ラットのミネラル吸収に及ぼすガラクトオリゴ糖 およびフルクトオリゴ糖の影響

志 村 進*, 佐 伯 洋 二*, 伊 東 禧 男*
鈴 木 和 春**, 五 島 孜 郎**

* 株式会社ロッテ中央研究所

** 東京農業大学栄養学科

Effects of Galactooligosaccharides and Fructooligosaccharides on Mineral Utilization in Rats

Susumu SHIMURA,* Yoji SAEKI,* Yoshio ITO,*

Kazuharu SUZUKI** and Shiro GOTO**

* Central Laboratory, Lotte Co., Ltd., Urawa 336

** Department of Nutrition, Faculty of Agriculture,
Tokyo University of Agriculture, Setagaya-ku, Tokyo 156

Nippon Eiyō Shokuryō Gakkaishi (*J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.*) 44, 287~291 (1991)

The effects of oligosaccharides and lactose on utilization of calcium, magnesium, phosphorus and iron were examined in weanling male Wistar rats. The rats were fed a casein-based diet supplemented with galactooligosaccharides (GO), fructooligosaccharides (FO), lactose (LO) or corn starch (control) for 30 or 180 days. Rats fed the LO or FO diet for 30 days absorbed calcium more efficiently than those on the control diet, and showed higher retention of calcium. Rats fed the LO, GO or FO diet for 30 or 180 days absorbed magnesium efficiently. For phosphorus, only rats fed the FO diet showed higher retention during 30 days of feeding. For iron, rats fed the GO diet for 30 days showed less absorption than those on the control diet. Rats fed GO or FO showed a lower pH value of the cecum content during 30 days of feeding, but a slightly higher pH than rats fed the control diet for 180 days.

Key Words galactooligosaccharide, fructooligosaccharide, mineral absorption.

(Received April 23, 1990)

糖類のミネラル吸収に及ぼす影響については広く研究されており、乳糖がカルシウム（以下 Ca）の吸収を促進すること^{1)~4)}はよく知られている。一方、乳糖の誘導体であるラクチュロースにも Ca 吸収を高める効果が認められており⁵⁾、また糖アルコールであるソルビトールがアルカリ土類金属の吸収を高めることも認められている⁵⁾⁶⁾。

これら、食品に広く使用されてきている糖類に加え、最近ではシロ糖や乳糖などより、種々の生理作用を有する新しい糖類が製造されている。その一つであるガラクトオリゴ糖は乳糖のガラクトース残基に、ガラクトースが β -1, 6 結合を主体に 1~3 分子結合したオリゴ糖であ

り、腸内有用菌であるビフィズス菌の増殖促進因子であることが知られている⁷⁾。また β -1, 4 結合のみのガラクトオリゴ糖も製造され⁸⁾、同様の生理作用が認められている⁹⁾。またフルクトオリゴ糖はシロ糖のフルクトース残基にフルクトースが α -1, 2 結合で 1~3 分子結合したものであり¹⁰⁾、ビフィズス菌増殖促進作用¹¹⁾などが報告されている。

ところでこれらのオリゴ糖はすでに多くの食品に応用されているが、ミネラル吸収に対する影響についての報告はほとんどなされていない。そこでラットを用い、ガラクトオリゴ糖およびフルクトオリゴ糖の 1 か月間投与、ならびに 6 か月間投与の長期投与でのミネラル吸収に対する変化を乳糖と比較検討した。

* 〒336 浦和市沼影 3-1-1

** 〒156 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

実験方法

1. ガラクトオリゴ糖およびフルクトオリゴ糖の調製

ガラクトオリゴ糖は Nakanishi ら¹²⁾の方法を参考に、乳糖溶液に *Bacillus circulans* 由来の β -ガラクトシダーゼ (大和化成(株)製) を作用させ、ガラクトオリゴ糖を含む溶液を調製し、活性炭による脱色、イオン交換による脱塩を行った。生成した三糖以上のオリゴ糖は乳糖のガラクトース残基にガラクトースが 1~3 分子結合したものであるが、結合様式はいまのところ不明である。本溶液の糖組成はグルコース 20%, ガラクトース 2%, 乳糖 35%, 他の二糖 7%, 三糖 23%, 四糖 10%, 五糖 3% である。この溶液に乾燥補助剤としてデキストリン (参松工業(株)製 BLD (分子量 10,000 付近の分岐の多いデキストリンを主成分とする)) を固形分当り 33% になるように加え、噴霧乾燥した。

フルクトオリゴ糖は市販のネオシュガー G を使用し、ガラクトオリゴ糖と同様に噴霧乾燥して用いた。なおネオシュガー G の糖組成は単糖 (おもにグルコース) 36~38%, ショ糖 10~12%, 三糖 21~28%, 四糖 21~24%, 五糖 3~6% である。

2. 実験動物

被験動物として初体重 47 g 前後の Wistar 系雄ラットを用い、乳糖 (LO), ガラクトオリゴ糖 (GO), フルクトオリゴ糖 (FO), および対照 (C) の 4 群に分け、1 群 6~8 匹とした。各群のラットは 1 匹飼いにて、Table 1 に示す飼料を用い 30 日間および 180 日間飼育した (以下、それぞれ短期試験、長期試験とする)。なお飼料中の乳糖の含量については、Ca 吸収に影響を及ぼす最少量である 12% とした¹⁾。オリゴ糖については 15.4% とした。このなかには乾燥補助剤として添加したデキストリンが含まれており、これを除いた単糖類等も含むオリゴ糖混合物としては 10% の添加量である。またオリゴ糖投与群以外の群に対しては、デキストリン含量が同じになるようにおのおのデキストリン (BLD) を 5.4% 添加した。

飼育室は湿度 65%, 室温 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ に保持し、飲料水は蒸留水を用い、飼料および飲料水は自由摂取とした。飼料摂取量はおのおののラットについて全実験期間にわたり測定した。

3. 出納試験およびミネラルの定量

実験終了前、5 日間にわたり出納試験を行い、糞尿は出納期間中毎日分離採取した。飼料ならびに糞尿の Ca, Mg, Fe は原子吸光で定量し、P は Gomori 法¹³⁾により測定した。

4. 統計処理法

データの統計処理は分散分析後、Duncan の多重比較

Table 1. Composition of experimental diet (%).

	C	LO	GO	FO
Casein	18	18	18	18
Oil corn	5	5	5	5
Mineral mix.* ¹	4	4	4	4
Vitamin mix.* ²	1	1	1	1
Corn starch	66.6	54.6	56.6	56.6
Lactose	—	12	—	—
Galactooligo* ³	—	—	15.4	—
Fructooligo* ⁴	—	—	—	15.4
Dextrin	5.4	5.4	—	—

C, control; LO, lactose; GO, galactooligosaccharide mix.; FO, fructooligosaccharide mix. (Neosugar G). *¹ According to Harper, A.E.: *J. Nutr.*, 68, 408 (1959). *² Takeda Panvitan® powder. *^{3,4} Details given in Experimentals.

検定法¹⁴⁾により行った。

結 果

1. 体重変化と飼料摂取量

体重増加量と飼料摂取量を Table 2 に示した。

30 日間の短期試験における体重増加量については FO 群が C 群, LO 群に比べ、低値を示したほかは、有意な差は認められなかった。また 180 日間の長期試験においてはいずれの群にも有意差は認められなかった。

なお飼育初期のみに、FO 群, GO 群で軟便ないしは下痢の現象が認められたが、出納試験に入るまでにはいずれも回復した。なおこの傾向は FO 群のほうが強くみられた。

2. ミネラル出納への影響

Table 3 に Ca, Mg, P 出納への影響を示した。

Ca については短期試験において LO 群, FO 群が高い吸収率ならびに体内保留 ($p < 0.05$) を示した。GO 群は C 群と同程度の吸収率であった。一方、長期試験では LO 群, GO 群が高い吸収率を示したが、統計的有意差は認められなかった。

Mg については、短期試験ならびに長期試験とも、LO, GO, FO 群が C 群より高い吸収率を示し、とくに FO 群は最も高い値を示した。体内保留については短期試験では有意差は認められなかったが、長期試験ではこれらの 3 群は C 群より有意に高い値を示した。

P については、短期試験で、FO 群が体内保留の有意な増加を示したが、これ以外には吸収率ならびに体内保留の有意な差は認められなかった。

Table 4 に Fe 出納への影響を示した。

Table 2. Total body weight gain and total food intake of rats fed the experimental diets for 30 days or 180 days.

Group*	Body weight gain (g)		Food intake (g)	
	30 days	180 days	30 days	180 days
C (n=7)	178.4±3.9 ^{a**}	347.9±4.6	442.1±5.6 ^a	2623.1±26.1
LO	185.5±2.0 ^a	372.9±7.9	448.9±5.1 ^a	2675.5±31.4
GO	173.6±4.6 ^{ab}	351.8±9.9	413.3±12.8 ^b	2584.8±38.4
FO	164.3±3.6 ^b	362.5±7.3	404.1±8.9 ^b	2686.7±24.9

* n=8 (or 7), ** Mean (8 (or 7))±SE. Means not sharing a common superscript latter are significantly different ($p<0.05$).

Table 3. Effect of lactose, galactooligosaccharides and fructooligosaccharides on retention of calcium, magnesium and phosphorus.

	Administration days	Group*	Intake (mg/5 days)	Absorption (%)	Urinary excretion (%)	Retention** (%)
Ca	30	C	365.6±5.5 ^{***}	56.8±3.4 ^a	0.6±0.1	56.2±3.4 ^a
		LO	359.9±5.9	67.1±1.8 ^b	0.8±0.2	66.3±1.8 ^b
		GO	358.9±17.1	55.6±3.2 ^a	0.8±0.1	54.8±3.5 ^a
		FO	352.2±14.1	68.7±4.1 ^b	0.7±0.1	68.1±4.0 ^b
	180	C	390.5±6.5	17.3±3.0	0.5±0.1 ^a	16.8±3.0
		LO	412.1±11.7	22.6±2.4	0.7±0.1 ^b	21.8±2.4
		GO	420.4±6.4	24.4±2.6	0.5±0.0 ^a	23.8±2.6
		FO	404.2±15.1	15.6±2.6	0.8±0.1 ^b	14.8±2.6
Mg	30	C	34.7±0.5	76.7±1.5 ^c	16.1±3.1	60.7±4.2
		LO	34.2±0.7	85.7±0.7 ^{ab}	18.4±5.2	67.3±5.1
		GO	33.4±1.6	84.6±1.4 ^b	15.3±3.8	69.3±4.2
		FO (n=5)	32.9±1.6	89.2±1.6 ^a	19.0±3.9	70.2±4.7
	180	C	32.4±0.5	28.1±3.3 ^c	21.6±2.4 ^b	6.5±3.0 ^b
		LO	35.2±1.0	54.0±1.9 ^b	20.7±2.3 ^b	33.2±3.0 ^a
		GO	35.5±0.5	60.0±1.8 ^b	32.2±3.5 ^b	27.8±4.2 ^a
		FO	33.8±1.3	73.9±2.4 ^a	52.4±5.3 ^a	21.5±4.9 ^a
P	30	C	386.9±5.9	79.2±1.3	37.4±1.3 ^a	41.9±2.4 ^b
		LO	392.1±6.4	83.6±0.9	37.5±1.0 ^a	46.1±1.1 ^b
		GO	375.1±17.9	77.4±1.8	34.7±1.1 ^a	42.6±2.3 ^b
		FO	375.7±15.1	82.7±2.3	29.6±1.0 ^b	53.2±2.9 ^a
	180	C	319.1±5.3	52.2±2.4	35.7±1.0	16.5±3.1
		LO	342.2±9.8	56.6±1.4	32.3±2.2	24.4±2.3
		GO	349.9±5.3	55.4±1.5	33.5±1.2	21.9±2.2
		FO	336.6±12.6	54.4±1.5	35.2±1.4	19.2±1.6

* n=6 (or 5). ** Retention={ (Intake-Faecal output-Urinary output)/Intake}×100 (for each rat).

*** Mean (6 (or 5) rats)±SE. Means not sharing a common superscript letter are significantly different ($p<0.05$).

Table 4. Effect of lactose, galactooligosaccharides and fructooligosaccharides on retention of iron.

	Administration days	Group*	Intake ($\mu\text{g}/5$ days)	Absorption (%)	Urinary excretion (%)	Retention (%)
Fe	30	C	5391.5 $\pm$ 81.5 ^{ab**}	40.1 $\pm$ 3.6 ^a	3.6 $\pm$ 0.2	36.6 $\pm$ 3.6 ^a
		LO	5727.0 $\pm$ 93.1 ^a	37.2 $\pm$ 1.9 ^a	3.5 $\pm$ 0.2	33.6 $\pm$ 2.0 ^a
		GO ($n=5$)	4726.3 $\pm$ 189.8 ^c	15.6 $\pm$ 7.6 ^b	4.7 $\pm$ 0.8	11.0 $\pm$ 8.0 ^b
		FO	5039.9 $\pm$ 201.9 ^{bc}	24.7 $\pm$ 7.0 ^{ab}	3.9 $\pm$ 0.5	20.8 $\pm$ 6.7 ^{ab}
	180	C	4990.0 $\pm$ 82.9	7.2 $\pm$ 4.0	6.0 $\pm$ 0.8	1.1 $\pm$ 4.8
		LO	5047.5 $\pm$ 143.8	14.8 $\pm$ 4.6	5.2 $\pm$ 0.6	9.6 $\pm$ 4.5
		GO	5127.5 $\pm$ 78.1	16.2 $\pm$ 2.4	4.1 $\pm$ 0.4	12.1 $\pm$ 2.6
		FO	4859.5 $\pm$ 181.9	5.9 $\pm$ 2.9	4.6 $\pm$ 0.5	1.2 $\pm$ 3.0

* $n=6$ (or 5). ** Mean (6 (or 5) rats) $\pm$ SE. Means not sharing a common superscript letter are significantly different ($p<0.05$).

Table 5. Effects of lactose, galactooligosaccharides and fructooligosaccharides on pH and weight of content of cecum.

Group	Administration periods			
	30 (days)		180 (days)	
	pH	Content weight (g)	pH	Content weight (g)
C	8.2 $\pm$ 0.0 ^{b*}	1.3 $\pm$ 0.1 ^c	8.5 $\pm$ 0.0 ^c	1.5 $\pm$ 0.1 ^c
LO	8.4 $\pm$ 0.1 ^a	1.8 $\pm$ 0.1 ^b	8.8 $\pm$ 0.0 ^a	2.2 $\pm$ 0.2 ^b
GO	6.8 $\pm$ 0.1 ^d	2.8 $\pm$ 0.4 ^a	8.7 $\pm$ 0.0 ^b	2.8 $\pm$ 0.3 ^{ab}
FO	7.2 $\pm$ 0.1 ^c	3.1 $\pm$ 0.1 ^a	8.8 $\pm$ 0.0 ^a	3.4 $\pm$ 0.3 ^a

* Mean (6~8 rats) $\pm$ SE. Means not sharing a common superscript letter are significantly different ($p<0.05$).

Fe については、短期試験で、GO 群は C 群、LO 群に比べ、吸収率ならびに体内保留の低下を示した。また FO 群においても、統計的有意差は認められないものの、低値傾向を示した。一方、長期試験においては、吸収率ならびに体内保留とも LO 群、GO 群が高値傾向であったが、統計的有意差は認められなかった。

3. 盲腸内容物重量および pH に及ぼす影響

Table 5 に示すように、短期試験では盲腸内容物重量は C 群より LO 群のほうが大きく、また GO 群、FO 群は LO 群よりもさらに大きかった。これは長期試験においても類似の傾向であった。

盲腸内容物の pH については、短期試験では GO 群、FO 群が C 群より低く、GO 群が最も低い pH であった。一方、長期試験では、いずれの群も C 群より高い pH を示した。

考 察

腸管からのミネラル吸収に及ぼす乳糖の影響について

は、初体重 75 g 前後の被験動物の 46 日間飼育で、Ca、Mg の吸収ならびに体内保留の増加、さらに P についても増加傾向の認められたことを観察している³⁾。今回の離乳直後のラットを用いて 30 日間飼育した結果もこれと同様であった。また長期間の飼育でも Mg の有意な吸収増加と Ca、P、Fe 吸収の増加傾向が認められ、加齢が伴ってもこれらのミネラル吸収に乳糖が好結果をもたらす傾向のあることが認められた。

ガラクトオリゴ糖 (GO 群) についても、長期試験で Ca の吸収ならびに体内保留の増加傾向が認められ、Mg についても乳糖と同様の吸収増加がみられた。

フルクトオリゴ糖 (FO 群) については、短期試験で Ca の有意な吸収増加が認められ、ガラクトオリゴ糖とは異なった様相を示した。なお飼料投与初期に GO 群よりも強い下痢の現象が認められたが、これは試料に用いたフルクトオリゴ糖中に含まれる難消化性の糖が約 50% であり、ガラクトオリゴ糖の 36% に比べて難消化性の糖の含量が高いためと考えられる。

上記のようにこれらのオリゴ糖は難消化性であり、GO 群、FO 群での盲腸内容物の増加はそのためと考えられる。またこれらの糖はビフィズス菌の増殖因子として知られ、短期試験での盲腸内容物の pH の低下はその効果によるものと考えられる。腸管内 pH が酸性に傾いているほうがミネラル吸収を容易にすることは知られており、FO 群における Ca 吸収の増加はこのような腸管内の pH の低下に由来することが考えられる。しかし低い pH を示した GO 群で Ca 吸収の増加が認められず、この糖質による差異の説明については今後の検討を要すると考えている。

また腸管からの Ca 吸収が加齢に伴い低下することや¹⁵⁾、体内保留の割合の低下¹⁶⁾が観察されており、本実験においても長期間の飼育で Ca のほかに Mg, P, Fe の吸収ならびに体内保留の低下が認められた。生体内の代謝機構が年齢とともに変化すること、またフルクトオリゴ糖の投与で、一度増加したビフィズス菌数が投与を2週間続けると元の菌数に戻るなど、腸内菌叢の適応現象も報告されている¹⁷⁾。このような生体側の適応、変化が本実験に示す結果をもたらしたものと考えるが、これらの点については今後の問題として検討を行っている。

要 約

ミネラル吸収に及ぼす乳糖 (LO)、ガラクトオリゴ糖 (GO)、フルクトオリゴ糖 (FO) の影響についてラットを用いて、30 日間 (短期間) と 180 日間 (長期間) の出納試験を行った。

Ca の吸収率には、LO 群、FO 群が短期試験で高値を示し、GO 群は長期試験で高値傾向を示した。Mg の吸収率にはいずれの群とも対照群より高い値を示し、この傾向は長期試験でさらに著しかった。P については FO 群が短期試験で高い体内保留を示した他は明瞭な差は認められなかった。Fe の吸収率は短期試験では GO 群、

FO 群が低値、ならびに低値傾向を示し、長期試験では LO 群、GO 群が高値傾向を示した。

盲腸内容物の pH は短期試験では GO 群、FO 群が対照に比べ明らかに低い値を示したが、長期試験では逆に若干高い値を示した。

文 献

- 1) Wasserman, R.H., Comar, C.L. and Nold, M.M. : *J. Nutr.*, 59, 371 (1956)
- 2) Forbes, R.M. : *J. Nutr.*, 74, 194 (1964)
- 3) 五島孜郎, 関 博磨 : 栄養と食糧, 17, 188 (1964)
- 4) 五島孜郎, 関 博磨 : 栄養と食糧, 17, 192 (1964)
- 5) 鈴木和春, 遠藤幸江, 上原万里子, 山田英明, 五島孜郎, 今村美喜郎, 塩津 晋 : 栄食誌, 38, 39 (1985)
- 6) Wasserman, R.H. and Comar, C.L. : *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 101, 314 (1959)
- 7) 務台方彦, 寺島徑男, 高橋徳太郎, 田中隆一郎, 黒田彰夫, 上山貞夫, 松本圭介 : 特許公告 昭 58-20266 (1983)
- 8) 小沢 修, 大塚耕太郎, 内田隆次 : 日食工誌, 36, 898 (1989)
- 9) 大塚耕太郎, 辨野義己, 遠藤希三子, 上田弘嗣, 小沢 修, 内田隆次, 光岡知足 : ビフィズス, 22, 143 (1989)
- 10) 日高秀昌 : ネオシュガー研究会報告書, 5 (1982), ネオシュガー研究会 (東京)
- 11) 光岡知足, 原 哲郎 : ネオシュガー研究会報告書, 87 (1982), ネオシュガー研究会 (東京)
- 12) Mozaffar, Z., Nakanishi, K., Matsuno, R. and Kamikubo, T. : *Agric. Biol. Chem.*, 48, 3053 (1984)
- 13) Gomori, G. : *J. Lab. Clin. Med.*, 27, 955 (1942)
- 14) Duncan, D.B. : *Biometrics*, 11, 1 (1955)
- 15) Hansard, S.L. and Croder, H.M. : *J. Nutr.*, 62, 325 (1957)
- 16) Benson, J.D., Emery, R.S. and Thomas, J.W. : *J. Nutr.*, 97, 53 (1969)
- 17) 吉原一郎 : 第2回ネオシュガー研究会報告書, 97 (1985), ネオシュガー研究会 (東京)

(1990 年 4 月 23 日受理)