

식이내 섬유질의 종류가 성장기 흰쥐의 납 흡수 및 체내대사에 미치는 영향

김미경, 이해영

이화여자대학교 식품영양학과

Effect of dietary fiber on lead absorption and metabolic changes in growing rats

Mi Kyung Kim, Hye Young Lee

Dept. of Foods & Nutrition, Ewha Womans University

=ABSTRACT=

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

Forty eight male rats of Sprague-Dawley strain weighing $75.7 \pm 0.7g$ were blocked into six groups according to body weight and fed six kinds of diet different with fiber source(non-fiber, cellulose, pectin)and lead level(0%, 1%)for 4 weeks.

Results are summerized as follows :

- 1) Food intake, weight gain, FER and PER were remarkably decreased in lead(Pb) added groups, and FER and PER in Pb-added pectin group were significantly lower than those in Pb-added non-fiber group.
- 2) Weight of liver, kidney and epididymal fat pad, bone weight and length, hematocrit, and hemoglobin content were decreased in Pb-added groups.
- 3) Total protein content in serum was tended to be decreased in Pb-added groups, but total lipid and cholesterol contents in serum were not different with dietary Pb level and fiber source.
- 4) Nitrogen, lipid and cholesterol content in liver were tended to be decreased in Pb-added groups, and especially those of the Pb-added pectin group were the lowest among groups.
- 5) Daily urinary and fecal excretions of nitrogen, lipid and cholesterol were decreased in Pb-added groups. Especially fecal excretions of nitrogen, lipid and cholesterol in Pb-free groups were significantly increased by dietary cellulose and pectin.
- 6) Pb content in blood was significantly increased in Pb-added pectin group. There

접수일자 : 1989년 10월 19일

본 연구는 한국과학재단 1986-1987년도 기초연구비(일반연구)에 의하여 이루어졌으며 "유독성 중금속의 흡수억제 및 제독에 관한 연구"제5보로 한다.

was no significant decrease in Pb contents of liver, kidney and tibia, and increase in excretion of Pb by feeding dietary fibers.

In conclusion, dietary fibers had no effect on the absorption of Pb, and dietary pectin seemed to increase Pb poisoning by decreasing bioavailability of protein, lipid and other nutrients in the diet.

서 론

최근 납, 카드뮴, 수은등 유독성 중금속 오염이 심각해짐에 따라 중금속 중독시 일어나는 인체의 생리적 변화와 아울러 중금속과 다른 식이 성분과의 상호작용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 납(Pb)은 소화기관, 호흡기관, 피부등의 경로를 통해 체내로 들어오며¹⁾음식물을 통한 흡수가 큰 몫을 차지하므로 오염된 식품으로부터의 흡수 억제 방법에 대한 실험적 연구가 필요하다고 하겠다.

동물실험 결과 중금속의 흡수를 억제시킬 수 있는 식이인자로서 단백질, 칼슘, 인, 아연²⁻¹⁰⁾등 몇가지 영양소들이 알려져 있으나 식이 섬유질의 효과에 대해서는 아직 확실히 알려져 있지 않으며 그 효과 또한 식이 섬유질의 종류 및 공급수준에 따라 다르게 나타나고 있다¹¹⁾.

식이 섬유질은 장내에서 분비되는 소화효소에 의해 분해되지 않는 polysaccharides와 lignin을 통칭¹²⁾하는데, 구조 및 물리적 성질에 따라 장내에서의 효과도 다르게 나타난다. 특히, 수용성 섬유질(guar gum, oat bran, pectin)이 불용성 섬유질(cellulose, hemicellulose, wheat bran)에 비해 gelling effect, water binding capacity 및 viscosity가 더 크며, 이와같은 구조상의 특성 차이로 인해 지방 및 단백질, 무기질등의 체내 영양소 대사에 미치는 영향도 각각의 식이 섬유질에 따라 다르게 나타난다¹³⁾. 예를들면, pectin이 혈중 cholesterol 농도를 감소시키고 fecal bilexcretion을 증가시키는 반면, cellulose는 지방대사에 큰 영향을 미치지 못한다고 한다¹⁴⁾. 일반적으로 식이 섬유질은 소화기관 내에서 nonspecific bulking

effect, gastrointestinal mobility 변화로 인한 transit time의 감소, 영양소와 결합하는 특성등으로 영양소의 체내 소화 흡수를 변화시키며¹³⁾¹⁵⁻¹⁷⁾, 영양소의 이용율이 대한 식이 섬유질의 효과는 섬유질 자체의 특성 외에 장내의 PH, 섬유질의 양, inhibitor의 존재 여부등에 따라서도 영향을 받는다고 한다¹⁸⁾¹⁹⁾. 이밖에도 식이 섬유질이 신장의 카드뮴 농도를 감소시켰고⁹⁾, 칼슘·인·철분등 무기질의 흡수를 감소시켰으며, 담즙산과 결합하여 변으로의 배설을 증가시켰다는 보고들이 나온바 있다²⁰⁻²³⁾. 그러나 식이 섬유질이 납의 흡수를 억제할 수 있는지는 아직 확실히 알려져 있지 않으며 연구도 부진한 상태이다.

따라서, 본 연구에서는 식이 섬유질이 납의 흡수를 억제하고 그 영향이 섬유질의 종류에 따라 다른지를 알아보는 동시에 납과 식이 섬유질 섭취에 의한 단백질 및 지방대사의 변화를 알아보고자 하였다.

실험재료 및 방법

1) 실험동물의 사육 및 식이

평균체중이 $75.7 \pm 0.7g$ 인 Sprague-Dawley종 숫컷 흰쥐 48마리를 체중에 따라 난괴법에 의해 실험군당 8마리씩 6군으로 나누어 4주간 Table 1과 같은 내용으로 사육하였다.

실험동물은 한마리씩 분리하여 stainless steel cage에서 사육하였고, 사육 기간에 일어날 수 있는 무기질의 오염을 방지하기 위해 쥐장, 식이 그릇, 물병등을 0.4%EDTA(Ethylene Diamine Tetraacetic Acid)용액으로 세척한 후 탈이온 증류수로 헹구어 사용하였다.

Table 1. Classification of experimental animals.

Experimental groups ¹⁾	Dietary fiber level(%) ²⁾	Pb addition level(%) ²⁾
NN	○	○
PbN	○	1
NC	Cellulose, 4	○
PbC	Cellulose, 4	1
NP	Pectin, 4	○
PbP	Pectin, 4	1

1) NN : None-Pb none-fiber standard diet group

PbN : Pb-added none-fiber diet group

NC : None-Pb cellulose diet group

PbC : Pb-added cellulose diet group

NP : None-Pb pectin diet group

PbP : Pb-added pectin diet group

2) Percentage(w/w) of total diet

2) 실험동물의 식이

본 실험에서 사용한 식이의 구성성분은 Table 2와 같다.

실험식이의 탄수화물 급원으로는 corn starch (두산곡산)를 사용하였고, cellulose와 pectin첨가군의 경우 섬유질 공급양(4%)만큼을 corn starch 양으로 부터 감하였다. 단백질 급원은 casein (Port Curtis Dairy, Co.)을 사용하여 무게비로 15%를 공급하였고, 지방은 corn oil(서울식품)을 사용하여 무게비로 10%를 공급하였으며, 비타민과 무기질류를 첨가하였다. 납의 공급은 아세트산 납(lead acetate)을 이용하여 무게비로 1%(10,000ppm)수준으로 식이에 섞어 공급하였고, 물은 탈이온 증류수를 제한없이 먹게 하였다.

한편, 납의 흡수율을 측정하기위해 실험종료 전5일간 0.1g의 아세트산 납을 10ml의 탈이온 증류수에 녹여 하루 한 번 일정한 시간에 0.2ml (2mg lead acetate)씩 tube feeding 방법으로 투여 하였고 이 기간 중 마지막 3일간 뇨와 변을 채취하였다. 이 5일간의 식이에는 납을 첨가하지 않았으며, 납을 공급하지 않는 동물에게는 증류수 0.2ml를 tube feeding 시켰다.

3. 실험 방법

Table 2. Composition of experimental diets.

Exp.groups Ingredients	(per kg diet)					
	NN	PbN	NC	PbC	NP	PbP
Corn starch(g)	710	700	670	660	670	660
Cellulose(g)	-	-	40	40	-	-
Pectin(g)	-	-	-	-	40	40
Pb(g)	-	10	-	10	-	10
Casein(g)	150	150	150	150	150	150
Corn oil(g)	100	100	100	100	100	100
Salt mix.(g)*	40	40	40	40	40	40
Vit.A D mix.(ml)*	1	1	1	1	1	1
Vit.E K mix.(ml)*	2	2	2	2	2	2
Water sol.vits*
Vit.B ₁₂ (ml)*	1	1	1	1	1	1

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

1) 식이섭취량과 체중, 식이효율과 단백질효율

식이섭취량은 식이를 무제한 자유급식 시킨 후 매일 일정한 시간에 같은 저울로 측정하였고, 체중은 매주 한번씩 일정한 시간에 같은 저울로 측정하였으며 식이섭취로 인한 갑작스런 체중의 변화를 막기위해 체중측정 2시간 전에 식이 그릇을 빼 주었다.

이상에서 측정한 식이섭취량과 체중을 이용하여 일주일간의 체중증가량을 같은 기간의 식이섭취량 또는 단백질섭취량으로 나누어 식이효율(FER)과 단백질효율(PER)을 산출하였다.

2) 각종 장기, 혈액, 뇨, 변의 채취

a. 혈액의 채취

혈액은 실험종료 전 12시간을 굶긴 동물을 ethyl ether로 마취시킨 후 heart puncture 방법으로 측정하였으며 whole blood를 얻기위해 혈액 일부를 heparin처리된 시험관에 받아 냉동보관하였고, 나머지는 혈청을 얻기 위하여 시험관에 받아 2000rpm에서 30분간 원심분리하여 상등액을 분석전까지 냉동보관 하였다.

b. 간, 신장, 뼈 및 뇨와 변의 채취

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

뇨와 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

a. Hemoglobin과 hematocrit측정

Hemoglobin은 혈액 채취 직후 Sahli씨 혈색소계를 이용하여 hemometer로 측정하였다.

Hemoglobin은 혈액 채취 직후 heparin이 처리된 모세관에 빨아올려 원심 분리시킨 후 packed

red cell volume의 백분율을 측정하였다.

b. 혈청의 총 단백질함량 측정

Lowry법²⁴⁾에 의해 분광광도계(Spectronic, Bauch & Lomb)로 660mm에서 비색정량 하였다.

c. 간, 뇨, 변의 질소함량 측정

냉동보관하였던 간과 변을 110℃의 건조기에서 함량이 되도록 건조시킨 후 mortar에 갈아 일정량을 취하고, 뇨는 냉동보관 하였던 것을 녹여 일정량을 취하여 micro-kjeldahl법으로 측정하였다.

d. 혈청의 총 지방 함량 측정

Frings법²⁵⁾에 의해 분광광도계로 540mm에서 비색정량 하였다.

e. 간, 변의 총 지방함량 측정

Folch법²⁶⁾에 의해 지방량을 측정하기 위하여 냉동보관 하였던 간 또는 변의 일정량을 2 : 1 (v/v)의 chloroform과 methyl alcohol용액으로 균질화시켜 지방을 포함하는 chloroform층과 지방 이외의 물질을 포함하는 층으로 분리시킨 후 40~50℃에서 chloroform을 증발시켜 무게를 재어 정량 하였다.

f. 혈청의 총 콜레스테롤함량 측정

Zak법²⁷⁾에 의해 분광광도계 560mm에서 비색정량 하였다.

g. 간, 변의 총 콜레스테롤함량 측정

Folch법²⁶⁾으로 추출한 총 지방을 chloroform 용매에 녹여 Zak법²⁷⁾을 이용해 비색정량하였다.

h. 혈액, 뇨의 Pb함량 측정

일정량의 혈액 또는 1N HCl과 1N NaOH를 이용해 pH를 5.5로 맞춘 일정량의 뇨를 Zinterhofer법²⁸⁾에 의해 원자흡광계(Atomic Absorption Spectrophotometer, Perkin-Elmer Model 2380) 283.3nm에서 측정하였다.

i. 간, 신장, 뼈 및 변의 Pb함량 측정

간, 신장, 뼈 및 변을 110℃ 건조기에서 건조시켜 분말화 한 후, 600℃의 회화로에서 12시간 회화시켜 농질산 일정량을 넣어 녹인 후 1N HCl로 희석시킨 다음 Yeager법²⁹⁾에 의해 원자흡광계 283.3nm에서 측정하였다.

4. 통계처리

본 연구의 모든 실험결과는 실험군당 평균치와 표준오차를 계산하였고, $\alpha=0.05$ 수준에서 Scheffé 법에 의해 각 실험군 평균치간의 유의성을 검정하였다.

각 실험인자(A : Pb공급 유무에 의한 영향 B : 식이 섬유질 공급 유무 및 종류에 의한 영향 AB : Pb공급과 식이 섬유질의 상호작용에 의한 영향)들의 영향은 $\alpha=0.05$ 수준에서 F test에 의해 유의성을 검정하였다.

결 과

식이섭취량, 총 체중증가량, 식이효율 및 단백질 효율(Table 3)은 납(Pb)공급시 모두 감소되었고, 식이섬유질 공급에 따른 뚜렷한 영향은 나타나지 않았으나 Pb공급시 체중증가량, 식이효율 및 단백질효율이 cellulose군 보다 pectin군에서 유의적으로 낮게 나타났다($P<0.05$)

장기무게 및 뼈의 성장(Table 4)은 Pb군들에서

모두 감소하였으나 식이섬유질에 따른 유의적인 차이는 없었고, 정소상체 지방조직의 무게는 식이 섬유질 공급시 낮은 경향을 보였으며 특히 pectin 군들에서 가장 낮았다.

Hematocrit과 hemoglobin함량(Table 5)은 pb공급군들에서 감소되었으나($P<0.05$)식이섬유질에 따른 유의적 차이는 없었다.

노와 변을 통한 질소 배설량(Table 6)은 Pb 공급시 감소되었고 특히 변으로 배설된 질소량은 Pb를 공급하지 않은 군에서 식이섬유질 공급시 유의적($P<0.05$)으로 증가되었다.

혈청과 간내의 총 단백질 함량(Table 7.8)은 Pb공급시 모두 감소되었고 Pb와 pectin을 공급한 군(PbP)에서 가장 낮게 나타났으며, 특히 간의 경우 Pb의 영향이 pectin공급군들에서 유의적인 것으로 나타났다.

혈청내 총 지방과 총 콜레스테롤 양(Table 7)은 모든 실험군에서 유의적인 차이는 없었으나 PbC군이 가장 높았다. 간의 경우(Table 8)는 Pb의 영향으로 그 함량이 모두 감소되었으며, 특히 pectin공급시 더욱 낮아서 가장 낮은 값을

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

EXP. groups	Food intake (g/day)	Weight gain (g/4Weeks)	FER	PER
N N	16.79±0.46 ^{1)a²⁾}	132.4±6.41a	0.28±0.01a	1.33±0.06a
PbN	13.24±1.19ab	74.43±11.8bc	0.19±0.03ab	1.29±0.17ab
N C	16.59±1.15a	121.7±11.5ab	0.26±0.01a	1.74±0.09a
PbC	14.73±1.00ab	53.92±9.01c	0.13±0.02bc	0.86±0.22bc
N P	17.48±0.43a	139.3±9.50a	0.29±0.02a	1.91±0.13a
PbP	11.99±0.74b	34.13±6.06c	0.09±0.02c	0.63±0.12c
Significant factor ³⁾	A	A, AB	A, AB	A, AB

1) Mean±SE

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at $\alpha=0.05$ level by Scheffé test

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

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

Table 4. Weights of liver, kidney and epididymal fat pad, bone weight and length of rats fed on Pb and / or fiber-containing diets.

EXP. groups	Liver (g)	Kidney (g)	Epididymal fat pad(g)	Femur weight (g)	Femur length (cm)
N N	7.48±0.29 ^{1) a2)}	2.02±0.07 ^{1) s 4)}	1.81±0.13 ^a	0.64±0.02 ^a	3.17±0.10 ^a
PbN	6.08±0.75 ^{a b}	1.99±0.22	1.29±0.22 ^{a b}	0.49±0.04 ^{a b}	2.78±0.12 ^{a b}
N C	7.34±0.66 ^{a b}	1.86±0.14	1.72±0.12 ^a	0.58±0.04 ^a	3.08±0.07 ^a
PbC	5.35±0.47 ^b	1.58±0.16	0.73±0.17 ^b	0.42±0.04 ^b	2.64±0.10 ^b
N P	7.89±0.41 ^a	2.09±0.11	1.55±0.17 ^a	0.62±0.02 ^a	3.10±0.04 ^a
PbP	5.24±0.42 ^b	1.58±0.14	0.49±0.07 ^b	0.40±0.02 ^b	2.58±0.05 ^b
Significant factor 3)	A	A	A, B	A	A

1) Mean±SE

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at $\alpha=0.05$ level Scheffé test.

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

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

4) Not significant at $\alpha=0.05$ level by Scheffé test.

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

EXP groups	Hematocrit (%)	Hemoglobin (g/100ml)
N N	35.92±2.97 ^{a b2)}	13.55±0.80 ^a
PbN	26.75±0.95 ^b	9.63±0.63 ^b
N C	38.25±2.20 ^a	13.58±0.65 ^a
PbC	28.85±1.43 ^b	10.31±0.78 ^b
N P	35.71±0.52 ^{a b}	13.64±0.37 ^a
PbP	25.72±1.44 ^b	8.75±0.44 ^b
Significant factor ³⁾	A	A

1) Mean±SE

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at $\alpha=0.05$ level by Scheffé test

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

보였다.

하루동안 변을 통해 배설된 총 지방과 총 콜레스테롤 량(Table 6)은 Pb공급과 식이 섬유질의 영향을 모두 받아 Pb공급시 감소되었고, Pb공급

을 받지 않은 군에서는 식이 섬유질 공급시 지방과 콜레스테롤 배설이 유의적으로 증가되었으며, 특히 pectin공급군(NP)에서 가장 많은 양이 배설되었다.

Table 6. Fecal total lipid and cholesterol excretions, urinary and fecal nitrogen excretions of rats fed on Pb and /or fiber-containing diets.

EXP. groups	Fecal total lipid (mg/day)	Fecal total cholesterol(mg/day)	Urinary N (mg/day)	Fecal N (mg/day)
N N	26.67±5.03 ^{1) b2)}	5.21±0.84 ^c	153.2±14.86 ^a	28.14±2.11 ^b
PbN	26.47±9.80 ^b	4.61±0.79 ^c	92.8±22.04 ^{ab}	21.02±6.06 ^b
N C	41.92±4.39 ^b	7.65±0.68 ^b	119.6±22.57 ^{ab}	59.03±11.5 ^a
PbC	34.75±2.86 ^b	5.78±0.57 ^{bc}	86.6±15.04 ^b	27.45±6.04 ^b
N P	68.98±5.91 ^a	9.80±0.40 ^a	142.0±15.90 ^{ab}	53.30±4.64 ^a
PbP	26.49±5.25 ^b	4.13±0.76 ^c	107.3±8.42 ^b	18.33±3.00 ^b
Significant factor 3)	A. B. AB	A. B. AB	A	A

1) Mean±SE

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at $\alpha=0.05$ level by Scheffé test.

3) A : The effect of Pb is significant at $\alpha=0.051$ level by F test.

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

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

Table 7. Total protein, lipid cholesterol contents in serum of rats fed on Pb and/or fiber containing diets.

EXP. groups	Total protein (g/100ml)	Total lipid (mg/100ml)	Total cholesterol (mg/100ml)
N N	10.12±0.25 ^{1) a2)}	202.04±26.42N.S ³⁾	83.38±7.41N.S
PbN	8.32±0.50bc	189.97±30.90	68.10±6.34
N C	9.94±0.32ab	184.30±18.91	72.17±3.84
PbC	8.83±0.29abc	221.77±23.76	98.16±8.74
N P	9.04±0.35abc	195.03±14.77	80.06±3.35
PbP	8.01±0.17c	192.66±12.79	78.16±2.58
Significant factor ³⁾	A,B		AB

1) Mean±SE

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at $\alpha=0.05$ level by Scheffé test

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

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

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

4) Not significant at $\alpha=0.05$ level by Scheffé test

Table 8. Total nitrogen, lipid, cholesterol contents in liver of rats fed on Pb and/or fiber containing diets.

EXP. groups	Total Nitrogen (mg/total liver)	Total lipid (mg/total liver)	Total cholesterol (mg/total liver)
N N	261.3 ± 13.9 ^{1)a²⁾}	462.4 ± 34.2a	51.9 ± 3.5a
PbN	184.2 ± 23.2abc	354.0 ± 37.9abc	44.2 ± 6.3ab
N C	222.0 ± 19.4abc	409.3 ± 37.9ab	47.4 ± 6.2ab
PbC	170.0 ± 16.9bc	270.0 ± 30.0bc	31.6 ± 3.6b
N P	236.7 ± 12.5ab	397.7 ± 17.5ab	50.6 ± 3.6a
PbP	156.6 ± 12.3c	171.8 ± 34.7c	28.3 ± 1.1b
Significant factor ³⁾	A	A, B	A

1) Mean ± SE

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at $\alpha=0.05$ level by Scheffé test

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

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

Table 9. Pb contents in blood, liver, kidney and bone of rats fed on Pb and/or fiber-containing diets.

EXP. groups	Blood ($\mu\text{g}/100\text{ml}$)	Liver ($\mu\text{g}/\text{total liver}$)	Kidney ($\mu\text{g}/\text{total kidney}$)	Bone ($\mu\text{g}/\text{total tibia}$)
N N	137.1 ± 49.2 ^{1)b²⁾}	89.1 ± 15.9N.S ³⁾	84.7 ± 23.5N.S	15.5 ± 7.3N.S
PbN	259.3 ± 37.4ab	86.7 ± 14.5	185.5 ± 88.5	55.3 ± 1.9
N C	84.5 ± 21.1b	89.2 ± 19.8	31.7 ± 14.3	33.2 ± 9.7
PbC	255.3 ± 63.3ab	98.6 ± 8.8	171.3 ± 48.2	53.3 ± 9.2
N P	102.5 ± 20.9b	107.1 ± 15.5	46.1 ± 10.3	31.4 ± 8.3
PbP	426.4 ± 42.7a	93.7 ± 19.2	165.0 ± 61.1	59.7 ± 11.4
Significant factor ³⁾	A		A	

1) Mean ± SE

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at $\alpha=0.05$ level by Scheffé test

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

4) Not significant at $\alpha=0.05$ level by Scheffé test.

한편, 혈액 및 각 조직내 Pb함량은 Table 9에 나타난 바와 같다. 혈액과 신장의 Pb함량은 Pb의 영향이 유의적이어서 Pb공급군들에서 높았

고, 혈액내 Pb 함량은 특히 pectin군(PbP)에서 가장 높았다. 간과 뼈의 Pb함량은 Pb와 이 섬유질 공급에 따른 유의적 차이를 보이지 않았지만

뼈의 경우 Pb공급군들이 다소 높은 경향을 보여 주었다.

뇨와 변을 통한 Pb배설(Table 10)은 Pb공급시 유의적으로 증가되었으나 식이 섬유질에 따른 차이는 없었고, 체내 Pb흡수율 역시 식이 섬유질의 영향을 받지 않은 것으로 나타났다.

고 찰

식이 섬유질은 gastric emptying time을 변화시키고 여러 영양소와 결합하여 배설을 증가시킴으로써 영양소의 bioavailability 및 대사에 영향을 미치는 것으로 알려져 왔다³⁰⁻³². Kelsay³³는 고섬유식이 negative mineral balance를 유발시켰다고 했으며, cellulose와 wheat bran공급시 Ca · P · Fe · Zn · Cu등 무기질의 변을 통한 배설이 증가되었고 혈중 농도도 감소되었다는 여러 보고들²⁰⁻²³이 나온 바 있다. 또, pectin과 guar gum 같은 viscous fiber는 소장에서 지방의 bulk phase diffusion을 방해하고 담즙산과 같은 micellar component와 결합해서 micelle 형성을 방해하여 변으로의 배설을 증가시킴으로써 지방과 콜레스테롤의 흡수를 감소시켰다고 한다^{32,34}.

이와같은 식이 섬유질의 영향을 섬유질의 종류, 분자구조, 분자량 및 공급하는 양에 따라 조금씩 차이가 있어 wheat bran을 공급했을 때 보다 pectin을 공급했을 때 변으로 배설되는 지방양이 더욱 증가되었고³⁵, cellulose보다 pectin의 혈중 콜레스테롤 농도를 낮추는 효과가 더 컸다고 한다^{15,36} 이와 같은 차이는 cellulose가 linear polymer인 반면, pectin은 side chain에 다량의 carbonyl기와 carboxyl기를 함유하고 이 중 일부가 ester 또는 salt형태로 치환되어 교질성을 가져서 gel형성능력이 크다는 분자구조상의 물리적 특성으로 설명될 수 있다. 뿐만아니라 pectin은 divalent ions과의 결합능력이 크고, 분자량과 ester화 정도가 클수록 체내 질소흡수율이 감소되고 혈중 콜레스테롤 농도도 감소되었다고 한다^{13,37-39}. 이와

같은 식이 섬유질의 영향을 본 실험 결과에서도 볼 수 있었는데, 식이 섬유질 공급시 변을 통한 지방과 콜레스테롤의 양이 증가되었으며 특히 pectin공급시 유의적으로 가장 많은 양이 배설되었다. 간의 지방 및 콜레스테롤 함량도 섬유질 공급시 감소되는 경향을 보였으며, Pb공급시 pectin에 의한 지방과 콜레스테롤 함량 감소가 더욱 크게 나타났다. 변을 통한 질소 배설량 역시 식이 섬유질 공급시 유의적으로 증가되어 혈청 및 간의 단백질 함량도 식이 섬유질 공급군이 비 공급군에 비해 다소 낮은 경향을 보였으며, Pb공급군에서 cellulose보다는 pectin에 의한 감소가 더 크게 나타났다. 따라서 본 실험 결과를 통해 Pb공급시 cellulose보다는 pectin이 지방과 단백질 대사에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 앞서 언급한 pectin의 물리적 특성 때문인 것으로 생각된다.

한편, 이와같은 섬유질의 물리적 특성이 Pb의 흡수에도 영향을 미쳐 Pb중독을 경감시킬 수 있을 것으로 생각되었으나 Table 10에서 보는 바와 같이 뇨와 변을 통한 Pb의 배설 및 Pb의 흡수는 식이 섬유질 공급에 따른 아무런 영향을 받지 않은 것으로 나타났다.

즉, cellulose나 pectin이 장내에서 Pb와 결합하거나 transit time을 감소시켜 변의 배설을 촉진시킴으로써 Pb의 흡수를 감소시킬 수 있으리라 생각되었지만 본 실험조건에서는 별 영향을 미치지 못한 것으로 나타났다.

반면, Omori⁹는 흰쥐에서 4%의 혼합 식이 섬유질과 단백질, 칼슘을 함께 보충시켰을 때 식이 섬유질을 첨가하지 않았던 군보다 신장 조직내 카드뮴(Cd)축적이 감소되었다고 했으며, Kiyozumi등은¹¹ 5%의 식이 섬유질(lignin, cellulose, sodium carboxyl cellulose)식이 공급시 cellulose를 제외한 식이 섬유질 공급군에서 간, 신장조직내 Cd축적이 감소되었다고 하였다. 이들 두 연구와 본 실험에서 식이 섬유질의 수준은 비슷하였으나 Omori의 실험⁹에서는 혼합 식이 섬유질을 공급했기 때문에 섬유질의 조성이나 종류를 본

Table 10. Urinary and fecal Pb excretions and Pb absorption ratio of rats fed on Pb and/or fiber containing diets.

EXP. groups	Urinary Pb (mg/day)	Fecal Pb (mg/day)	Pb Absorption ratio (%)
N N	0.01±0.00 ^{bc2)}	1.09±0.11bc	- N.S ⁴⁾
PbN	0.03±0.00ab	3.03±0.84a	96.40±0.84
N C	0.01±0.00c	0.34±0.06c	-
PbC	0.03±0.01a	2.56±0.75ab	97.41±0.75
N P	0.01±0.00c	1.39±0.17abc	-
PbP	0.03±0.01abc	3.07±0.67a	96.90±0.68
Significant factor ³⁾	A	A	

1) Mean±SE

2) Values with same alphabet within the column are not significantly different at $\alpha=0.05$ level by Scheffé test

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

4) Not significant at $\alpha=0.05$ level by Scheffé test.

실험조건과 비교하기 어려웠으며, 본 실험의 Pb 흡수 결과와 같이 Kiyozumi 등의 연구¹¹⁾에서도 cellulose는 Cd 흡수에 별 영향을 미치지 못했으나 다른 섬유질은 효과가 있었던 것으로 볼 때 식이 섬유질의 종류, 수준 및 분자량(입자의 크기) 등의 차이에 따라 Pb 흡수에 미치는 효과가 다를 수 있으리라 생각된다. 그리고, 식이 섬유질이 Cd와 Pb의 흡수에 미치는 영향도 각각 다를 수 있으므로 이에 대한 연구가 더 필요하다고 하겠다.

본 실험에서 식이 섬유질이 조직내 Pb 함량과 Pb 흡수율에는 별 영향을 미치지 못했으나 Pb 중독으로 인한 체중 증가율, 식이효율 및 단백질 효율의 감소가 cellulose 보다는 pectin 공급시 더욱 크게 나타났고, hematocrit과 hemoglobin 함량도 pectin 공급군(PbP)에서 가장 낮게 나타난 것으로 보아 오히려 pectin이 Pb 중독의 영향을 더욱 가중시킨 것으로 생각된다. 이는 cellulose 군(NC)에 비해 pectin(NP)군에서 변을 통한 총지방과 총 콜레스테롤 양이 더 컸고 질소 배설량도 많았던 것으로 미루어 pectin이 이들 영양소는 물론 다른

보고²⁾⁻⁸⁾에서 볼 수 있었던 Pb와 상호경쟁적으로 작용하여 Pb의 흡수를 억제시킬 수 있는 무기질(Ca, Zn, Fe)의 배설도 증가시킴으로써 간접적으로 Pb 중독의 영향을 증가시켰기 때문이 아닌까 생각된다.

요약 및 결론

이상의 결과를 요약해보면, Pb 공급시 식이 섭취량 및 체중의 감소가 현저히 나타났고 hemoglobin과 hematocrit 감소를 통해 Pb 중독 현상을 볼 수 있었다. 단백질과 지방대사에 대한 Pb의 영향을 보면 뇨와 변을 통한 질소, 총 지방 및 콜레스테롤의 배설량이 감소되었고, 혈청과 간 내의 단백질 함량이 감소되었으며, 혈청내 총 지방 및 콜레스테롤 함량은 큰 변화가 없었으나 간의 총 지방과 콜레스테롤 함량은 Pb 공급시 모두 감소되었다. 이와같은 Pb의 영향은 식이 섬유질 공급 유무와 식이 섬유질 종류에 따라 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 pectin 공급시 식이 단백질 및 지방 등의 배설을 증가시킴으로써

Pb에 의한 동물의 성장감소, 빈혈현상, 혈청 및 간의 단백질 함량저하, 간의 총 지방과 콜레스테롤 함량 저하등의 현상을 더욱 심화시켰다. 그러나 본 실험에서는 식이 섬유질에 의한 장내 Pb 흡수의 억제 효과는 볼 수 없었다.

References

- 1) Bryce-Smith D, Stephens R. *Sources & effects of environmental lead. In : Trace elements in health. Butterworths, London, p88-131, 1983*
- 2) Hamilton DL, Valverge LS. *Relationship between Cd and Fe absorption. Am J Physiol 227(5) : 1033, 1974*
- 3) Fox MRS, Effects of vitamin C and Fe on Cd metabolism. *Ann NY Acad Sci 355 : 249, 1980*
- 4) Ando M, Sayato Y. *Studies of the disposition of Ca in bones of rats after continuous oral administration of Cd. Toxicol Appl Pharmacol 61 :297, 1981*
- 5) Philip W, Wasak M. *Roles of dietary Ca and Ca binding protein in Cd toxicity. J Nutr 107 : 920, 1977*
- 6) Kojima S. *Effects of three proteins on absorption Cd in rats. Toxicology 34 : 161, 1985.*
- 7) Nordberg GF, Piscator M. *Influence of long term Cd exposure on urinary excretion of protein and Cd in mice. Environ Physiol Biochem 2 : 37, 1972*
- 8) Parizek J. *The destructive effect of Cd ion on testicular tissue and its prevention by Zn. J Endocrinology 15 :56. 1957.*
- 9) Omori M, Muto Y. *Effects of dietary protein, Ca, P, fiber on renal accumulation of exogenous Cd in young rats. J Nutr Sci Vitaminol 23 : 361, 1978.*
- 10) Revis NW, Osborn TR. *Dietary protein effects on Cd and metallothionein accumulation in the liver and kidney of rats. Environ Health Perspect 54 : 83, 1984*
- 11) Kiyozumi M, Mishima M, Noda S. *Studies on poisonous metals. IX. Effects of dietary fibers on absorption of Cd in rats. Chem Pharm Bull 30(12) 4494, 1982.*
- 12) Trowell H, Southgate DAT. *Dietary fiber redefined(letter). Lancet 1 : 967, 1976.*
- 13) Southgate DAT. *The relationship between composition and properties of dietary fiber and physiological effects. In : Dietary fiber-basic and clinical aspects-. Plenum NY. p35-48, 1986.*
- 14) Chen WJL, Anderson JW. *Hypocholesterolemic effects of soluble fibers. In : Dietary fiber-basic and clinical aspects. Plenum NY. p275-286, 1986.*
- 15) Hillman 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.*
- 16) Toma RB, Curtis DJ. *Dietary fiber : effect on mineral bioavailability. Food Tech 40(2) : 111, 1986.*
- 17) Gordon DT, Besch-Willifoed C. *The action of cellulose on the intestinal mucosa and elements absorption by the rats. J Nutr 113 : 2545, 1983.*
- 18) Kelsay JL. *Update on fiber and mineral availability. In ; Dietary fiber-basic and clinical aspects-. Plenum NY. p361-372, 1986.*
- 19) Thomson SA, Weber CW. *Influence of pH on the binding of copper, zinc and iron six fiber sources. J Food Sci 47 : 752, 1979.*
- 20) Sandberg AS, Hasselblad C. *The effects of wheat bran on the absorption of minerals in the small intestine. Br J Nutr 48 : 185, 1982.*
- 21) 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*

- 22) 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.
- 23) Jiang KS. *Effects of dietary cellulose and xylon on absorption and tissue contents of Zn and Cu in rats. J Nutr* 116 : 999, 1986.
- 24) Copper TG. *The tools of biochemistry. NY, John Wiley & Sons. 1977.*
- 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) Seligson B. *Standard method of clinical chemistry. NY, Academic Press. 1968.*
- 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, Cholak J, Henderson EW. *Determination of lead in biological and related material by atomic absorption spectrophotometer. Environ Sci Technol* 5 : 1020, 1971.
- 30) Spiller GA, Kay RM(eds). *Medical aspects of dietary fiber. Plenum. NY. 1980.*
- 31) Vahouny GV, Kritchevsky D(eds). *Dietary fiber in health and disease. Plenum. NY. 1982.*
- 32) Heaton KW. *Dietary fiber in perspective. Hum Nutr Clin Nutr* 37c : 151, 1983.
- 33) Kelsay JL. *Effects of fiber on mineral and vitamin bioavailability. In ; Dietary fiber in health and disease. p91-103, 1982.*
- 34) Vahouny GV, Cassidy MM. *Dietary fiber and intestinal adaptation. In : Dietary fiber-basic and clinical aspects-. Plenum. NY. p181-209, 1986.*
- 35) Vahouny GV, Cassidy MN. *Dietary fibers and absorption of nutrients. Proc Sco Exp Biol Med* 180 : 432, 1985.
- 36) Story JA. *Dietary fiber and lipid metabolism. Proc Sco Exp Biol Med* 180 : 447, 1985.
- 37) Atallah Melnik TA. *Effects of pectin structure on protein utilization by growing rats. J Nutr* 112 : 2027, 1982.
- 38) Farness PL, Schneeman BO. *Effects of dietary cellulose, pectin and oat bran on the small intestine in the rats. J Nutr* 112 : 1315, 1982.
- 39) Slavin JL, Marlett JA. *Effect of refined cellulose on apparent energy, fat and nitrogen digestibilities. J Nutr* 110 : 2020, 1980.