が極めて高いが、小腸、盲腸の順に低くなった。胃ではグアガム群より低かったサイリウムシードガム群において小腸や盲腸での粘度がグアガム群より高くなった。

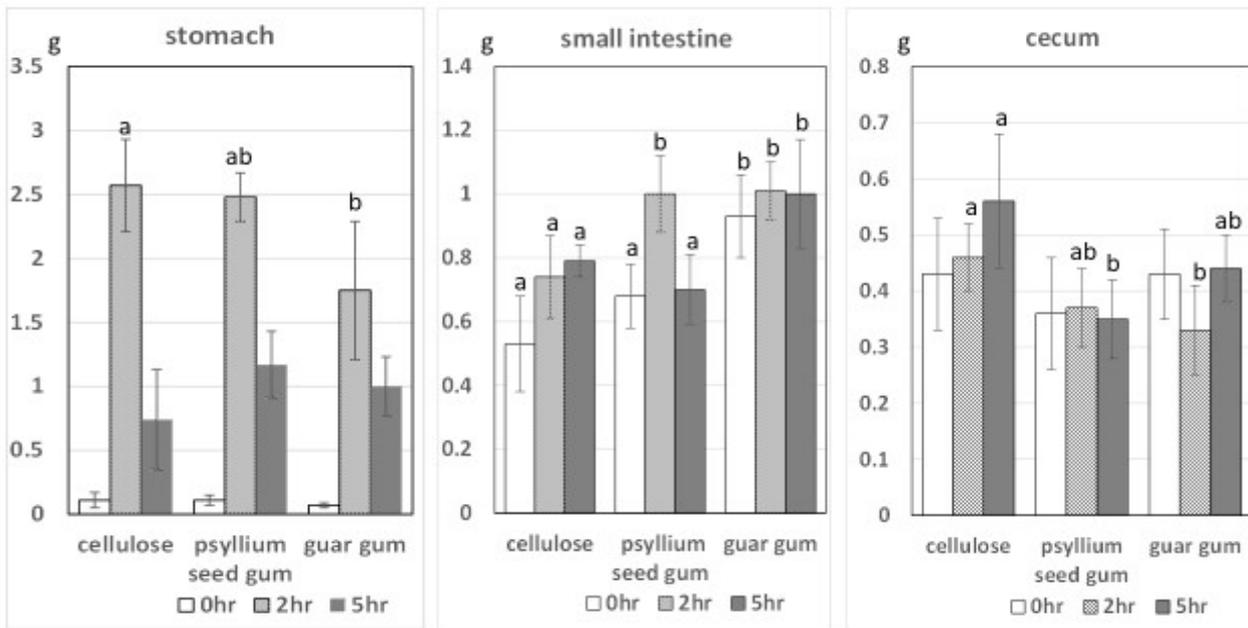


Fig.3 Effect of polysaccharides on weight of digestive tract contents at 0, 2 and 5 hours after feeding mean \pm SD
Values not sharing a common superscript letter are significantly different at the same time after feeding ($P < 0.05$)

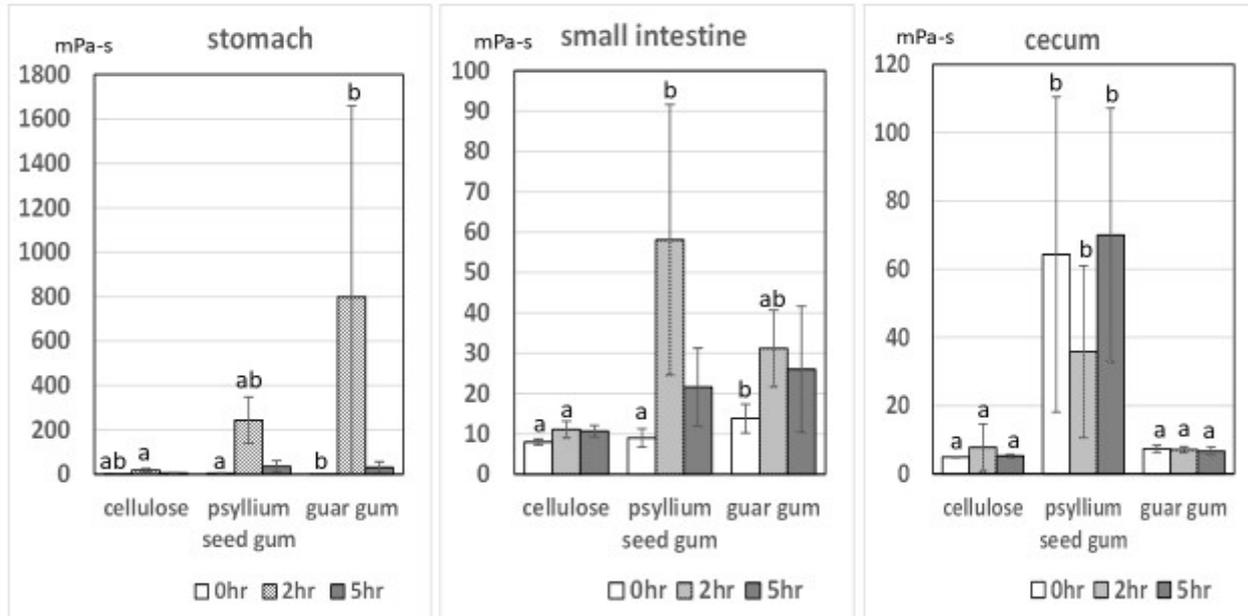


Fig.4 Effect of polysaccharides on viscosity of digestive tract contents at 0, 2 and 5 hours after feeding mean \pm SD
Values not sharing a common superscript letter are significantly different at the same time after feeding ($P < 0.05$)

4. 考察

これまでの研究では、食物繊維の生理機能の一部はその物理化学的性質から説明され、とりわけ、粘性は重要な因子とされてきた。例えば、グアガムは食後の血糖値上昇を抑制することが報告され^[7]、その要因の一つが粘性による胃から小腸への食物の移動が抑制されるためと考えられてきた。本研究では粘性の高いグアガムとキサントガムでは必ずしも胃からの食物の移動は抑制されることは確認されず、むしろ食物移動が促進されていることが示唆された。

¹⁴C-でんぷんを用いてラットの消化管内移動に対するグアガムの影響をみた研究^[8]や^{99m}Tmで標識したグルコースを用いたグアガムの研究^[9]では食物の移動が5時間以上の長時間の観察では遅延することが確認されているが、胃と小腸上部では遅延は明確ではない。また、^{99m}Tmグルコース飲料によるグアガムの人での研究^[10]でも、血糖値の上昇抑制と食物移動抑制との関連は明確ではない。グアガムの粘性の影響は移動速度の遅延よりも小腸内容物の拡散の遅れや粘膜への接触などへの影響がより強いのではないかと思われる。

本研究では、難消化性多糖類の粘性は試験管内で測定された結果と実際の消化管内での粘性は必ずしも一致しない。これまでの研究では、粘性の挙動について複数の難消化性多糖類で比較して行われたものは少ない。本研究は複数の難消化性多糖類についてラットを用いて消化管への影響と粘性変化に着目して行った。その結果、難消化性多糖類の本来の粘性と消化管内における粘性とは必ずしも一致しないことを明らかにした。その原因としては消化管内において難消化性多糖類が物理化学的変化、とくに胃の酸による分解を受けたり、あるいは共存する食物成分との結合や構造変化を受けることが考えられる。これまで難消化性多糖類はその粘性等の特性から食品加工に多く用いられ、その特性についても明らかにされている^[11]。すでにグアガムについては酸によって分解されることが示されており、本研究の結果においても胃では高い粘性を示しながら、盲腸では粘性がかなり低下していることが明らかになった。他方、キサントガムは酸に対する安定性は高く、胃、小腸においても高い粘性を維持している。サイリウムシードガムは水溶性と不溶性部分が混在しており、試験管内では必ずしも粘度は高くないが、比

文献

[1]Elsenhans, B., et al. Food viscosity as determinant for adaptive growth responses in rat intestine. Long-term feeding of different hydroxyethyl cellulose. Br J Nutr. 2000, 84, P.39-48.

較的高分子の状態を維持して結腸まで到達していることが推測される。ジェランガムはカルシウムイオンの存在でゲル化しやすく、酸による分解は受けにくい。タマリンドガムも酸や塩による影響は受けにくい。その結果、ジェランガムとタマリンドガムは胃から盲腸までその粘度は一定している。このように難消化性多糖類は単品での試験管内で測定された粘度だけでは生体機能への影響を判断することはできない。

他方、一部の難消化性多糖類は小腸末端から盲腸において腸内細菌による分解をうける場合がある。実験1の糞量のデータから推測すると、サイリウムシードガムはもっとも分解を受けにくく、ジェランガムとキサントガムが中程度、グアガムとタマリンドガムは比較的分解を受けやすいことが推測される。

難消化性多糖類の消化管内における挙動は、その機能性に大きく影響することになる。本研究で用いた難消化性多糖類の機能性についてはこれまで多くの研究が行われてきた。グアガムやサイリウムシードガムについては、Ellis^[12]ら、Cho^[13]らの総説で詳細に紹介されており、とくにグアガムについては多くの論文でその機能性が紹介されている。また、青江による食物繊維全般の消化管への影響に関する総説^[14]においてもグアガム等が取り上げられている。しかし、粘性が主たる要因とされながら、必ずしもそのメカニズムについて詳細には明らかにされていない。難消化性多糖類の粘性がどのようなメカニズムで作用するのか、また本来の粘性と食物中や消化管内での粘性の変化などについて詳細な検討が必要であることを、本研究は提示した。それは食物繊維全般の機能性のメカニズムを明らかにする上でも重要な課題であると考えられる。

謝辞

本研究で用いた粘性のある難消化性多糖類のご供与、粘度測定機器の貸与と測定技術に対するアドバイスについては、D S P 五協フード&ケミカル株式会社の大和谷和彦氏にご支援をいただきました。深謝申し上げます。

また研究遂行にあたり、大妻女子大学家政学部青江誠一郎教授には多くのご助言をいただきました。ここに謹んで御礼を申し上げます。

[2]Blackburn, N.A. et al. The effect of guar gum on the viscosity of the gastrointestinal contents and glucose uptake from the perfused jejunum in the rat. Br J Nutr. 1981, 46, p.239-246.

[3]Ikegami, S. et al. Effect of viscous indigestible

polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *J Nutr.* 1990, 120, p.353-360.

[4]池上幸江ほか. ラット膵臓消化酵素と小腸二糖類水解酵素の活性に対する粘性食物繊維の影響 日本食物繊維学会誌. 2006, 10, p.25-32.

[5]Dikeman, C. L. et al. Dietary fibers viscosity of solutions and simulated human gastric and small intestinal digesta. *J Nutr.* 2006, 136, p.913-919.

[6]Cameron-Smith, D. et al. Effect of soluble dietary fiber on the viscosity of gastrointestinal contents and the acute glycemic response in the rat. *Br J Nutr.* 1994, 71, p.563-571.

[7]Torsdottir, I. et al. Dietary guar gum effects on postprandial blood glucose, insulin and hydroxyproline in humans. *J Nutr.* 1989, 119, p.1925-1931.

[8]Tinker, L. F. et al. The effects of guar gum or wheat bran on the disappearance of ¹⁴C-labeled starch from the rat gastrointestinal tract. *J Nutr* 1989, 119, p.403-408.

[9]Blackman, N. A. et al. Does guar gum improve post-prandial hyperglycaemia in human by reducing

small intestinal contact area? *Br J Nutr.* 1984, 52, p.197-204.

[10]Brown, N. J. et al. The effect of guar gum on the distribution of a radiolabeled meal in the gastrointestinal tract of the rat. *Br J Nutr.* 1988, 59, p.197-204.

[11]大和谷和彦. 食物繊維物性機能の食品への応用、「食物繊維科学—基礎と応用」. 第一出版、2008, p.267-275.

[12]Ellis, P. R. et al. “Guar gum: Agricultural and botanical aspects, physiochemical and nutritional properties, and its use in development of functional foods” *Handbook of Dietary Fiber*, (Cho, S. S. & Dreher, M. L. ed), Marcel Dekker, Inc. 2001, p.613-674.

[13]Cho, S. S. et al. Psyllium: Food application, efficacy and safety. *Handbook of Dietary Fiber*, (Cho, S. S. & Dreher, M. L. ed), Marcel Dekker, Inc. 2001, p.473-495.

[14]青江誠一郎. 上部消化管機能と食物繊維. 日本食物繊維学会誌. 2006, 10, p.53-64.

Abstract

Effects of viscous indigestive polysaccharides on digestive tracts were investigated in 4 week aged male rats. In three experiments, rats fed the diets containing 5% polysaccharides for 24 days.

In Exp.1, the organ weights, their contents weights and viscosity at 5 hours after feeding cellulose, gellan gum, tamarind gum, psyllium seed gum, guar gum and xanthan gum were determined. The viscosities of stomach and small intestinal contents were highest in xanthan gum group and lowest in guar gum group, and were not associated with the original viscosities of the polysaccharides.

In Exp.2, the solid contents and the viscosities of stomach and small intestinal contents were determined at 0hr after 5hr fasting and at 2hr after feeding of 5g cellulose, gellan gum, tamarind gum, psyllium seed gum and xanthan gum diets. The solid stomach contents in the xanthan gum group at 2hr was significantly lowest and the viscosity of the contents was highest among the groups.

In Exp.3, the similar experiment as Exp.2 was conducted at 0hr after fasting and at 2hr and 5hr after 5g feeding of cellulose, psyllium seed gum and guar gum diets. The solid stomach contents at 2hr was lowest and the viscosity was highest in the guar gum group.

The results of Exp.2 and 3 suggest that the high viscous polysaccharides accelerate the moving of the diets from the stomach to the small intestine. However, the viscosities of original solution, diet emulsions and digestive tract contents were different each other. The results suggest that each polysaccharide interacts with the dietary components and/or digestive components and changed the viscosity and physiological characters.

(受付日：2021年8月24日，受理日：2021年11月11日)

池上 幸江 (いけがみ さちえ)

大妻女子大学名誉教授、国立健康・栄養研究所名誉所員

大阪大学薬学部卒業 薬学博士、国立健康・栄養研究所勤務後、1999年大妻女子大学家政学部食物学科教授、2010年停年退職

専門は栄養学、食品衛生学

主な著書：“食物繊維：基礎と応用”（共著、編集、第一出版）、ビタミン・ミネラルのアンバランス（丸善）、すぐに役立つ食物繊維の知識と献立（共著、第一出版）