

종류가 다른 고 섬유질식이가 흰쥐의 납 흡수 및 체내대사에 미치는 영향*

김 미 경 · 이 혜 영

이화여자대학교 식품영양학과

Effect of High Dietary Fiber Diet on Lead Absorption and Metabolic Changes in Growing Rats

Kim, Mi Kyung · Lee, Hye Young

Department of Foods & Nutrition, Ewha Womans University

ABSTRACT

This study was performed to investigate nutritional effect of various dietary fibers on lead absorption, and protein and lipid metabolisms in growing rats.

Sixty male rats of Sprague-Dawley strain weighing $140 \pm 1.1g$ were blocked into 10 groups according to body weight and fed 10 kinds of diet different with fiber sources [non-fiber, cellulose, pectin, guar gum or carboxymethylcellulose(CMC)]and lead levels (0 or 1%) for 4 weeks.

Results were summarized as follows :

1) Food intake, weight gain, FER and PER were remarkably decreased in lead(Pb)-added groups. Weight gain, FER and PER in Pb-added pectin group were significantly lower than those in Pb-added non-fiber group.

2) Liver and kidney weights, femur weight and length, hematocrit and hemoglobin content were decreased in Pb-added groups. Especially femur and liver weights in pectin groups were the lowest among groups.

3) Total protein content in serum was significantly decreased in Pb-added groups but was not different with dietary fiber sources. Total lipid content in serum was not different with dietary Pb levels and fiber sources, but cholesterol content in serum of guar gum group was significantly decreased by Pb addition.

4) Nitrogen, lipid and cholesterol contents in liver were significantly decreased in Pb-added groups, and lipid content in liver of pectin and CMC groups was lower than other groups.

5) Daily urinary and fecal excretions of nitrogen, lipid and cholesterol were decreased

*본 연구는 1989년도 이화여자대학교 교수연구기금에 의하여 이루어졌음.
접수일자 : 1990년 10월 22일

in Pb-added groups, and fecal nitrogen was significantly increased in Pb-added groups, and fecal nitrogen of cellulose and guar gum groups was significantly higher than other groups. Fecal excretions of lipid and cholesterol were increased by dietary fibers, and especially fecal lipid was remarkably increased in pectin and guar gum groups.

6) Pb contents in liver and femur were decreased by dietary fibers. Especially Pb contents in liver, kidney and femur were significantly decreased in guar gum group.

7) Daily urinary and fecal excretions of Pb were significantly increased in cellulose and guar gum groups, and fecal excretion of Pb in guar gum group was twice of non-fiber group. Pb absorption ratio was significantly decreased in guar gum group.

In conclusion, dietary fibers have effect on protein and lipid metabolisms, and decreased intestinal absorption of Pb by increasing fecal excretion. But the degree of effect was different with dietary fiber sources.

KEY WORDS : dietary fiber · lead absorption.

서 론

식이 섬유질의 생리적 효과에 관한 연구는 오래전 부터 진행되어 왔고 대장암, 게실염, 당뇨병, 심장질환등의 예방과 관련이 있는 것으로 관심의 대상이 되어왔다^{1~4)}. 식이 섬유질은 장내에서 분 비되는 소화효소에 의해 분해되지 않는 polysaccharides와 lignin을 통칭⁵⁾하며 생리적 효과는 식이 섬유질의 구조 및 물리적 성질에 따라 다르게 나타난다⁶⁾. 일반적으로 식이 섬유질은 수용성(guar gum, oat bran, pectin)과 불용성(cellulose, hemicellulose, wheat bran)으로 구분되며 guar gum이나 pectin같은 수용성 섬유질은 branched chain을 다 량 갖고 있어 linear polymer 형태인 cellulose에 비해 장내에서의 gel 형성능력, 수분 보유능력, 점성이 크며 변으로의 담즙산 배설을 증가시켜 혈중 콜레스테롤 농도를 낮추는 효과도 크다고 한다^{6~10)}. 또 단백질, 무기질의 소화율도 고 섬유질식이 공급시 낮아진다고 하며 이는 장내의 pH, 미생물, 섬유질의 양 및 저해인자의 존재여 부등에 따라 각기 다른 영향을 받는다고 한다¹¹⁾¹²⁾.

한편 식이 섬유질이 카드뮴(Cd)의 흡수 및 조직내 농도를 감소시켰다는 보고들이^{13~16)} 있으며,

고 섬유식이 섭취시 변으로의 질소 및 지방 손실이 증가되어 열량 효율이 2~4% 정도 감소되었다는 보고¹⁷⁾와 cellulose 공급시 변을 통한 칼슘, 철분, 아연등의 무기질 배설이 증가되어 negative mineral balance를 유발시켰다는 보고들이^{18~22)} 발표된 바 있다 최근 납을 비롯한 중금속 오염 문제가 날로 심각해지고 있으며 따라서 중금속 오염을 예방하거나 해독할 수 있는 영양학적 방법에 관한 연구의 필요성이 절실히 요청되고 있다. 본 연구실에서는 수년간 납과 카드뮴의 흡수억제 및 제독에 관한 영양소의 영향을 연구하여 왔다. 식이 무게의 5% 수준으로 cellulose와 pectin을 공급하고 식이의 1% 수준으로 납(Pb)을 투여한 본 연구실의 선행 연구²³⁾에서는 섬유질이 납의 흡수 및 조직내 농도에 뚜렷한 영향을 주지 않았으며, 식이 섬유질이 납의 흡수를 억제시켜 납 중독을 완화시킬 수 있는지는 아직 확실히 알려져 있지 않다.

따라서 이 연구에서는 식이내 섬유질 수준을 10%로 높이고 종류를 다양하게하여 고 식이 섬유질이 납의 흡수를 억제하고 그 영향이 섬유질의 종류에 따라 다른지를 알아보는 동시에 납과 고 섬유질 섭취에 의한 단백질 및 지방대사의 변화를 알아보고자 하였다.

Table 1. Classification of experimental animals

Exp. groups ¹⁾	Dietary fiber level(%) ²⁾	Pb addition level(%) ²⁾
N N	0	0
PbN	0	1
N C	cellulose, 10	0
PbC	cellulose, 10	1
N P	pectin, 10	0
PbP	pectin, 10	1
N G	guar gum, 10	0
PbG	guar gum, 10	1
N M	CMC, 10	0
PbM	CMC, 10	1

- 1) N N : None-Pb none-fiber standard diet group
 PbN : Pb-added none-fiber diet group
 N C : None-Pb cellulose diet group
 PbC : Pb-added cellulose diet group
 N P : None-Pb pectin diet group
 PbP : Pb-added pectin diet group
 N G : None-Pb guar gum diet group
 PbG : Pb-added guar gum diet group
 N M : None-Pb CMC diet group
 PbM : Pb-added CMC diet group

2) Percentage (w/w) of total diet

실험재료 및 방법

1. 실험동물의 사육 및 식이

평균체중이 140±1.1g인 Sprague-Dawley종 숫컷 흰쥐 60마리를 체중에 따라 난괴법에 의해 실험군당 6마리씩 10군으로 나누어 4주간 Table 1과 같은 내용으로 사육하였다.

실험동물은 한 마리씩 분리하여 stainless steel cage에서 사육하였고, 사육기간에 일어날 수 있는 무기질의 오염을 방지하기 위해 쥐장, 식이그릇, 물병등을 0.4% EDTA(Ethylene Diamine Tetraacetic Acid) 용액으로 세척한 후 탈이온 증류수로 헹구어 사용하였다.

2. 실험동물의 식이

본 실험에서 사용한 식이의 구성성분은 Table 2와 같다.

실험식이의 탄수화물 공급으로는 corn starch (두산곡산)을 사용하였고, cellulose, pectin, guar gum 및 CMC군의 경우 섬유질 공급량(10%) 만

Table 2. Composition of experimental diets

Exp. groups ingredients	(per kg diet)									
	N N	PbN	N C	PbC	N P	PbP	N G	PbG	M N	PbM
Corn starch,g	710	700	610	600	610	600	610	600	610	600
Cellulose,g	—	—	100	100	—	—	—	—	—	—
Pectin,g	—	—	—	—	100	100	—	—	—	—
Guar gum,g	—	—	—	—	—	—	100	100	—	—
CMC,g	—	—	—	—	—	—	—	—	100	100
Pb,g	—	10	—	10	—	10	—	10	—	10
Casein,g	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Corn oil,g	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Salt mix.,g*	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Vit.AD mix.,g*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vit.EK mix.,g*	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Water sol.vits*	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Vit. B ₁₂ , ml*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

*Added according to Chung * Kim. Korean J Nutr 15 : 258(1982)

큼을 corn starch양으로 부터 감하였다. 단백질 공급원은 casein(Port Curtis Dairy, Co)을, 지방은 corn oil(서울식품)을 사용하였으며 비타민과 무기질류를 첨가하였다. 납의 공급은 아세트산 납(lead acetate)을 이용하여 무게비로 1%(10,000 ppm) 수준으로 식이에 섞어 공급하였고, 물은 탈이온 증류수를 제한없이 먹게 하였다.

한편, 납의 흡수율을 측정하기 위해 실험종료 전 5일간 0.1g의 아세트산 납을 10ml 탈이온 증류수에 녹여 하루 한 번 일정한 시간에 0.2ml(2mg lead acetate)씩 tube feeding 방법으로 투여하였고 이 기간 중 마지막 3일간 노와 변을 채취하였다. 이 5일간의 식이에는 납을 첨가하지 않았으며, 납을 공급하지 않는 동물에게는 증류수 0.2ml을 tube feeding시켰다.

3. 실험방법

1) 식이 섭취량과 체중, 식이효율과 단백질 효율

식이 섭취량은 식이를 무제한 자유급식 시킨 후 매일 일정한 시간에 같은 저울로 측정하였으며, 식이 섭취로 인한 갑작스런 체중의 변화를 막기 위해 체중 측정 2시간 전에 식이그릇을 빼 주었다.

이상에서 측정된 식이 섭취량과 체중을 이용하여 일주일간의 체중 증가량을 같은 기간의 식이 섭취량 또는 단백질 섭취량으로 나누어 식이효율(FER)과 단백질 효율(PER)을 산출하였다.

2) 각종 장기, 혈액, 뇨, 변의 채취

혈액은 실험종료 전 12시간을 굶긴 동물을 ethyl-ether로 마취시킨 후 heart puncture방법으로 채취하였으며, whole blood를 얻기 위해 혈액의 일부를 heparin 처리된 시험관에 받아 냉동보관하였고, 나머지는 혈청을 얻기 위하여 시험관에 받아 2000rpm에서 30분간 원심분리하여 상등액을 분석전까지 냉동보관 하였다.

혈액채취 후 간과 신장을 떼어내어 무게를 측정된 뒤 냉동보관 하였고, 뼈는 오른쪽 뒷다리에서 대퇴골(Femur)과 경골(Tibia)을 떼어내어 길이와 무게를 측정된 뒤 냉동보관 하였다.

노와 변은 실험종료 전 3일간 stainless steel metabolic cage에서 채취하였고, 뇨는 증류수로 희석하여 7000rpm에서 10분간 원심분리한 후 상등액을 냉동보관 하였으며, 변은 젖은 상태로 냉동보관 하였다.

3) 시료의 분석

Hemoglobin은 혈액 채취 직 후 Sahli씨 혈색소계를 이용하여 hemometer로 측정하였다.

Hemoglobin을 혈액 채취 직 후 heparin이 처리된 모세관에 빨아올려 원심분리시킨 후 packed red cell volume의 백분율을 측정하였다.

혈청의 총 단백질 함량은 Lowry법²⁴⁾에 의해 분광 광도계(Spectronic, Bauch & Lomb)로 660nm에서 비색정량 하였고, 간, 변, 뇨의 질소함량은 micro-kjeldahl법으로 측정하였다.

혈청의 총 지방함량은 Frings²⁵⁾법에 의해 분광 광도계 540nm에서 비색정량 하였고, 간과 변의 총 지방함량은 Folch법²⁶⁾에 의해 측정하였다. 혈청의 총 콜레스테롤 함량은 Zak 법²⁷⁾에 의해 분광 광도계 560nm에서 비색정량 하였고, 간과 변의 총 콜레스테롤 함량은 Folch 법²⁶⁾으로 추출한 총 지방을 chloroform 용매에 녹여 Zak 법²⁷⁾을 이용해 비색정량 하였다.

혈액, 뇨의 Pb함량은 Zinterhofer 법²⁸⁾에 의해 원자흡광계(Atomic Absorption Spectrophotometer, Perkin-Elmer Model 2380) 283.3nm에서 측정하였다.

간, 신장, 뼈 및 변의 Pb함량은 시료를 110°C 건조기에서 건조시켜 분말화한 후, 600°C의 전기 회화로에서 12시간 회화시켜 농질산 일정량을 넣어 녹인 후 1N HCl로 희석시킨 다음 Yeager 법²⁹⁾에 의해 원자흡광계 283.3nm에서 측정하였다.

4. 통계처리

본 연구의 모든 실험결과는 실험군당 평균치와 표준오차를 계산하였고, $\alpha=0.05$ 수준에서 Duncan 법³⁰⁾에 의해 각 실험군 평균치 간의 유의성을 검정하였다.

각 실험인자(A : Pb공급 유무에 의한 영향 B :

고 섬유질식이와 납흡수

Table 3. Food intake, weight gain, FER and PER of rats fed on diets containing Pb and/or fiber

Groups	Food intake	Body weight gain	FER	PER
	g/day	g/4 Weeks		
N N	17.83±1.09 ^{1)cd2)}	125.29±2.85 de	0.25±0.01 c	1.66±0.08 c
PbN	11.85±0.31 a	23.60± 6.40 ab	0.07±0.02 b	0.48±0.14 b
N C	19.42±1.09 d	133.02±7.95 e	0.25±0.01 c	1.64±0.08 c
PbC	13.80±0.79 ab	44.67±6.04 b	0.12±0.01 b	0.76±0.08 b
N P	16.36±1.32 bc	102.73±13.04 cd	0.22±0.01 c	1.46±0.08 c
PbP	11.03±0.64 a	3.42±13.11 a	0.00±0.04 a	0.00±0.28 a
N G	17.09±0.54 cd	97.73±7.09 cd	0.20±0.01 c	1.35±0.07 c
PbG	12.63±1.38 a	23.04±11.89 ab	0.05±0.04 ab	0.32±0.27 ab
N M	17.73±0.58 cd	91.98±3.41 c	0.19±0.00 c	1.23±0.03 c
PbM	13.86±0.53 ab	22.53±6.45 ab	0.06±0.02 ab	0.38±0.11 ab
Significant factor ³⁾	A, B	A, B	A, B	A, B, AB

1) Mean±SE

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple range test.

3) A : Effect of Pb addition is significant at $\alpha=0.05$ level by F test.

B : Effect of dietary fiber source is significant at $\alpha=0.05$ level by F test.

AB : Effect of interaction between Pb and dietary fiber source is significant at $\alpha=0.05$ level by F test.

Table 4. Femur length and weight, liver and kidney weights of rats fed on diets containing Pb and/or fiber

Groups	Femur length	Femur weight	Kidney weight	Liver weight
	cm	g	g	g
N N	3.32±0.06 ^{1)e2)}	0.78±0.03 f	1.98±0.11 N.S ⁴⁾	8.31±0.51 e
PbN	3.02±0.05 bc	0.57±0.02 bcd	1.87±0.10	5.81±0.27 ab
N C	3.25±0.03 de	0.78±0.05 f	2.02±0.11	8.10±0.55 de
PbC	3.01±0.05 bc	0.59±0.03 cde	2.00±0.06	6.40±0.21 abc
N P	3.11±0.05 cd	0.65±0.03 de	1.87±0.10	7.35±0.47 cde
PbP	2.78±0.10 a	0.47±0.05 a	1.74±0.12	5.13±0.43 a
N G	3.21±0.06 de	0.68±0.02 ef	1.98±0.08	8.47±0.50 e
PbG	2.82±0.03 a	0.49±0.03 ab	1.79±0.16	5.97±0.31 ab
N M	3.15±0.04 cd	0.68±0.03 ef	2.10±0.06	6.96±0.26 bcd
PbM	2.93±0.06 ab	0.54±0.01 abc	1.87±0.14	5.51±0.43 a
Significant factor ³⁾	A, B	A, B		A, B

1)-3) see Table 3

4)Not significant at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple range test.

식이 섬유질 종류에 의한 영향 AB : Pb공급과 식이 섬유질의 상호작용에 의한 영향)들의 영향은 $\alpha=0.05$ 수준에서 F test에 의해 유의성을 검정하였다.

결 과

Table 3에 나타난 바와 같이 식이섭취량, 체중

Table 5. Hematocrit value and hemoglobin content of rats fed on diets containing Pb and/or fiber

Groups	Hematocrit	Hemoglobin
	%	g/100 ml
N N	36.67±1.17 ¹⁾ b ²⁾	15.33±0.54 bc
PbN	29.25±1.12 a	11.67±0.57 a
N C	39.08±1.40 bc	15.85±0.87 bc
PbC	28.87±1.78 a	13.33±1.12 ab
N P	40.00±1.09 bc	19.92±1.99 d
PbP	28.58±0.52 a	11.42±0.91 a
N G	39.64±1.28 bc	18.80±1.57 cd
PbG	29.83±1.21 a	13.92±0.89 ab
N M	40.53±0.82 c	20.83±0.44 d
PbM	31.12±1.22 a	15.17±1.42 b
Significant factor ³⁾	A	A, B

1) - 3) see Table 3

Table 6. Serum protein content, liver nitrogen content, fecal and urinary nitrogen excretions of rats fed on diets containing Pb and/or fiber

Groups	Serum protein	Liver nitrogen	Fecal nitrogen	Urinary nitrogen
	g/100ml serum	mg/total liver	mg/day	mg/day
N N	5.38±0.29 ¹⁾ b ²⁾	895.6±54.5 d	60.3±13.6 ab	124.9±4.7 de
PbN	4.73±0.14 ab	594.1±26.7 a	42.4±9.3 a	78.7±5.1 b
N C	5.28±0.17 b	845.2±57.9 cd	99.3±16.2 d	57.9±6.1 a
PbC	4.27±0.13 a	662.2±18.9 ab	64.6±5.9 abc	82.4±5.7 b
N P	5.35±0.34 b	753.9±52.6 bc	76.5±5.9 abcd	103.6±5.9 cd
PbP	4.31±0.22 a	570.2±48.9 a	43.3±6.7 a	84.9±9.0 bc
N G	5.28±0.34 b	884.8±44.3 cd	96.6±6.2 cd	107.1±7.1 de
PbG	4.03±0.18 a	647.4±24.7 ab	86.3±17.9 bcd	84.2±6.8 bc
N M	6.61±0.19 c	761.9±30.8 bc	54.3±9.1 ab	98.1±7.4 bcd
PbM	4.76±0.28 ab	610.5±45.6 a	46.8±5.9 a	90.3±4.9 bcd
Significant factor ³⁾	A, B	A	A, B	A, B

1) - 3) see Table 3

증가량, 식이효율 및 단백질 효율은 Pb공급과 식이 섬유질 종류의 영향을 모두 받아 Pb공급을 받은 모든 실험군에서 유의적으로 감소되었고, 식이 섬유질 중 pectin공급시 가장 크게 감소되었다.

대퇴골의 길이와 무게는 Pb공급시 유의적으로 감소되었고 pectin군들(NP와 Pb P)이 식이 섬유질을 섭취하지 않은 각각의 대조군들에 비해 유의적으로 낮았다. 신장의 무게는 모든 실험군들

간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나 Pb공급시 다소 낮은 경향을 보였다. 간의 무게는 Pb공급과 식이 섬유질 종류의 영향을 모두 받아 Pb공급시 유의적으로 낮았으며, Pb P군에서 가장 낮았다.

Pb중독 여부를 확인하기 위해 hemoglobin함량과 hematocrit값을 측정하였는데(Table 5) hemoglobin 함량은 Pb공급시 유의적으로 감소되었으나 Pb N과 Pb P군에서만 흰쥐의 정상범위인³⁰⁾ 13.4~15.

고 섬유질식이와 납흡수

Table 7. Total lipid content in serum and liver, total cholesterol content in serum and liver, and fecal lipid and cholesterol excretions of rats fed on diets containing Pb and/or fiber

Groups	Total lipid		Total cholesterol		Fecal lipid	Fecal cholesterol
	mg/100ml serum	mg/total liver	mg/100ml serum	mg/total liver	mg/day	mg/day
N N	176.2±36.2 ¹⁾ N.S ⁴⁾	379.9±54.9 de ²⁾	90.0±9.1 b	29.1±4.0 bcd	55.5±8.4 a	8.41±1.04 a
PbN	224.1±23.5	188.9±17.9 ab	78.9±6.9 ab	17.9±1.4 a	33.8±5.1 a	3.60±0.60 a
N C	220.2±42.2	376.3±34.1 de	76.9±5.8 ab	31.9±3.5 cd	52.5±26.0 a	12.20±2.39 b
PbC	219.7±21.9	209.9±15.5 ab	61.0±4.3 a	23.4±1.9 bc	43.1±3.1 a	6.72±0.61 a
N P	239.1±32.7	303.7±35.8 cd	90.5±9.5 b	29.3±2.3 cd	135.2±23.5 b	12.90±1.81 b
PbP	181.7±33.1	174.3±21.3 a	70.1±5.2 ab	15.2±2.1 a	56.7±17.3 a	5.52±2.18 a
N G	226.8±38.3	413.0±37.6 e	86.3±6.9 b	28.4±4.3 bcd	139.4±6.9 b	14.00±3.83 b
PbG	219.5±34.0	200.1±22.6 ab	62.2±4.3 a	20.6±2.4 ab	125.5±35.0 b	15.92±3.31 b
N M	225.7±43.3	280.9±32.7 bc	75.9±8.1 ab	35.1±3.9 d	47.9±8.2 a	17.31±12.68 b
PbM	195.3±35.7	153.3±14.4 a	55.3±7.2 a	21.1±2.5 ab	34.1±15.3 a	5.44±0.83 a
Signifi- cant factor ³⁾		A, B	A	A	A, B	A

1)-4) see Table 4.

8g/100ml에 미달된 값을 보였다. Hematocrit값은 Pb공급시 유의적으로 감소되었으나 모든 실험군이 정상범위³⁰⁾ (44.4~50.4%)에 미달되었으며 특히 Pb공급군들의 값이 크게 미달되었다.

단백질 대사에 대한 Pb와 식이 섬유질의 영향은 Table 6에 나타난 바와 같다. 혈청내 단백질 함량은 식이 섬유질 공급군들에서 Pb공급시 모두 유의적으로 감소되었고, Pb를 공급하지 않은 경우는 CMC 첨가군의 값이 유의적으로 가장 높았으나 Pb공급군들에서는 식이 섬유질의 종류에 관계없이 모두 비슷한 수준을 나타냈다.

간내 총 질소함량은 Pb공급시 모두 유의적으로 감소되었고 식이 섬유질 종류에 따른 뚜렷한 영향은 없어 Pb비공급군들의 경우 pectin(NP)과 CMC(NM)군에서 대조군(NN)에 비해 유의적인 감소를 나타냈을 뿐이었다. 변으로 배설된 질소 함량은 Pb공급시 모두 감소되었고, CMC를 제외한 식이 섬유질 공급군들의 변 질소배설량은 각각의 대조군들(NN과Pb N)에 비해 증가되었으며, 특히 cellulose와 guar gum공급시 유의적으로 증가되었다. 뇨로 배설된 질소 배설량은 Pb공급시 cellulose군에서는 증가하였으나 나머지 실험군들에서

는 감소되었고, 식이 섬유질 공급시 대체로 뇨 질소 배설량이 감소하였는데 특히 cellulose 공급군들이 가장 낮았다.

지방대사에 대한 Pb와 식이 섬유질 종류의 영향은 Table 7과 같다. 혈청내 총 지방함량은 Pb와 식이 섬유질의 영향을 받지 않아 모든 실험군들 간에 유의적인 차이가 없었으나 식이 섬유질 공급시 Pb공급군들의 값이 Pb비공급군들보다 다소 낮았다. 간내 총 지방함량은 Pb공급시 모두 유의적으로 감소되었으며, 식이 섬유질 종류의 영향은 일정한 경향을 보이지 않았으나 guar gum공급군들이 대조군들에 비해 다소 높았고 CMC군들이 다소 낮았다. 혈청내 콜레스테롤 함량은 Pb공급시 감소되는 경향이였으며, 특히 guar gum공급시 Pb에 의한 감소가 유의적이였다. 간내 콜레스테롤 함량도 Pb공급시 모두 감소되었고 특히 pectin과 CMC공급시 Pb공급에 의한 감소가 유의적이였으나 식이 섬유질 종류에 따른 영향은 나타나지 않았다. 변으로 배설된 총 지방량은 Pb공급시 감소하는 경향을 보였고 식이 섬유질 종류에 따른 차이가 있어 Pb공급군들의 경우 guar gum군에서, Pb비공급군들의 경우는 pectin과 guar gum군에서

Table 8. Pb contents in whole blood, liver, kidney and femur of rats fed on diets containing Pb and/or fiber

Groups	Whole blood Pb	Liver Pb	Kidney Pb	Femur Pb
	µg/100ml	µg/total liver	µg/total kidney	µg/total femur
N N	10.33±2.28 ^{1)a2)}	184.34±31.17 a	41.12±5.88 a	26.00±2.48 a
PbN	57.17±9.35 bc	910.18±77.28 de	305.00±47.79 c	533.67±36.43 d
N C	8.25±1.25 a	106.58±14.87 a	37.80±3.83 a	25.40±3.80 a
PbC	68.50±5.85 c	1020.66±149.21 e	324.33±60.32 c	404.00±46.30 c
N P	13.20±2.48 a	144.37±20.29 a	40.67±6.00 a	20.20±4.31 a
PbP	56.83±4.62 bc	752.88±116.74 cd	329.50±40.92 c	359.00±54.95 bc
N G	14.20±0.80 a	180.16±31.78 a	25.56±3.70 a	24.80±3.88 a
PbG	47.80±4.33 b	504.83±40.98 b	208.67±17.26 b	267.67±41.77 b
N M	16.00±1.34 a	167.02±14.73 a	36.30±4.00 a	26.16±4.24 a
PbM	59.00±6.28 bc	571.08±126.43 bc	301.50±25.59 c	442.80±60.59 cd
Significant factor ³⁾	A	A, B, AB	A, B	A

1)-3) see Table 3

Table 9. Urinary and fecal Pb excretions, and Pb absorption ratio of rats fed on diet's containing Pb and/or fiber

Groups	Urinary Pb	Fecal Pb	Pb absorption ratio
	µg/day	µg/day	%
N N	0.22±0.03 ^{1)ab2)}	7.85±0.88 a	-
PbN	0.50±0.16 b	112.18±16.79 b	96.60±0.51 b
N C	0.21±0.01 ab	13.33±1.10 a	-
PbC	1.53±0.27 c	184.77±33.69 c	95.23±1.04 b
N P	0.15±0.03 a	10.10±1.54 a	-
PbP	0.53±0.09 b	141.83±20.58 bc	95.70±0.62 b
N G	0.08±0.01 a	11.13±0.92 a	-
PbG	0.85±0.09 c	253.48±28.01 d	92.40±0.84 a
N M	0.12±0.01 a	1.73±0.51 a	-
PbM	0.33±0.04 ab	120.10±25.72 b	96.40±0.78 b
Significant factor ³⁾	A	A, B, AB	B

1)-3) see Table 3

각각 유의적으로 증가되었다.

변을 통한 콜레스테롤 배설은 cellulose, pectin, CMC군들에서 Pb공급시 유의적으로 감소되었고, 식이 섬유질 종류에 따른 차이는 뚜렷하지 않았으나 Pb비공급군에서는 대조군보다 유의적으로 높았으며 특히 guar gum 공급군들(NG와 Pb G)의 콜레스테롤 배설량이 유의적으로 증가되어 가장

높은 값을 보였다.

Pb와 식이 섬유질 공급에 따른 Pb대사의 변화는 Table 8과 9에 나타난 바와 같다. 혈액과 간, 콩팥, 대퇴골의 Pb함량은 모두 Pb공급시 유의적으로 증가되었다. Pb공급시 식이 섬유질 종류에 따른 조직내 Pb함량을 살펴보면 다음과 같았다. 혈액내 Pb함량은 식이 섬유질 종류에 따른 유의적인 차

이는 없었으나 guar gum 공급시(Pb G) 가장 낮았고, 간내 Pb함량은 cellulose를 제외한 식이 섬유질 공급군들에서 대조군(Pb N)보다 낮았으며, 특히 guar gum (Pb G)군과 CMC(Pb M)군에서 각각 유의적으로 감소되었다. 신장내 Pb 함량은 guar gum군에서만 유의적으로 감소되었으며, 대퇴골내 Pb함량은 모든식이 섬유질군들에서 감소되었는데 특히 cellulose, pectin, guar gum 공급시 유의적으로 낮았다. 조직내 Pb함량은 식이 섬유질 종류 중 guar gum의 영향이 가장 크게 나타나 guar gum군의 Pb함량이 모든 조직에서 가장 낮았음을 볼 수 있었다. 하루 중 뇨와 변을 통해 배설된 Pb양은 cellulose와 guar gum공급시 유의적으로 증가되었으며, 체내 Pb흡수율은 guar gum군에서만 유의적으로 감소되었다.

고 찰

본 연구에서 체중 증가량, 식이효율, 단백질효율 및 장기와 뼈의 무게등이 식이 섬유질 공급시 감소되었는데 이는 cellulose, guar gum, pectin 공급시 각각 변을 통한 질소, 지방 및 콜레스테롤 배설량이 증가되었던 결과(Table 6, 7)로 볼 때 고 섬유식이 섭취시 체외로의 열량소 손실이 증가되었기 때문이 아닌가 생각된다. 특히 Pb공급시 pectin군 (Pb P)의 경우 체중증가율, 장기 및 뼈의 무게가 가장 낮았는데 이는 체외로의 열량소 손실외에도 식이 섭취량, 식이효율 및 단백질 효율이 pectin공급시 가장 낮았기 때문으로 생각된다.

식이 섬유질의 체내 영양소 대사에 미치는 영향은 섬유질의 종류에 따라 조금씩 차이가 있어 pectin이나 guar gum이 cellulose나 wheat bran보다 변으로의 질소 및 지방 배설을 증가시키고 혈중 콜레스테롤 농도를 감소시키는 효과가 더 크다고 한다.⁹⁾²²⁾³²⁾ Pectin은 side chain에 다량의 carboxyl기와 carbonyl기를 함유하여 ester형태를 취함으로써 장내에서 gel 형성능력이 크고 divalent ions과 결합하는 특성이 있으며, guar gum은 장 내용물의 viscosity를 증가시키거나 mucosal cell 증식을 변화시켜 영양소의 흡수를 감소시키는 반

면 cellulose는 linear polymer 형태로 이와같은 능력이 다른 식이 섬유질에 비해 약한 것으로 알려져 있다^{33~35)}. 본 실험에서 변을 통한 질소 배설량은 Pb공급군과 비공급군 모두에서 cellulose와 guar gum공급시 증가되었는데, cellulose 공급군의 경우는 식이 섭취량이 실험군들 중에서 가장 많았기 때문에 질소 배설량도 많았던 것으로 보이며 guar gum의 경우는 대조군과 비슷한 식이 섭취를 하였음에도 대조군보다 유의적으로 많은 질소 배설량을 나타낸 것으로 보아 이는 앞서 언급했던 viscous fiber로써의 물리적 특성 때문이라 생각된다. 또한 식이 섬유질 공급시 변을 통한 지방 및 콜레스테롤 배설이 증가되었는데 특히 변으로의 지방배설은 Pb공급 유무에 관계없이 pectin과 guar gum공급시 유의적으로 증가되었고, guar gum군들 (NG와 Pb G)의 지방 배설량은 대조군보다 2~3배 정도 증가된 양이었다. 뿐만아니라 변으로의 콜레스테롤 배설량 역시 guar gum군들에게서 모두 유의적으로 증가되었다. 이처럼 지방과 콜레스테롤 배설이 다량의 viscous fiber 공급시 증가되었다는 보고들은 많이 발표된 바 있다^{36~44)}.

또한 섬유질 종류에 따라 단백질 및 지방대사에 미치는 영향도 다르게 나타났는데, 혈청 단백질 함량은 섬유질 종류에 따라 뚜렷한 차이가 없었으나 간내 질소 함량은 pectin(NP)과 CMC(NM)군이 대조군(NN)에 비해 유의적으로 낮았다. Chen & Anderson³⁶⁾³⁷⁾은 oat bran, guar gum, pectin등이 간내 콜레스테롤 함량을 감소시켰다고 했고, 고콜레스테롤 환자에게 매일 oat bran 100g을 공급한 결과 전체 대상 환자의 19% 정도에게서 hypocholesterolemic effect를 관찰할 수 있었다고 했다. 본 실험에서도 Pb공급 유무에 관계없이 간내 총 지방함량 및 혈청내 콜레스테롤 함량시 식이 섬유질 공급시 감소되었는데, 간내 지방함량은 pectin과 CMC 공급시, 혈청내 콜레스테롤 함량은 cellulose와 CMC 공급시 각각 대조군에 비해 낮았다.

식이 섬유질이 Pb의 흡수 및 조직내 Pb함량에 미치는 영향도 섬유질의 종류와 공급수준에 따라 다르다는 것을 볼 수 있었다. 본 실험실의 선행연구

23)에서는 5% cellulose와 pectin 공급시 체내 Pb 흡수 및 조직내 Pb함량에 아무런 영향을 미치지 못했었으나 본 연구에서는 10% guar gum 공급시 혈액 및 조직내 Pb함량이 크게 감소되었고 혈액을 제외한 간, 신장, 대퇴골내의 Pb함량은 guar gum 공급시 모두 유의적으로 감소되는 것을 볼 수 있었다. 또 Kiyozumi 등은¹⁴⁾ 5% lignin과 CMC 및 cellulose 식이 공급시 lignin과 CMC공급군에서만 조직내 카드뮴(Cd) 함량이 감소되었다고 했는데 본 연구에서는 대퇴골의 Pb함량이 CMC를 제외한 다른 식이 섬유질 공급시 모두 유의적인 감소를 나타냈다. 그리고 신장조직에서는 guar gum군(Pb G)이, 간 조직에서는 guar gum (Pb G)과 CMC (Pb M)군이 각각 유의적인 Pb함량 감소를 나타내어 조직에 따라 조금씩 차이를 보였다. 식이 섬유질 공급에 따른 체내 Pb흡수의 변화도 식이 섬유질 종류에 따라 약간의 차이를 보여 cellulose와 guar gum공급시 노와 변을 통한 Pb배설이 대조군(Pb N)에 비해 유의적으로 증가되었으며, 특히 변을 통한 Pb배설은 식이 섬유질 공급시 모두 증가되었고 guar gum군은 대조군보다 2배 이상 많은 양의 Pb를 배설하였다. 체내 Pb흡수율 역시 식이 섬유질 공급군들이 대조군에 비해 모두 감소되는 경향을 보였으며 특히 guar gum군에서는 유의적인 감소를 나타냈다.

따라서 식이의 10%수준으로 식이 섬유질을 섭취시켰을 때 식이 섬유질이 Pb중독에 미치는 영향은 그 종류에 따라 다르며, 다량의 식이 섬유질 공급시 섬유질 자체의 물리적 특성에 따라 장내에서 Pb흡수를 변화시키는 것으로 생각된다. 또 Pb공급시 guar gum군에서 변으로의 단백질, 지방 및 콜레스테롤의 배설이 가장 크게 증가되었을 뿐 아니라 Pb의 변 배설량이 가장크게 증가되고 조직내 Pb함량이 가장 낮았던 것으로 보아 변을 통한 에너지 손실은 컸으나 Pb흡수 억제 효과는 guar gum에서 가장 크게 나타났다. 한편 cellulose군(Pb C)에서는 Pb의 변 배설량이 guar gum군 다음으로 컸고 Pb의 노 배설량이 가장 높았으며 식이 섭취량, 식이효율과 단백질 효율이 가장 높고 체중증가량 및 장기 및 뼈의 무게가 가장 높았던 점등을 종합해

볼 때 다른 식이 섬유질군에 비해 Pb중독이 전반적으로 완화되었음을 볼 수 있었다.

요약 및 결론

이상의 결과를 요약하면, Pb공급시 식이 섭취량, 체중 증가량, 식이효율, 단백질효율, 노와 변을 통한 질소 및 총지방과 콜레스테롤 배설, 혈청과 간내의 단백질 함량 및 간내 총지방함량, 혈청과 간내의 콜레스테롤 함량등이 감소되었다. 이와같은 Pb의 영향은 식이 섬유질 종류에 따라 다르게 나타나 혈청내 단백질 및 총지방함량은 식이 섬유질 공급에 따라 큰 변화가 없었으나 간내 단백질 함량은 pectin군에서, 간내총지방 함량은 CMC군에서 각각 가장 낮았다. 변을 통한 질소 배설량은 cellulose와 guar gum군들에서, 변을 통한 지방 배설량은 pectin과 guar gum군들에서, 변을 통한 콜레스테롤 배설량은 guar gum군에서 가장 높았다.

한편, 식이 섬유질 종류에 따른 조직내 Pb함량 및 Pb흡수율의 변화를 보면 guar gum군에서 간, 신장 및 대퇴골내 Pb함량이 모두 유의적으로 감소되어 가장 낮았고, 체내 Pb흡수율도 guar gum군에서 가장 낮았다.

이상과 같이 고섬유질 식이는 단백질과 지방대사 뿐 아니라 Pb의 장내 흡수에도 영향을 미치며 이는 식이 섬유질의 종류에 따라 차이가 있었다. Guar gum공급시 조직내 Pb함량과 Pb흡수율은 가장 낮았으나 변을 통한 지방, 단백질, 콜레스테롤등의 배설이 증가되어 체외로의 열량소 손실도 컸다. Guar gum군 다음으로 Pb흡수 억제효과가 컸던 cellulose군은 다른 식이 섬유질군에 비해 식이 섭취량, 식이효율과 단백질효율이 높아 체중증가량 및 장기와 뼈의 무게가 가장 컸다.

Literature cited

- 1) Burkitt DF. *Epiderminology of cancer of the colon*

- and rectum. *Cancer* 28 : 3, 1971
- 2) Burkitt DP, Walker ARP, Painter NS. Effect of dietary fiber on stools and transit times and its role in the causation of disease. *Lancet* II 1408, 1972
 - 3) Trowell HC. Dietary fiber hypothesis of the etiology of diabeto mellitus. *Diabetes* 24 : 962, 1972
 - 4) Trowell HC. Ischemic heart disease and dietary fiber. *Am J Clin Nutri* 25 : 962, 1972
 - 5) Trowell HC, Southgate DAT. Dietary fiber redefined (letter). *Lancet* I : 967, 1976
 - 6) Southgate DAT. The relationship between composition and properties of dietary fiber and physiological effects. In : Dietary fiber-basic and clinical aspects. *Plenum NY*. p35, 1986
 - 7) Schneeman BO, Lefevre M. Effect of fiber on plasma lipoprotein composition. In : Dietary fiber-basic and clinical aspects-. *Plenum NY*. p309, 1986
 - 8) Chen WJL, Anderson JW. Hypocholesterolemic effects of soluble fibers. In : Dietary fiber-basic and clinical aspects-, *Plenum NY*. p275-286, 1986
 - 9) Hilman LC, Peters SG, Fischer CA. The effects of the fiber components pectin, cellulose and lignin on serum cholesterol levels. *Am J Clin Nutr* 42 : 207, 1985
 - 10) Gordon DT, Besch-Willifoed C. The action of cellulose on the intestinal mucosa and elements absorption by the rats. *J Nutr* 113 : 2345, 1983
 - 11) Kelsay JL. Update on fiber and mineral availability. In : Dietary fiber-basic and clinical aspects-. *Plenum NY*. p361-372, 1986
 - 12) Thomson SA, Weber CW. Influence of pH on the binding of copper, zinc and iron in six fiber sources. *J Food Sci* 47 : 752, 1979
 - 13) Omori M, Muto Y, Effects of dietary protein, Ca, P, fiber on renal accumulation of exogeneous Cd in young rats. *J Nutri Sci Vitaminol* 23 : 361, 1978
 - 14) Morio Kiyozumi, Motohiro Mishima, Sumiko Moda, Studies on poisonous metals, IX, Effects of dietary fibers on absorption of Cd in rats. *Chem Pharm Bull* 30(12) : 4494, 1982
 - 15) Moberg A, Hallmans G. The effect of wheat bran on the absorption and accumulation of cadmium in rats. *Br J Nutr* 58 : 383, 1987
 - 16) Jackl GA, Rambeck WA, Kollmer WE. Biological Trace Element *Research* 7 : 69, 1985
 - 17) Leads AR, Judo PA. Dietary fiber and weight management. In : Dietary fiber-basic and clinical aspects-. *Plenum NY*, p335, 1986
 - 18) Sandberg AS, Hasselblad C. The effects of wheat bran on the absorption of minerals in the small intestine. *Br J Nutr* 48 : 185, 1982
 - 19) Kaur AP. Effect of cellulose incorporation in a low fiber diet on fecal excretion and serum levels of Ca, P, Fe in adolescent girls. *Am J Clin Nutr* 34 : 1083, 1981
 - 20) Schwartz R, Apgar BJ. Apparent absorption and retention of Ca, Cu, Mg, Mn, Zn from a diet containing bran. *Am J Clin Nutr* 43 : 444, 1986
 - 21) Jiang KS. Effects of dietary cellulose and xylon on absorption and tissue contents of Zn and Cu in rats. *J Nutr* 116 : 999, 1986
 - 22) Kelsay JL. Effects of fiber on mineral and vitamin bioavailability. In : Dietary fiber in health and disease. p91-103, 1982
 - 23) Kim MK, Lee HY. Effect of dietary fiber on lead absorption and metabolic changes in growing rats. *Korean J Nutr* 22 : 485, 1989
 - 24) Lowry DH, Rosebrough NJ, Farr AL & Randall RJ. Protein measurement with the Folin Phenol reagent. *J Biol Chem* 193 : 265, 1951
 - 25) Frings CS, Dunn RT. A colorimetric methods for determination of total serum lipids based on the sulfo-phosphovanillin reaction. *Am J Clin Path* 53 : 89, 1970
 - 26) Folch JLM, Sloane Stanley GH. A simple method for the isolation & purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226 : 497, 1957
 - 27) Zak B. Rapid estimation of free and total cholesterol. *Am J Clin Path* 24 : 1307, 1954
 - 28) Zinterhofer LJM, Jatlow I, Fappiano A. Atomic absorption determination of lead in blood and urine in the presence of EDTA. *J Lab Clin Med* 78 : 664, 1971
 - 29) Yeager DW, Cholok J, Henderson EW. Determination of lead in biological and related material by atomic absorption spectro-photometer. *Environ Sci Technol* 5 : 1020, 1971

- 30) Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics. Mc Graw-Hill. Book company NY. p481, 1960
- 31) Mitra Bm. Rawnsley HM. "Clinical Biochemical & Hematological Reference Values in Normal Experimental Animal Normal Humans". 2nd ed., p63, 1981
- 32) Story JA. Dietary fiber and lipid metabolism. *Proc Sco Exp Biol Med* 180 : 447, 1985
- 33) Swindell T. Johnso IT. The effect of prolonged dietary supplementation with guar gum on subsequent iron absorption and retention in rats. *Br J Nutr* 57 : 245, 1987
- 34) Blackburn NA, Redfern JS, Jarjis H. *Clinical Science* 66 : 329, 1984
- 35) Johnson IT. In : Dietary Fiber in the management of the Diabetic. Medical Education Services. p21-26, 1984
- 36) Anderson JW, Chen WC. Cholesterol-lowering properties of oat products. In : Oat(F.Webster, ed.), in press
- 37) Anderson JW, Strong L, Sielling B, Chen WL. Hypocholesterolemic effects of high-fiber diets rich in water soluble plant fibers. *J Can Dietet Assoc* 45 : 140, 1984a
- 38) Chen WL, Anderson JW, Gould MR. Cholesterol-lowering effects of oat bran and oat gum. *Nutr Rep Int* 24 : 1093, 1981
- 39) Vahouny GV, Cassidy MN, Dietary fibers and absorption of nutrients. *Proc Sco Exp Biol Med* 180 : 432, 1985
- 40) Farness PL, Schneeman BO. Effects of dietary cellulose, pectin and oat bran on the small intestine in the rats. *J Nutr* 112 : 1315, 1982
- 41) Slavin JL, Marlett JA. Effect of refined cellulose on apparent energy, fat and nitrogen digestibilities. *J Nutr* 110 : 2020, 1980
- 42) Kaneko K, Nishida K, Yatsuda J, Osa S, Koilce G, Effect of on protein, fat and calcium digestibilities and fecal cholesterol excretion. *J Nutr Sci Vitaminol* 32 : 317, 1986
- 43) Sakata T. Effects of indigestible dietary bulk and short chain fatty acids on the tissue weight and epithelial cell proliferation rate of the digestive tract in rats. *J Nutr Sci Vitaminol* 32 : 355, 1986
- 44) Miyosh H, Okuda T, Oi Y, Koishi H. Effects of rice fiber on fecal weight, apparent digestibility neutral detergent fiber in young man. *J Nutr Sci Vitaminol* 32 : 581, 1986