

*Bull. Mukogawa Women's Univ. Nat. Sci.*, 47, 73–80(1999)

武庫川女子大紀要 (自然科学)

## キシロオリゴ糖のラットカルシウム吸収促進効果に対する ガラクトマンナン, グルコノ- $\delta$ -ラクトンの影響

岸本三香子, 松浦 寿喜, 市川 富夫  
(武庫川女子大学生生活環境学部食物栄養学科)

## Galactomannan and glucono - $\delta$ - lactone affect calcium absorption effect of xylooligosaccharide in rats.

Mikako Kishimoto, Toshiki Mathuura and Tomio Ichikawa

*Department of Food Science and Nutrition,  
School of Human Environmental Sciences,  
Mukogawa Women's University, Nishinomiya 663-8558, Japan*

We investigated the effect of dietary saccharides on the absorption of calcium in rats. Calcium L-lactate was used as a source of calcium. We used the test diets containing xylooligosaccharide(XO), Galactomannan(GM)and Glucono- $\delta$ -lactone(GL). In experiment 1, five-week-old rats, were divided into four groups. Each group was fed a control diet or a test diet(1.2%XO or 1.0%GM or 0.7%GL)for 3 weeks. In exp.2, each group of rats was fed a control diet or a test diet(1.2%XO or 1.2%XO·1.0%GM or 1.2%XO·0.7%GL). In exp.3, rats were divided into two groups, and were fed a control diet or a test diet(1.2%XO·1.0%GM·0.7%GL). In exp.4, rats were divided into four groups and each group was fed a control diet or a test diet(5% XO or 5%GM or 5%GL). All diets contained the same amounts of Ca(0.52%)and phosphorus(0.40%). In exp.1 and exp.2, Ca absorption ratios in the test diet did not differ from those in the control diet group. In exp.3, Ca absorption ratio and Ca contents of femur were significantly increased in the test diet group. In exp.4, Ca absorption ratio was significantly increased in the 5%XO diet group. In the XO diet, a positive effect of Ca absorption was observed in the 5%XO diet group, but not in the 1.2%XO diet group. The addition of 1.0%GM and 0.7%GL to 1.2%XO promoted Ca absorption effect of 1.2%XO. These results suggest that increased Ca absorption by mixture of XO, GM and GL was due to their synergistic effect.

### 緒言

カルシウム(Ca)の吸収を促進する食品成分が多く報告されている。糖質では乳糖<sup>1,2)</sup>がCaの利用性を高めることが知られている。近年では、糖アルコール<sup>3,4)</sup>や各種オリゴ糖<sup>5,6,7,8)</sup>がCa吸収促進作用を持つことが報告されている。また、糖質成分以外にCa吸収促進効果を持つものも知られている<sup>9,10)</sup>。本実験では、ラットを用いCaの吸収を促進する事

が知られているオリゴ糖であるキシロオリゴ糖<sup>11,12)</sup>を中心に、食物繊維のガラクトマンナン、そしてCa溶解剤であるグルコノ- $\delta$ -ラクトンを用い、これらの物質の飼料添加量、および混合割合を変えることによる、Caの吸収がどのように影響を受けるかについて検討した。

### 実験方法

#### 1. 実験動物および飼育方法

4週令SD系雄ラットを日本クレア(株)より購入し、個別ゲージにて、室温 $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $55\pm 7\%$ 、12時間ごとの明暗サイクル(8:00am~8:00pm 8:00pm~8:00am)の環境下で飼育した。標準飼料で1週間予備飼育した後、標準飼料および試験飼料で3週間飼育した。試験期間中の飼料、およびイオン交換水は自由摂取とした。試験期間中の体重は1週間に2度、飼料摂取量は2~3日に1度測定した。Caの出納実験は、試験食開始6~9日(前期)、および試験終了前17~20日(後期)の各4日間実施した。実験は飼料組成を変え、4回行った。ラットは各実験で各群それぞれ6匹を用いた。飼育最終日に、ネンブタール麻酔下のラット腹部大動脈よりヘパリン処理した注射器で採血して脱血後、臓器および大腿骨を摘出した。臓器は測定に使用するまで $-30^{\circ}\text{C}$ で冷凍保存した。

## 2. 飼育飼料

飼料組成をTable 1に示した。AIN-76飼料にCa源としてL型乳酸Caを用いた。キシロオリゴ糖(XO)、ガラクトマンナン(GM)、グルコノ- $\delta$ -ラクトン(GL)を加えた飼料により実験を行った。実験は、XO、GM、GLの添加量および混合割合を変え4回行った。XO、GM、GLはシュクロースの一部を置き換え、飼料食は全てCa含量0.52% P含量0.4%とした。XO、GM、GLは、白寿生科学研究所より供与された。その他の飼料はオリエンタル酵母社製を用いた。調製した飼料は一定量を精秤し、 $550^{\circ}\text{C}$ の電気炉で15時間灰化後、1N塩酸で溶解したものを試料とし、Ca含量を0.5%塩化ランタン存在のもと原子吸光光度法<sup>13)</sup>(原子吸光分光分析装置:島津AA-6400F)で定量し、Table 1に示した。

Table 1. Composition of experimental diet.

(g/100g diet)

	Control	Exp. 1(Exp. 4)			Exp. 2		Exp. 3	
		1.2%XO (5%XO)	1.0%GM (5%GM)	0.7%GL (5%GL)	1.2%XO	1.0%GM 0.7%GL	1.2%XO-1.0% GM-0.7%GL	
Casein	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
DL-Methionine	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Corn starch	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Corn oil	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Cellulose powder	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Vitamin mix <sup>1)</sup>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Choline bitartrate	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Mineral mix <sup>2)</sup>	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Sodium citrate	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
L-Ca	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85
XO	-	1.23(5.00)	-	-	1.23	1.23	1.23	1.23
GM	-	-	1.04(5.00)	-	-	1.04	-	1.04
GL	-	-	-	0.73(5.00)	-	-	0.73	0.73
Sucrose	44.4	43.1(39.4)	43.3(39.4)	43.6(39.4)	43.1	42.1	42.4	41.4
Ca(%) <sup>3)</sup> Exp.1	0.57	0.55	0.55	0.55	0.58	0.63	0.63	0.54
Exp.2	0.59							
Exp.3	0.55	(0.52)	(0.52)	(0.52)				
Exp.4	0.52							

1) According to AIN-76 Vitamin mixture.

2) According to AIN-76 Mineral mixture, without Ca, P sources.

3) Findings

L-Ca : Calcium L-lactate, XO : Xylooligosaccharide, GM : Galactomannan, GL : Glucono- $\delta$ -lactone

**Table 2.** Effect of xylooligosaccharide, galactomannan and glucono- $\delta$ -lactone on body weight gain, food intake and food efficiency.

	Exp. 1				Exp. 2			
	Control	1.2%XO	1.0%GM	0.7%GL	Control	1.2%XO		
						1.0%GM	0.7%GL	
<b>Body weight</b>								
Initial(g)	155±8	154±7	149±6	152±6	134±8	133±7	134±7	133±10
Final(g)	299±13	292±17	281±14	281±14	291±9	304±19	292±9	300±23
<b>Food intake</b>								
g/day	20.2±1.2	20.8±1.8	20.4±0.5	20.6±1.1	20.7±0.6	21.5±1.2	20.5±1.1	21.0±1.4
g/20day <sup>1)</sup>	384±22	395±30	387±10	391±22	413±11	429±24	411±22	420±29
Food efficiency <sup>2)</sup>	0.37±0.02 <sup>a</sup>	0.35±0.02 <sup>a,b</sup>	0.34±0.03 <sup>a,b</sup>	0.34±0.02 <sup>b</sup>	0.38±0.01	0.40±0.01	0.38±0.01	0.40±0.03

	Exp. 3		Exp. 4			
	Control	XO·GM·GL	Control	5%XO	5%GM	5%GL
<b>Body weight</b>						
Initial(g)	146±4	147±5	139±8	139±7	139±6	139±6
Final(g)	309±22	305±21	312±10	299±20	315±22	307±14
<b>Food intake</b>						
g/day	21.7±1.5	20.6±1.9	22.4±1.3	20.7±1.7	22.9±1.6	22.3±1.8
g/20day	434±30	413±39	448±26	414±35	457±32	446±36
Food efficiency <sup>2)</sup>	0.37±0.02	0.38±0.01	0.39±0.03	0.39±0.01	0.39±0.03	0.38±0.02

Values are means±SD(n=6). Values with unlike letters are significantly different : p<0.05

<sup>1)</sup>Exp. 1(g/19day) <sup>2)</sup>Body weight gain/food intake

L-Ca : Calcium L-lactate, XO : Xylooligosaccharide, GM : Galactomannan, GL : Glucono- $\delta$ -lactone

### 3. 試薬

原子吸光分析用カルシウム測定用 Ca 標準溶液は、和光純薬市販特級を用いた。揮発性脂肪酸標準物質(酢酸, プロピオン酸, 酪酸)はいずれも和光純薬市販特級を用いた。他の試薬は全て特級を用いた。

### 4. Ca 出納実験

24 時間尿および糞は、ポリエチレン濾紙 A(千代田テクノル(株))を敷いた上で採取した。糞は 105℃ で 3 時間乾燥後粉末とし、一定量を 550℃ の電気炉で 17 時間灰化し、1N 塩酸で溶解したものを試料とした。尿は、尿をしみこませた濾紙を約 2×3cm に切断し、2N 塩酸で 1 時間抽出したものを試料とした。糞尿中の Ca 量は原子吸光光度法で測定した。Ca 吸収率、および体内保留率は糞尿中への Ca の排泄量から次式により算出した。

$$\text{吸収率}(\%) = \{(\text{摂取量} - \text{糞中排泄量}) / \text{摂取量}\} \times 100$$

$$\text{体内保留率}(\%) = \{(\text{摂取量} - \text{糞中排泄量} - \text{尿中排泄量}) / \text{摂取量}\} \times 100$$

### 5. 大腿骨の Ca 量の測定

膝関節部と骨盤ヒンジ骨より脱離した大腿骨から骨膜を剥離した後、湿重量を測定し、骨長はノギスを用いて測定した。Ca 量は、左大腿骨を 600℃ で 17 時間灰化し灰化重量を測定した後、塩酸で溶解したものを原子吸光光度法で測定した。

### 6. 盲腸内容物の pH および揮発性脂肪酸量の測定

盲腸内容物湿重量 1g あたり 10ml の蒸留水を加え、pH を測定した。揮発性脂肪酸量は、盲腸内容物 0.2g をエタノール 1.8ml で抽出後、遠心分離し(3000rpm, 20min)得られた上清を試料とした。

分析には、サーモン 3000(信和化工)を充填剤としたガラスカラムを装着した GLC(島津:GC-14B)を用いて測定した。キャリアガスは窒素、分析温度

**Table 3.** Effect of xylooligosaccharide, galactomannan and glucono- $\delta$ -lactone on the calcium balance in rats.

	Exp. 1				Exp. 2			
	Control	1.2%XO	1.0%GM	0.7%GL	Control	1.2%XO	1.0%GM	0.7%GL
6~9days								
Intake <sup>1)</sup>	115.4±6.8	108.5±8.1	106.4±4.1	108.7±7.7	121.6±3.8 <sup>a</sup>	125.1±8.0 <sup>a,b</sup>	131.6±9.4 <sup>a,b</sup>	136.9±8.7 <sup>b</sup>
Fecal excretion <sup>1)</sup>	38.9±6.4	33.3±5.1	37.2±3.7	33.3±6.0	41.0±7.9	42.5±6.1	43.9±10.0	42.8±5.0
Urinary excretion <sup>1)</sup>	2.05±0.42	2.46±0.43	2.23±0.40	2.75±0.48	0.85±0.58	2.25±2.13	1.16±0.50	2.12±0.81
Absorption (%)	66.4±4.0	69.3±4.0	65.0±3.7	69.5±4.1	66.3±6.2	66.0±4.4	66.8±5.6	68.7±4.0
Retention (%)	64.7±3.7	67.0±3.9	62.9±3.8	67.0±4.1	65.6±5.9	64.3±3.6	65.9±5.6	67.1±3.6
17-20days								
Intake <sup>1)</sup>	138.0±8.7	133.9±18.9	128.8±4.1	123.2±8.2	135.0±7.5 <sup>a</sup>	138.6±9.5 <sup>a</sup>	146.4±10.0 <sup>a,b</sup>	154.8±13.3 <sup>b</sup>
Fecal excretion <sup>1)</sup>	55.2±8.9	49.1±9.9	52.7±5.7	49.2±7.0	59.0±6.5	67.3±8.5	63.4±14.1	62.6±4.2
Urinary excretion <sup>1)</sup>	2.23±0.32	2.35±0.96	2.10±0.28	2.67±0.44	1.55±0.43	2.44±1.57	1.86±0.52	2.18±0.89
Absorption (%)	60.2±4.4	63.4±4.4	59.2±3.5	60.2±4.3	56.4±3.3 <sup>a,b</sup>	51.6±3.2 <sup>a</sup>	57.0±6.5 <sup>a,b</sup>	59.4±3.6 <sup>b</sup>
Retention (%)	58.6±4.2	61.7±3.8	57.6±3.5	58.0±4.3	55.3±3.2 <sup>a,b</sup>	49.9±4.1 <sup>a</sup>	55.8±6.3 <sup>a,b</sup>	58.0±3.7 <sup>b</sup>
	Exp. 3			Exp. 4				
	Control	XO·GM·GL	Control	5%XO	5%GM	5%GL		
6~9days								
Intake <sup>1)</sup>	114.6±9.4	108.9±11.5	114.9±8.4	113.3±6.4	119.2±7.3	116.9±11.3		
Fecal excretion <sup>1)</sup>	44.2±7.9 <sup>a</sup>	28.0±8.9 <sup>b</sup>	42.4±6.7 <sup>b</sup>	24.6±5.7 <sup>a</sup>	40.0±4.7 <sup>b</sup>	37.3±8.6 <sup>b</sup>		
Urinary excretion <sup>1)</sup>	1.06±0.21	1.40±1.06	1.02±0.73 <sup>a</sup>	5.55±2.15 <sup>b</sup>	2.24±0.84 <sup>a</sup>	2.26±0.96 <sup>a</sup>		
Absorption (%)	61.6±4.7 <sup>a</sup>	74.6±4.1 <sup>b</sup>	63.2±4.6 <sup>a</sup>	78.4±4.8 <sup>b</sup>	68.9±4.3 <sup>a</sup>	68.3±5.7 <sup>a</sup>		
Retention (%)	60.7±4.7 <sup>a</sup>	73.3±4.6 <sup>b</sup>	62.3±4.8 <sup>a</sup>	73.5±5.6 <sup>b</sup>	67.0±4.7 <sup>a,b</sup>	66.3±5.9 <sup>a,b</sup>		
17-20days								
Intake <sup>1)</sup>	129.1±15.8	121.1±11.9	135.4±11.6	137.3±9.5	135.6±16.9	129.4±10.2		
Fecal excretion <sup>1)</sup>	56.1±4.8 <sup>a</sup>	44.7±9.5 <sup>b</sup>	62.8±7.4	55.9±12.4	68.5±12.1	68.1±7.3		
Urinary excretion <sup>1)</sup>	0.83±0.46	1.22±0.64	1.14±0.54 <sup>a</sup>	6.84±2.73 <sup>b</sup>	1.80±0.95 <sup>a</sup>	2.41±0.91 <sup>a</sup>		
Absorption (%)	56.3±4.1 <sup>a</sup>	63.2±6.2 <sup>b</sup>	53.6±4.6 <sup>a,b</sup>	59.6±7.3 <sup>b</sup>	49.6±4.2 <sup>a</sup>	47.4±2.5 <sup>a</sup>		
Retention (%)	55.7±3.8	62.3±6.3	52.8±4.4 <sup>a,b</sup>	54.6±7.9 <sup>b</sup>	48.3±4.5 <sup>a,b</sup>	45.6±2.7 <sup>a</sup>		

Values are means±SD(n=6). Values with unlike letters are significantly different: P<0.05. <sup>1)</sup>mg/day

Absorption(%)=(intake-fecal excretion)/intake. Retention(%)=(intake-fecal excretion-urinary excretion)/intake.

L-Ca : Calcium L-lactate, XO : Xylooligosaccharide, GM : Galactomannan, GL : Glucono- $\delta$ -lactone

260℃, カラム槽温度 130℃, 気化室検出温度 260℃とした。

## 7. 統計解析

表中の数値はすべて平均±標準偏差を示した。

実験 1, 2, 4 は一元配置分散分析後 Turkey の多重比較検定を行い, 5% 以下を有意とした。

実験 3 は有意差の検定は比較すべき数値の等分散性を F-検定により検定後, t-検定により行い, 危険率 5% 以下を有意とした。

## 実験結果

飼育期間中の飼料摂取量および体重増加量を Table 2, Ca 吸収率ならびに体内保留率の結果を Table 3, 大腿骨の測定結果を Table 4, そして盲腸に及ぼす影響を Table 5 に示した。

### 実験 1

標準食, 1.2%XO, 1.0%GM, 0.7%GL のいずれかのもを加えた飼料, 合計 4 飼料で 20 日間飼育した。体重, 食摂取量に差はなかった。食効率では, 標準食群と比較して XO 食群, GM 食群には差はみられなかったが, GL 食群は有意に低値を

Table 4. Effect of xylooligosaccharide, galactomannan and glucono- $\delta$ -lactone on femur properties.

	Exp. 1				Exp. 2			
	Control	1.2%XO	1.0%GM	0.7%GL	Control	1.2%XO		
						1.0%GM	0.7%GL	
Wet weight(g)	0.64±0.05	0.64±0.04	0.64±0.05	0.65±0.04	0.61±0.03	0.66±0.03	0.65±0.03	0.65±0.05
Length(mm)	30.3±0.8	29.5±0.6	30.1±0.6	30.4±0.3	29.4±0.5	29.5±0.7	29.5±0.5	29.6±0.3
Ash weight(g)	0.20±0.01 <sup>a,b</sup>	0.21±0.01 <sup>a,b</sup>	0.19±0.02 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>b</sup>	0.20±0.01	0.21±0.01	0.21±0.01	0.21±0.01
Ca content(mg)	84.1±3.6	88.0±4.2	82.5±5.5	90.0±5.8	80.4±3.7	79.7±4.8	77.4±4.1	83.0±6.6
Ca%(Ca/Ash×100)	42.1±1.1 <sup>a</sup>	42.2±0.6 <sup>a</sup>	43.8±1.1 <sup>b</sup>	43.3±1.0 <sup>a,b</sup>	40.0±2.7	37.9±1.9	36.5±2.9	39.4±3.1

  

	Exp. 3		Exp. 4			
	Control	XO·GM·GL	Control	5%XO	5%GM	5%GL
Wet weight(g)	0.67±0.03	0.69±0.05	0.70±0.02	0.70±0.03	0.70±0.04	0.67±0.02
Length(mm)	30.9±0.5	30.7±0.6	29.9±0.4	30.0±0.5	30.4±0.3	30.4±0.5
Ash weight(g)	0.21±0.01	0.22±0.02	0.22±0.01	0.22±0.01	0.22±0.01	0.22±0.01
Ca content(mg)	82.9±4.3 <sup>a</sup>	96.5±6.4 <sup>b</sup>	88.4±4.8 <sup>a</sup>	92.5±6.3 <sup>ab</sup>	96.9±3.3 <sup>b</sup>	90.6±5.0 <sup>ab</sup>
Ca%(Ca/Ash×100)	40.0±1.8 <sup>a</sup>	44.7±1.9 <sup>b</sup>	40.9±0.9 <sup>a</sup>	41.3±1.4 <sup>a</sup>	43.4±0.9 <sup>b</sup>	41.6±1.2 <sup>a</sup>

Values are means±SD(n=6). Values with unlike letters are significantly different: P<0.05.

L-Ca : Calcium L-lactate, XO : Xylooligosaccharide, GM : Galactomannan, GL : Glucono- $\delta$ -lactone

示した。

出納実験では、前期は、XO食群、GL食群において糞中Ca排泄量が低値傾向を、尿中Ca排泄量が増加傾向を示し、Ca吸収率はわずかに増加傾向を示した。しかし、いずれの群においても差はみられなかった。後期でも、4群間に差は見られなかった。

抽出した大腿骨の重量、骨長に有意な差は認められなかった。Ca含量にも差はみられなかったが、1.2%XOおよび0.7%GL食群において若干高い傾向を示した。

盲腸重量および盲腸内容量はXO食群およびGM食群により有意に増加し、盲腸内pHはXO食群により低値を示した。揮発性脂肪酸量では標準食群と比較して、XO食群により酪酸が、GM食群によりプロピオン酸が有意に高値を示した。

#### 実験2

標準食、1.2%XO添加食、1.2%XOおよび1.0%GM添加食(以下XO·GM食)、1.2%XOおよび0.7%GL添加食(以下XO·GL食)の、合計4飼料により20日間飼育した。4群とも順調に成長し、体重、食摂取量、食効率とも差はなかった。

出納実験では、前期後期ともにCa摂取量がXO·GL食群で標準食群と比較して多かった。Ca

吸収率は、前期は4群間に差は見られなかった。後期では、標準食群と比較して、XO食群、XO·GM食群、XO·GL食群では差は見られなかったが、XO·GL食群はXO食群より有意に高値を示した。Ca体内保留率も同様の傾向を示した。

抽出した大腿骨の重量、骨長、Ca含量に差は認められなかった。

XO·GM食群は、標準食群と比較して盲腸重量を有意に高め、また、標準食群、XO食群と比較して盲腸内容量を有意に高めた。盲腸内pHには4群間には差はみられなかった。揮発性脂肪酸量ではXO·GM食群はプロピオン量を高め、総揮発性脂肪酸量を増加させた。

#### 実験3

標準食、標準食に1.2%XO、0.1%GM、0.7%GLを加えた(XO·GM·GL食)2飼料により20日間飼育した。2群とも順調に成長し、体重、食摂取量、食効率とも差はなかった。

出納実験では、XO·GM·GL添加飼料群は、糞中Ca排泄量が低値を示し、Ca吸収率および体内保有率を有意に高めた。

抽出した大腿骨の重量、骨長に差はみられなかった。Ca含量はXO·GM·GL添加により著しく増加した。

**Table 5.** Effect of xylooligosaccharide, galactomannan and glucono- $\delta$ -lactone on pH, weight and short-chain fatty acid composition of the cecal contents.

	Exp. 1				Exp. 2			
	Control	1.2%XO	1.0%GM	0.7%GL	Control	1.2%XO	1.0%GM	0.7%GL
Weight(g)	3.07±0.42 <sup>a</sup>	3.93±0.55 <sup>b</sup>	3.74±0.49 <sup>b</sup>	3.05±0.17 <sup>a</sup>	3.36±0.77 <sup>a</sup>	3.71±0.61 <sup>a,b</sup>	4.77±0.77 <sup>b</sup>	4.25±0.77 <sup>a,b</sup>
Cecum wall(g)	0.85±0.11	0.84±0.09	0.84±0.03	0.78±0.06	0.82±0.08	0.97±0.13	0.92±0.17	0.89±0.11
Weight of contents in the cecum(g)	2.23±0.38 <sup>a</sup>	3.09±0.54 <sup>b</sup>	2.90±0.47 <sup>b</sup>	2.28±0.17 <sup>a</sup>	2.54±0.73 <sup>a</sup>	2.74±0.58 <sup>a</sup>	3.85±0.74 <sup>b</sup>	3.36±0.76 <sup>a,b</sup>
pH	8.23±0.09 <sup>a</sup>	7.50±0.33 <sup>b</sup>	8.01±0.07 <sup>a</sup>	7.98±0.18 <sup>a</sup>	7.80±0.10	7.51±0.46	7.71±0.20	7.73±0.27
Short chain fatty acids(mg/cecum/rat)								
Acetic acid	2.61±0.57	3.80±1.10	3.32±1.25	2.55±0.88	5.05±2.71	6.14±1.21	7.54±1.68	6.09±1.35
Propionic acid	0.91±0.15 <sup>a</sup>	1.24±0.30 <sup>a</sup>	2.32±0.65 <sup>a,b</sup>	1.38±0.43 <sup>a</sup>	1.68±1.05 <sup>a</sup>	2.07±0.66 <sup>a</sup>	3.94±0.92 <sup>b</sup>	2.54±0.71 <sup>a</sup>
Butyric acid	0.85±0.15 <sup>a</sup>	1.76±0.75 <sup>b</sup>	1.34±0.36 <sup>a,b</sup>	1.26±0.36 <sup>a,b</sup>	1.57±0.68	2.09±0.94	2.47±0.69	2.42±0.71
Total VFA	4.37±0.68	6.81±1.91	6.98±2.09	5.19±1.63	8.30±4.33 <sup>a</sup>	10.29±2.45 <sup>a,b</sup>	13.95±3.09 <sup>b</sup>	11.10±2.61 <sup>a,b</sup>

  

	Exp. 3		Exp. 4			
	Control	XO·GM·GL	Control	5%XO	5%GM	5%GL
Weight(g)	3.08±0.06 <sup>a</sup>	4.63±0.59 <sup>b</sup>	3.59±0.36 <sup>a</sup>	7.35±0.45 <sup>c</sup>	6.02±0.69 <sup>b</sup>	5.65±1.03 <sup>b</sup>
Cecum wall(g)	0.95±0.08	0.97±0.16	0.95±0.28 <sup>a</sup>	1.39±0.30 <sup>b</sup>	1.38±0.14 <sup>b</sup>	1.28±0.16 <sup>b</sup>
Weight of contents in the cecum(g)	2.13±0.10 <sup>a</sup>	3.65±0.51 <sup>b</sup>	2.64±0.36 <sup>a</sup>	5.96±0.37 <sup>c</sup>	4.64±0.70 <sup>b</sup>	4.37±0.99 <sup>b</sup>
pH	8.08±0.30	7.71±0.66	8.14±0.14 <sup>c</sup>	6.78±0.37 <sup>a</sup>	7.37±0.54 <sup>b</sup>	7.84±0.31 <sup>b,c</sup>
Short chain fatty acids(mg/cecum/rat)						
Acetic acid	2.78±0.52 <sup>a</sup>	5.72±1.77 <sup>b</sup>	3.97±0.89 <sup>a</sup>	9.28±1.75 <sup>b</sup>	11.13±3.57 <sup>b</sup>	6.23±0.89 <sup>a</sup>
Propionic acid	0.95±0.35 <sup>a</sup>	3.46±0.85 <sup>b</sup>	1.57±0.28 <sup>a</sup>	3.85±0.92 <sup>b</sup>	6.00±1.69 <sup>c</sup>	3.39±1.14 <sup>b</sup>
Butyric acid	1.03±0.32 <sup>a</sup>	2.29±0.84 <sup>b</sup>	1.41±0.13 <sup>a</sup>	3.56±1.25 <sup>b</sup>	3.44±1.06 <sup>b</sup>	3.13±0.76 <sup>b</sup>
Total VFA	4.76±0.89 <sup>a</sup>	11.47±3.32 <sup>b</sup>	6.96±1.19 <sup>a</sup>	16.69±2.42 <sup>b,c</sup>	20.57±5.87 <sup>c</sup>	12.75±2.35 <sup>b</sup>

Values are means±SD(n=6). Values with unlike letters are significantly different: P<0.05.

L-Ca : Calcium L-lactate, XO : Xylooligosaccharide, GM : Galactomannan, GL : Glucono- $\delta$ -lactone

盲腸重量および盲腸内容物は、XO・GM・GL添加により著しく増大した。盲腸内 pH に差はみられなかった。揮発性脂肪酸量では酢酸、プロピオン酸、酪酸のいずれも XO・GM・GL 添加により著しく増加した。

#### 実験 4

標準食、5%XO、5%GM、5%GL のいずれかの飼料を加えた、合計 4 飼料により 20 日間飼育した。4 群とも順調に成長し、体重、食摂取量、食効率とも差はなかった。

出納実験では、前期では、5%XO 食群は、他の群と比較して糞中 Ca 排泄量が低値を、尿中 Ca 排泄量が高値を示した。結果的に 5%XO 食群による

Ca 吸収率は他の群と比較して有意に高値を示し、体内保留率は 5%XO 食群、5%GM 食群、5%GL 食群では差はみられなかったが、標準食群と比較して有意に高値を示した。また、5%GM 食群、5%GL 食群は標準食群と比較して有意な差はみられなかったが、尿中 Ca 排泄量が高く、吸収率および体内保留率は増加傾向を示した。後期では、5%XO 食群は前期と同様の傾向を示したが、吸収率、体内保留率は標準食群と差はみられなかった。また、5%GM 食群および 5%GL 食群の尿中 Ca 排泄量は前期と同様に高い傾向を示したが、糞中 Ca 排泄量が増加傾向を示し、吸収率、体内保留率は標準食群、5%XO 食群よりも低値傾向を示した。

摘出した大腿骨の重量、骨長には4群間に差は見られなかった。Ca含量は5% XO食群、5% GM食群、5% GL食群の3群間において差はみられないが、標準食群と比較して5% XO食群、5% GL食群は若干高い傾向を示し、5% GM食群は有意に高値を示した。

盲腸重量は、標準食群と比較して、5% XO食群、5% GM食群、5% GL食群いずれにおいても著しく増大した盲腸が観察された。特に5% XO食群では標準食群の2倍を示した。それに伴い、盲腸壁および盲腸内容物も増大した。盲腸内pHは5% XO食群において著しく低下し、5% GM食群より低下傾向を示した。揮発性脂肪酸量では、標準食群と比較して5% XO食群および5% GM食群により、酢酸、プロピオン酸、酪酸が増加し、プロピオン酸は5% GM食群で著しく増加した。5% GL食群では、プロピオン酸および酪酸が増加した。総揮発性脂肪酸量は、5% XO、5% GM、5% GL食群のいずれにおいても増加したが、5% GM食群において最も高く、標準食群の3倍量を観察した。

## 考 察

糖質のCa吸収促進効果は、糖の難消化性の性質によるものであり、小腸で加水分解されない糖の結果として起こる。そして糖種は勿論のこと、その添加量も重要な要因になることが知られている。乳糖では10%では効果が見られず<sup>3,7)</sup>、12%以上の濃度を与えた時<sup>14)</sup>にCa吸収促進効果がみられた。ラクチュロースでは5%よりも10%の濃度を与えた時に強く<sup>5)</sup>、ガラクトオリゴ糖でのCa吸収促進効果は5%では少ない<sup>8)</sup>という報告もある。一方、最近では、胃切除したラットのCa吸収促進に乳酸摂取が有効であることを示している<sup>15)</sup>。これは乳酸による腸内の酸性化が餌中の不溶性Ca塩を溶解させることにあるとする。糖種、その添加量さらに飼料構成が腸内環境に影響を及ぼしミネラルの吸収を促進する。

Ca吸収効果については、XO(1.2%)、GM(1.0%)、GL(0.7%)添加では効果はみられないが、標準飼料にXOを添加したものにさらにGMおよびGLを加えた場合でも同様であったが、XOにGLを添加することによりXO食と比較して有意に吸収率を高めた。さらに、標準飼料にXO、GM、GLを加えるとCa吸収率は著しく増加した。単独5%添加では5% XO食のみに吸収促

進効果が認められた。XOは糞中Ca排泄量を低下させ、尿中Ca排泄量を増加させ、腸管からのCa吸収を促進しCaの吸収を高めた。XO・GM・GL食群により、5% XO食によるCa吸収と同様の吸収増加が観察されたが、XO・GM・GL添加では、糞中Ca排泄量は著しく低下したが、尿中Ca排泄量には差がみられなかった。ここで観察されたCa吸収促進効果は、XOが5%のときCa促進効果がみられるが1.2%では十分な効果はなく、XO以外の物質には、いずれの場合もCa吸収促進効果が認められなかった、これらのことからXOのような潜在的にCa吸収促進効果を持つものに、GM、GLのようなCa吸収促進の効果を持たない物質が加わることによりCa吸収促進効果が現れた。理由については明らかではないが、Ca吸収促進効果を持つ糖質を持たない糖質が加わることにより有効下限値を下げているように考えられる。

Ca吸収率の増加は骨形成に反映されることが知られている。XO・GM・GL添加食により大腿骨Ca量は著しく上昇した。単独投与、およびXO・GM食またはXO・GL食においては骨に有意な影響を示さなかったが、5% GM食では有意に増加し、5% XO食、5% GL食においても増加傾向を示していることから、これらの糖がCa吸収促進とは関わりなく骨Ca量に影響をすることも考えられた。

小腸で消化されなかった糖は大腸に達し、腸内細菌叢の変化をもたらし、種々の生理的效果を示すことが知られている。XOは他のオリゴ糖に比べ少量でビフィズス菌増殖作用を示し、それにより生じた有機酸がCa可溶化の促進あるいはCaの受動輸送に関与している可能性も報告されている<sup>11,12)</sup>。盲腸重量および内容物量はXO・GM・GL添加により増加した。1.2% XO食、1.0% GM食では単独でも盲腸重量に影響を示したが、GLでは0.7%では影響を示さなかった。5%添加ではいずれの飼料食でも著しく増大し、これはいずれの物質も一部あるいは大部分が盲腸まで達していることを物語っている。

XO、GM、GLそれぞれはそれぞれ特有の生理効果を持つことが明らかとなった。中でもXOの持つCa吸収促進効果が、それが効果を示さない量でも腸内細菌に影響を与えるもの、Ca溶解性に影響を与えるものの共存で、効果を示すようになることが明らかとなった。

## 要 約

標準飼料に XO (1.2%) , GM (1.0%) , GL (0.7%) を加えることによる Ca 吸収促進効果を検討した。単独投与では吸収率に差は見られなかった。標準飼料に XO を添加したものにさらに GM または GL を加えた飼料食でも有意な差はみられなかったが、さらに、標準飼料に XO・GM・GL を加えると、Ca 吸収率は著しく増加した。XO・GM・GL 添加により大腿骨 Ca 量も著しく上昇した。盲腸分析による結果では、添加する糖の種類と量が揮発性脂肪酸量の産生、さらに盲腸内 pH に影響を及ぼした。標準飼料に XO・GM・GL を添加することにより、盲腸内 pH は変わらないものの揮発性脂肪酸量に影響を及ぼし、Ca 吸収に影響を与えた。

XO, GM, GL それぞれはそれぞれ特有の生理効果を持つことが明らかとなった。中でも XO の持つ Ca 吸収促進効果が、それが効果を示さない量でも腸内細菌に影響を与えるもの、Ca 溶解性に影響を与えるものの共存で、効果を示すようになることが明らかとなった。

## 文 献

- 1) Wasserman, R.H., Comar, C.L. and Nold, M.M., *J. Nutr.*, **59**, 371-383 (1956)
- 2) Armbrrecht, H.J., Wasserman, R.H., *J. Nutr.*, **106**, 1265-1271 (1976)
- 3) Goda, T., Yamada, M., Takase, S. and Hosoya, N., *Nutr. Sci. Vitaminol.*, **38**, 277-286 (1992)
- 4) 岸 和廣, 合田敏尚, 高橋幸子, 消化吸収学会誌, **19**, 81-85 (1996)
- 5) Brommage, R., Binacua, C., Antille, S. and Carrie, A., *J. Nutr.*, **123**, 2186-2194 (1993)
- 6) Heijnen, A.M.P., Brink, E.J., Lemmens, A.G. and Beynen, A.C., *Br. J. Nutr.*, **70**, 747-756 (1993)
- 7) Chonan, O. and Watanuki, M., *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **41**, 95-104 (1995)
- 8) 太田篤胤, 越坂部奈緒美, 山田和彦, 斎藤安弘, 日高秀昌, 日本栄養・食糧学会誌, **46**, 123-129 (1993)
- 9) 内藤 博, 栄食誌, **39**, 433-439 (1986)
- 10) Haney, R.P., Smith, K.T., Recker, R.R. and Henders, S.M. *Am. J. Clin. Nutr.*, **49**, 372-376 (1989)
- 11) 岡崎昌子, 藤川茂昭, 松元信也, 日本栄養・食糧学会誌, **43**, 395-401 (1990)
- 12) 豊田佳子, 梅山妙子, 畑中 豊, 諏訪芳秀, 第 48 回日本栄養・食糧学会要旨集 p. 195
- 13) 小原哲二郎, 鈴木隆雄, 岩尾裕之, 食品分析ハンドブック, p.281-283, 建帛社, 東京 (1982)
- 14) Evans, J.L and Ali, R., *J. Nutr.*, **92**, 417-424 (1967)
- 15) Chonan, O., Takahashi, R., Yasui, H. and Watanuki, M., *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **44**, 869-875 (1998)