

감귤과피로부터 분리한 식이섬유가 흰쥐의 지방 및 Cadmium 대사에 미치는 영향*

김 미 경 · 정 혜 선

이화여자대학교 식품영양학과

Effect of Dietary Fibers Isolated from Tangerine Peels on Lipid and Cadmium Metabolism in the Rat

Kim, Mi Kyung · Chung, Hye Sun

Department of Foods & Nutrition, Ewha Womans University, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study was performed to investigate the effects of dietary fibers from tangerine peels on lipid and cadmium metabolism. And effects were compared with those of commercial dietary fibers(α -cellulose, citrus pectin). Sixty male rats of Sprague-Dawley strain weighing 186.7 ± 2.6 g were blocked into 12 groups according to body weight, and were raised for 2 weeks. Cadmium chloride was given at the levels of 0 or 400 ppm in diet. Various dietary fibers were given at the level of 0 or 4%(w/w) of diet. The results are summarized as follow. In lipid metabolism, insoluble fibers[insoluble dietary fibers from tangerine peels(IDF), α -cellulose] increased fecal excretion of lipids by increasing feces weight, and decreased the concentrations of serum triglyceride and liver lipids. Soluble dietary fibers from tangerine peels(SDF) decreased the concentrations of serum cholesterol and liver lipids by increasing fecal lipids, too. In cadmium metabolism, soluble fibers(SDF, pectin) inhibited Cd absorption by increasing fecal Cd excretion and decreased Cd concentrations of intestine, liver and kidney. In conclusion, among the extracted fibers, SDF were more effective on lipid and Cd lowering activity and IDF had effect of increasing fecal lipid excretion. This result is useful to reduce food waste and utilize waste products. (*Korean J Nutrition* 30(3) : 229~243, 1997)

KEY WORDS : TDF, IDF, SDF isolated from tangerine peels · lipid · cadmium.

서 론

식이섬유의 생리적 기능을 규명한 연구는 오래전부터 진행되어 왔고 대장암, 당뇨병, 심장질환 등의 예방과 관련이 있는 것으로 관심의 대상이 되어 왔다. 연구보고들¹⁻⁵⁾에 의하면 불용성 식이섬유는 소화관 운동을 증진시

키고 배변을 촉진시키며 변의 부피를 증가시키는 경향이 있고, 수용성 식이섬유는 당질 및 지질 대사를 개선시키고 소화관에서 영양소의 흡수를 느리게 하며 장의 pH를 변화시키는 작용이 있다고 한다.

한편 cadmium을 비롯한 중금속 오염 문제가 날로 심각해지고 있으며 따라서 중금속 오염을 예방하거나 해독할 수 있는 영양학적 방법에 관한 연구의 필요성이 절실히 요청되고 있다.

Cadmium은 주로 동식물의 생육과정이나 식품의 가공·제조 중에 외부에서 오염되어 들어가는 환경오염성

채택일 : 1997년 2월 4일

*이 연구는 보건복지부 보건의료기술연구 개발사업 연구비 지원에 의한 연구임.

중금속으로 소화기 또는 호흡기 등을 통해 체내로 흡수되어 간이나 신장에 축적된다. Cadmium에 중독되면 성장지연, 빈혈, 고혈압 등이 나타나고^{6,7)}, 조직형태의 변화가 일어나⁸⁾ 심장, 신장, 간, 골격 등에 질환을 유발하는데 이러한 Cd의 흡수 및 조직내 농도를 식이섬유가 감소시켰다는 보고들이 있다^{9,10)}.

식이섬유의 대표적인 급원인 과일·채소류의 섭취가 권장되고 있는 것도^{11,12)} 이러한 식이섬유의 생리적 효과 때문이며 우리나라도 1인 1일당 식품군별 섭취량 추이를 볼 때, 1970년 채소류 295g, 과일류 18.9g 이었던 것이 1992년 채소류 301.5g, 과일류 123.9g 으로 특히 과일류 섭취의 급격한 증가를 볼 수 있다.¹³⁾

감귤류는 우리나라에서 자체 생산·소비되는 대표적인 과일로서 전국통계연감¹⁴⁾에 의하면 1994년도 생산량이 약 55만 톤으로, 대부분이 식용으로 소비되고 약 3만 톤이 가공용으로 사용되고 있으나, 과육만이 이용될 뿐 엄청난 양의 과피는 산업 폐기물로 분류되어 버려지고 있다. 그러나 과피에는 pectin, hesperidin, naringin, peel oil 등의 성분이 많이 함유되어 있어 식품소재 또는 기능성 물질의 급원으로서 이용 가능성이 높다.

지금까지의 국내 감귤 과피 이용에 대한 연구를 보면 장호남 등¹⁵⁾이 감귤과피에서 pectin, hesperidin, naringin을 추출하여 폐과피내 함량을 측정하였고 문수계 등¹⁶⁾은 감귤과피내에 함유되어 있는 pectin을 추출하여 pectin과 pectingel의 특성에 관해 연구하였다. 최근 감귤과피로부터 분리한 식이섬유가 포도당, 담즙산, 카드몐 투과 억제에 미치는 효과를 in vitro 실험을 통해 알아본 연구¹⁷⁾가 선행되어졌으나 아직 생체내 효과를 확인해 본 실험은 없다.

따라서, 본 연구에서는 감귤과피로부터 총 식이섬유와 불용성 식이섬유, 수용성 식이섬유를 분리하여 각각의 식이섬유가 지방대사와 Cd 대사 및 중독에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고 이를 시판 α -cellulose, citrus pectin의 효과와 비교해 보고자 하였다.

실험재료 및 방법

1. 식이섬유의 추출 및 함량 분석

감귤은 무게가 100g 내의 정도의 중간크기의 것을 구입하여 냉동건조한 다음, Prosky 등의 분석방법을 변형시켜¹⁷⁾ 추출하였다.

감귤 과피로부터 추출한 총 식이섬유의 순도를 확인하기 위해 AOAC에서 승인된 Lee 등¹⁸⁾의 방법에 준하여 총 식이섬유(total dietary fibers : TDF), 불용성 식이섬유(insoluble dietary fibers : IDF), 수용성 식이섬

유(soluble dietary fibers : SDF)의 함량을 정량하였다.

2. 동물사육실험

1) 실험동물의 사육 및 식이

체중이 186.7±2.6g된 Sprague-Dawley종 수컷 흰 쥐 60마리를 체중에 따라 난괴법에 의하여 식이내 Cd (0, 400ppm), 식이섬유 종류(비침가군, TDF, IDF, SDF, α -cellulose, pectin)를 달리한 식이로 5마리씩 12군으로 나누어 2주간 사육하였다.

실험동물은 한마리씩 분리하여 stainless steel cage에서 사육하였으며 물(탈이온 증류수)과 식이는 제한없이 먹게 하였다. 실험에 사용된 cage, 식이그릇, 물병 등의 모든 기구는 무기질의 오염을 방지하기 위하여 0.4% EDTA(Ethylene Diamine Tetra Acetic acid) 용액으로 세척한 후 탈이온 증류수로 헹구어 사용하였다.

본 실험에서 사용한 식이의 구성성분은 Table 1과 같았다.

실험 이외의 탄수화물 급원으로는 옥수수 전분(corn starch, 풍진)을, 지방 급원으로는 옥수수유(corn oil, 제일제당)를 사용하였으며, 단백질 급원으로는 casein (Murray Goulburn Co-operative Co., Australia)을 사용하였다. 무기질과 비타민 혼합물은 각각 총 식이무게의 4%, 1% 수준으로 첨가하였고, 감귤과피로부터 분리한 총 식이섬유, 불용성 식이섬유, 수용성 식이섬유와 시판용 pectin(Sigma P9135), α -cellulose(Sigma C 8002)를, 일상적으로 섭취하는 수준인 식이무게의 4% 수준으로 식이내에 섞어 공급하였다. Cadmium은 cadmium chloride(CdCl₂, Showa Chemical, Japan)를 식이에 혼합하여 공급하였으며, 그 수준은 식이무게의 0.04%인 400ppm(Cd으로는 245ppm)이었다.

모든 실험 동물의 식이 섭취량은 매주 3회 일정한 시간에 측정하였다. 체중은 일주일에 한 번 일정한 시간에 측정하였고, 식이 섭취에서 오는 갑작스런 체중 변화를 막기 위하여 체중 측정 2시간 전에 식이 그릇을 빼주었다. 이상에서 측정된 식이 섭취량과 체중을 이용하여 실험 전 기간의 체중 증가량을 같은 기간에 섭취한 식이량으로 나누어 식이효율(food efficiency ratio, F.E.R.)을 산출하였다.

2) 흰쥐의 각종 장기, 혈액, 뇨, 변의 채취

Cadmium 보유를 측정하기 위해 실험 종료전 5일동안 10,000ppm의 CdCl₂용액 0.2ml를 하루에 한번 일정한 시각에 tube feeding하였고 이 기간에는 Cd를 뺀 식이

Table 1. Composition of experimental diets(per kg diet)

Ingredient	N N ¹⁾	N T	N I	N S	N C	N P	Cd N	Cd T	Cd I	Cd S	Cd C	Cd P
Corn starch(g)	698	658	658	658	658	658	697.6	657.6	657.6	657.6	657.6	657.6
Casein (g)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Corn oil (g)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fiber (g) ¹⁾	-	40	40	40	40	40	-	40	40	40	40	40
CdCl ₂ (g)	-	-	-	-	-	-	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Salt mix.(g) ²⁾	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Vitamin mix.(g) ³⁾	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Choline chloride(g)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

1) Total dietary fibers, I : Insoluble dietary fibers, S : Soluble dietary fibers, C : α-Cellulose, P : Pectin
 2) AIN salt mixture(g/kg mixture) : Calcium phosphate, dibasic(CaHPO₄ · 2H₂O) 500, Sodium chloride(NaCl) 74, Potassium sulfate(K₂SO₄) 220, Magnesium oxide(MgO) 52, Magnesium carbonate(43-48% Mn) 24, Ferric citrate(16-17% Fe) 3.5, Zinc carbonate(70% ZnO) 6, Cupric carbonate(53-55% Cu) 1.6, Potassium iodate(KIO₃) 0.3, Sodium selenite(Na₂SeO₃ · 5H₂O) 0.01, Chromium potassium sulfate(CrK(SO₄)₂ · 12H₂O) 0.55, Sucrose finely powdered, to make 1,000
 3) AIN vitamin mixture(mg/kg mixture) : Thiamine · HCl 600, Riboflavin 600, Pyridoxine · HCl 700, Nicotinic acid(Nicotinamide is equivalent.) 3,000, D-Calcium pantothenate 1, 600, Folic acid 200, D-Biotin 20, Cyanocobalamin(Vitamin B₁₂) 1, Retinyl palmitate or acetate(Vitamin A) as stabilized powder to provide 400,000IU vitamin A activity or 120,000 retinol equivalents, DL-α-Tocopheryl acetate(Vitamin E) as stabilized powder to provide 5,000IU vitamin E activity, Cholecalciferol(100,000IU, may be in powder form) 2.5, Menaquinone(Vitamin K, Menadiolone) 5, Sucrose finely powdered, to make 1,000.
 4) N N : none Cd+none fiber, N T : none Cd+total dietary fibers, N I : none Cd+insoluble dietary fibers, N S : none Cd+soluble dietary fibers, N C : none Cd+α-cellulose, N P : none Cd+pectin, Cd N : Cd added+none fiber, Cd T : Cd added+total dietary fibers, Cd I : Cd added+insoluble dietary fibers, Cd S : Cd added+soluble dietary fibers, Cd C : Cd added+α-cellulose, Cd P : Cd added+pectin

를 공급하여 주었다.

실험동물을 희생하기 3일전에 대사장(metabolic cage)에서 24시간 동안 뇨와 변을 채취하였다. 뇨와 변을 채취할 때 식이에 의하여 시료의 성분이 오염되는 것을 방지하기 위해 식이 그릇을 대사장에 넣어주지 않았으며 물은 제한없이 공급하였다. 이 때 뇨와 변을 채취하지 않은 동안에는 원래의 사육장에 있으면서 Cd을 배식이를 공급받았다. 또한 tube feeding으로 인한 stress를 고려하여 Cd 비공급군에게도 동량의 탈이온 증류수를 tube feeding하였다. Cadmium 보유율은 1일 동안의 Cd 경구투여량과 1일 뇨와 변의 배설량을 통하여 계산하였다.

채취한 뇨는 40ml가 되도록 탈이온 증류수로 희석하여 7,000rpm에서 10분간 원심분리시켜 상층액을 냉동보관하여 Cd 및 creatinine 분석에 이용하였다. 변은 건조시켜 항량이 된 후 무게를 잰 다음 Cd 및 total lipid, cholesterol, 중성지방 분석에 이용할 때까지 냉동보관하였다.

실험 기간이 끝난 후 12시간 굶긴 동물을 ethyl ether로 마취시켜서 단두에 의해 희생시키고 혈액을 채취하였다. 혈액의 일부는 heparin처리를 한 시험관에 받아 Cd농도를 측정하기 위해 냉동보관하였고, 나머지는 실온에서 30분이상 방치시켰다가 2,000rpm에서 30분간 원심분리시켜 혈청을 얻은 후 cholesterol, 중성지방, HDL-cholesterol, creatinine 분석시까지 냉동보관하였다.

혈액 채취 즉시 실험 동물을 해부하여 간과 신장을 떼어내어 무게를 측정한 후 간의 지질과 간, 신장의 Cd 및 metallothionein(MT)를 분석할 때까지 -70℃의 deep freezer에 보관하였고 소장은 십이지장 시작부위부터 회장 끝부분까지 분리해 내어 장 내용물을 제거한 후 Cd과 MT를 분석할 때까지 -70℃ deep freezer에 냉동 보관하였다.

시료 채취에 사용된 모든 기구는 무기질의 오염을 방지하기 위하여 0.4% EDTA 용액으로 처리한 후에 탈이온 증류수로 헹구어 사용하였다.

3) 생화학적 분석

혈청의 총 cholesterol은 cholesterol esterase를 이용한 분석 kit(영동제약)로 Spectrophotometer(Spectronic 301, Milton Roy)에서 파장 500nm에서 비색 정량하였고 중성지방은 lipoprotein lipase를 이용한 분석 kit(신양화학약품)로 파장 505nm에서 비색정량하였다. HDL-cholesterol은 cholesterol esterase를 이용한 분석 kit(국제시약, 일본)로 파장 540nm에서 비색정

량하였다.

간과 변의 총지방량은 Bligh and Dyer법¹⁹⁾을 이용하여 정량하였다.

간과 변의 중성지방은 lipoprotein lipase를 이용한 분석 kit(신양화학약품)로 505nm에서 비색정량하였고, cholesterol은 cholesterol esterase를 이용한 분석 kit(영동제약)로 500nm에서 비색정량하였다.

혈액내 Cd농도는 냉동 보관하였던 혈액을 0.5ml 취하여 Zinterhofer법²⁰⁾에 의하여 측정하였다.

뇨의 Cd농도는 냉동보관하였던 뇨를 3N HCl과 3N NaOH를 사용하여 pH를 5.5로 맞춘 뒤, 10ml를 취하여 Zinterhofer법에 의하여 추출된 Cd의 농도를 AAS로 파장 228.8nm에서 측정하였다.

간, 신장, 소장, 변의 Cd 농도는 냉동보관하였던 시료를 110°C drying oven에서 항량이 될 때까지 건조시켜서, 550°C muffle furnace에서 24시간 동안 회화시켜 농질산 1ml로 녹인 후 1N HCl 20ml로 희석하여 Yeager법²¹⁾에 의하여 AAS로 농도를 측정하였다.

간, 신장, 소장의 MT 농도는 Cadmium/hemoglobin affinity assay 방법²²⁻²⁴⁾을 이용하여 측정하였다. 즉, 각 조직을 10mM Tris-HCl 용액으로 균질화시킨 후 10,000rpm에서 10분간 원심분리하고 supernatant fraction을 boiling water bath에서 2분간 가열한 후 10,000rpm에서 2분간 원심분리하여 cytosol을 얻는다. 일정량의 cytosol에 0.26mM Cd 용액을 첨가하여 MT을 saturation시킨다. 여기에 Red Blood Cell (RBC) hemolysate를 첨가하고 95°C boiling water bath에서 2분간 가열한 후 10,000 rpm에서 2분간 원심분리하였고 열처리와 원심분리를 반복하여 실행하였다. 이렇게 얻은 상층액을 취한 다음 Cd농도를 AAS에서 파장 228.8nm로 측정하였고 1mol의 MT(Mol wt 6050으로 가정)에 7mol의 Cd이 붙는다는 가정에 MT 농도를 구하였다.

혈청과 뇨의 creatinine 농도 측정은 Jaffe 반응의 변형법²⁵⁾을 이용한 kit(영동제약)을 사용하였고 이로부터 creatinine clearance(glomerular filtration rate, GFR, ml/min)를 계산하였다.

4) 통계처리

본 연구의 모든 실험결과는 실험군당 평균치와 표준오차를 계산하여 $\alpha=0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test로 각 실험군의 평균치간의 유의성을 검정하였다. 또한 각 실험인자(A: 식이 Cd 수준, B: dietary fiber 종류)의 영향과 이들의 상호작용(AB: Cd×fiber)에 의한 영향은 $\alpha=0.05$ 수준에서 이원배치 분산분

석(two-way analysis of variance)으로 유의성을 검정하였다.

실험결과

1. 감귤과피 식이섬유의 수율 및 순도

감귤에서 과피부분은 신선물 기준으로 21~24%를 차지하며 과피의 수분은 75~78%였다. 감귤과피로부터 얻은 식이섬유의 수율은 신선물 기준으로 총 식이섬유(TDF)가 2.79%였고 불용성(IDF), 수용성(SDF) 식이섬유가 각각 2.01%, 0.34%였다.

식이섬유(TDF)의 순도는 77.6%였으며, 이중 IDF가 65.1%, SDF가 12.5%로 IDF가 SDF의 약 5.2배였다. 수분의 함량은 12.1%였고 회분과 단백질 함량은 각각 9.2%, 1.1%였다.

2. 실험동물의 성장

1) 식이섬유량과 체중변화 및 식이효율

Table 2에 의하면 식이 섭취량은 식이내 Cd 공급유무와 식이섬유 종류, 그리고 이 두인자의 상호작용에 따른 영향을 받아 Cd 공급군들이 비공급군들에 비해 낮게 나타났다. Cd 비공급군에서는 TDF, IDF를 첨가한 군이 식이섬유를 첨가하지 않은 군에 비해 높았고 Cd 공급군에서는 pectin을 첨가한 군이 식이섬유를 첨가하지 않은 군에 비해 높았다.

체중변화는 Cd 비공급군들에서는 모두 체중이 증가됨을 볼 수 있었으나, 특히 IDF 첨가군의 체중 증가가 가장 컸으며 SDF 첨가군은 낮았다. Cadmium 공급군들에서는 모두 체중이 감소되었으며 특히 α -cellulose를 첨가한 군은 다른 식이섬유 첨가군들에 비해 체중감소가 심한 경향을 보였다.

식이 효율(F.E.R.)은 Cd을 공급한 군들에서 모두 음의 수치를 보였고, 특히 Cd 공급군들 중에서 α -cellulose를 첨가한 군이 다른 군들에 비해 유의적으로 낮게 나타났다. Cd 비공급군들에서는 군간에 큰 차이없이 비슷하였다.

2) 장기무게

간, 신장, 소장의 무게는 Table 3과 같았다.

간의 무게는 식이내 Cd의 영향을 받아 Cd 공급군들이 비공급군들에 비해 낮았다. 식이섬유 종류에 따라서는 Cd 공급군들에서는 유의적 차이가 없었으나 Cd 비공급군들 중에서는 TDF, IDF를 첨가한 군이 다른 군보다 높은 경향을 보였다. 신장의 총무게는 Cd 공급유무에 따라 차이가 있어 Cd 공급군들이 비공급군들에 비해

Table 2. Food intake and body weight gain

Groups	Food intake(g/day)	Body weight gain(g/2weeks)	F.E.R.
N N	12.91 ± 1.03 ^{b12)}	47.54 ± 10.11 ^{ab}	0.25 ± 0.05 ^a
N T	16.50 ± 1.04 ^a	58.76 ± 10.30 ^{ab}	0.25 ± 0.04 ^a
N I	16.54 ± 0.96 ^a	61.71 ± 5.55 ^a	0.27 ± 0.04 ^a
N S	12.39 ± 0.85 ^{bc}	38.74 ± 8.59 ^b	0.21 ± 0.04 ^a
N C	12.70 ± 0.90 ^{bc}	50.58 ± 5.24 ^{ab}	0.28 ± 0.01 ^a
N P	13.17 ± 1.12 ^b	51.15 ± 7.82 ^{ab}	0.28 ± 0.04 ^a
Cd N	7.56 ± 0.81 ^{de}	- 11.19 ± 5.68 ^c	- 0.13 ± 0.07 ^b
Cd T	7.34 ± 1.13 ^e	- 8.88 ± 6.62 ^c	- 0.13 ± 0.10 ^b
Cd I	7.29 ± 0.43 ^e	- 13.85 ± 6.17 ^c	- 0.15 ± 0.07 ^b
Cd S	7.93 ± 0.42 ^{de}	- 13.32 ± 5.05 ^c	- 0.12 ± 0.04 ^b
Cd C	6.26 ± 0.81 ^e	- 30.42 ± 5.85 ^c	- 0.40 ± 0.11 ^c
Cd P	10.12 ± 0.66 ^{cd}	- 11.66 ± 2.98 ^c	- 0.08 ± 0.02 ^b
Significant factor ³⁾	A, B, AB	A	A, AB

1) Mean ± S.E.

2) Values with different alphabet within the column are significantly different at α=0.05 by Duncan's multiple range test

3) Statistical significance of dietary factors was calculated based on 2-way ANOVA

A : Cd effect was significant at α=0.05

B : Fiber effect was significant at α=0.05

AB : Effect of cadmium × fiber was significant at α=0.05

Table 3. Wet weight of liver, kidney and small intestine

Groups	Liver(g)	Kidney(g)	Small Intestine(g)
N N	6.73 ± 0.48 ^{cd12)}	1.65 ± 0.11 ^{cd}	4.16 ± 0.39 ^{N.S.4)}
N T	8.53 ± 0.64 ^a	1.96 ± 0.08 ^a	4.48 ± 0.29
N I	8.20 ± 0.46 ^{ab}	1.93 ± 0.09 ^{ab}	4.15 ± 0.43
N S	6.51 ± 0.44 ^{cd}	1.57 ± 0.07 ^{cde}	4.32 ± 0.38
N C	6.66 ± 0.28 ^{cd}	1.62 ± 0.03 ^{cde}	3.23 ± 0.39
N P	7.11 ± 0.42 ^{bc}	1.71 ± 0.05 ^{bc}	3.71 ± 0.39
Cd N	5.47 ± 0.57 ^d	1.28 ± 0.09 ^f	3.88 ± 0.64
Cd T	5.61 ± 0.32 ^{cd}	1.43 ± 0.05 ^{def}	4.11 ± 0.26
Cd I	5.43 ± 0.21 ^d	1.38 ± 0.06 ^{ef}	4.03 ± 0.42
Cd S	5.71 ± 0.35 ^{cd}	1.40 ± 0.06 ^{def}	3.45 ± 0.22
Cd C	5.25 ± 0.83 ^d	1.40 ± 0.11 ^{def}	3.34 ± 0.27
Cd P	5.91 ± 0.19 ^{cd}	1.45 ± 0.08 ^{def}	3.74 ± 0.15
Significant factor ³⁾	A	A, B	

1), 2), 3) See Table 2

4) Not significant at α=0.05 by Duncan's multiple range test.

낮게 나타났고, 식이섬유를 첨가하지 않은 군보다 식이섬유를 첨가한 군들이 높은 경향을 나타냈으며 식이섬유 종류에 따른 영향으로는 TDF를 첨가한 군의 신장무게가 가장 높았다. 소장의 무게는 식이내 Cd 공급유무와 식이섬유 종류에 따른 영향을 받지 않아 각 군들간에 유의적인 차이가 없었다.

3. 지방대사

1) 혈청내 cholesterol, 중성지방, HDL-cholesterol 농도, HDL : Total cholesterol ratio

혈청의 지방분석 결과는 Table 4와 같았다

식이 섬유를 첨가하지 않은 군들에 비해 다소 낮은 경향을 보였고, 특히 Cd 공급군 중 pectin을 첨가한 군의 농도가 가장 낮았다.

혈청 중성지방의 농도는 Cd 공급으로 유의적으로 감소하였고 Cd 공급군들에서 식이섬유를 첨가하지 않은 군보다 첨가한 군의 농도가 낮은 경향을 보였다. 첨가한 식이섬유 종류에 따른 영향으로는 Cd 비공급군들에서는 TDF 첨가군이 낮았으나 Cd 공급군들에서는 TDF와 α-cellulose 첨가군이 유의적으로 낮았다.

혈청의 HDL-cholesterol 농도는 Cd 공급군들이 비공급군들에 비하여 낮았고 유의적인 차이는 없었으나

Table 4. Serum total cholesterol, triglyceride and HDL-cholesterol concentrations and HDL : total cholesterol ratio

Groups	Serum cholesterol (mg/100ml)	Serum triglyceride (mg/100ml)	Serum HDL-cholesterol (mg/100ml)	HDL : total cholesterol ratio
N N	87.92 ± 8.13 ^{a1)2)}	125.45 ± 21.05 ^{abc}	19.72 ± 1.78 ^b	0.31 ± 0.02 ^b
N T	65.00 ± 8.19 ^{ab}	94.39 ± 18.30 ^{bcd}	29.24 ± 4.33 ^{ab}	0.33 ± 0.04 ^b
N I	75.63 ± 4.23 ^{ab}	130.20 ± 16.33 ^{ab}	31.14 ± 3.03 ^a	0.51 ± 0.07 ^a
N S	63.96 ± 7.30 ^{ab}	172.17 ± 18.71 ^a	25.65 ± 2.80 ^{ab}	0.34 ± 0.04 ^b
N C	85.00 ± 7.47 ^{ab}	142.53 ± 13.18 ^{ab}	29.22 ± 4.01 ^{ab}	0.36 ± 0.06 ^b
N P	71.04 ± 12.01 ^{ab}	152.25 ± 27.82 ^a	20.63 ± 1.73 ^b	0.32 ± 0.04 ^b
Cd N	82.92 ± 13.65 ^{ab}	73.28 ± 20.75 ^{cde}	19.72 ± 2.49 ^b	0.26 ± 0.04 ^b
Cd T	63.13 ± 4.85 ^{ab}	35.57 ± 14.68 ^e	20.91 ± 2.28 ^b	0.33 ± 0.02 ^b
Cd I	73.54 ± 7.24 ^{ab}	54.55 ± 18.52 ^{de}	22.91 ± 2.30 ^{ab}	0.31 ± 0.01 ^b
Cd S	65.83 ± 7.09 ^{ab}	50.75 ± 18.26 ^{de}	20.96 ± 3.79 ^b	0.31 ± 0.02 ^b
Cd C	66.67 ± 6.95 ^{ab}	23.24 ± 7.97 ^e	22.81 ± 3.08 ^{ab}	0.34 ± 0.01 ^b
Cd P	57.92 ± 4.07 ^b	72.57 ± 10.78 ^{cde}	19.82 ± 2.01 ^b	0.34 ± 0.02 ^b
Significant factor ³⁾		A	A	A

1), 2), 3) See Table 2

나타났다. 특히, IDF, α-cellulose를 첨가한 군이 다소 높은 경향을 보였다.

HDL-cholesterol : total cholesterol ratio에서는 식이내 Cd의 영향을 받아 Cd 공급군들이 비공급군들보다 낮았고 식이섬유 첨가군들과 비첨가군들을 비교하여 볼 때 유의적인 차이는 아니지만 첨가군들이 좀더 높은 경향을 나타냈다. 특히 Cd 비공급군의 IDF 첨가군이 가장 높았다.

2) 간의 총지방, cholesterol, 중성지방의 농도

간의 지방분석 결과는 Table 5에 제시하였다.

간의 총지방 농도는 Cd 공급의 영향으로 Cd 공급군들이 비공급군들보다 훨씬 낮았다. 식이섬유 공급여부나 첨가한 식이섬유 종류에 따른 군들간의 유의적인 차이는 없었으나 Cd 비공급군에서는 TDF, IDF 첨가군이 높았고, Cd 공급군들에서는 TDF, SDF를 첨가한 군이 낮았다.

간의 cholesterol 농도는 식이내 Cd의 영향을 받아 Cd 공급군들이 비공급군들보다 낮았다. 식이섬유 공급 여부에 따른 영향을 보면 Cd 비공급군에서는 식이섬유 첨가군들이 첨가하지 않은 군에 비하여 다소 높았으나 Cd 공급군들에서는 식이섬유를 첨가한 군들이 첨가하지 않은 군보다 낮은 경향을 나타냈으며 특히 TDF, SDF 첨가군이 낮았다.

간의 중성지방 농도는 Cd 공급의 영향으로 Cd 공급군들이 비공급군들보다 훨씬 낮았으며 식이섬유를 첨가한 군들이 첨가하지 않은 군보다 낮은 경향을 보였다. 특히 Cd 비공급군들 중에서는 pectin 첨가군이 낮았고 Cd 공급군들 중에서는 α-cellulose 첨가군이 낮았다.

3. 변의 무게 및 총지방, cholesterol, 중성지방 배설량

변의 무게 및 총지방, cholesterol, 중성지방 배설량은 Table 6과 같았다.

Table 5. Liver total lipid, cholesterol and triglyceride concentrations

Groups	Liver lipid(mg/g wet wt)	Liver cholesterol(mg/g wet wt)	Liver TG(mg/g wet wt)
N N	32.20 ± 4.13 ^{abc1)2)}	1.79 ± 0.14 ^{ab}	6.91 ± 0.39 ^{ab}
N T	42.96 ± 8.47 ^a	2.23 ± 0.20 ^a	6.74 ± 0.78 ^{ab}
N I	41.68 ± 4.54 ^a	2.23 ± 0.33 ^a	7.87 ± 0.68 ^a
N S	34.04 ± 6.03 ^{abc}	2.19 ± 0.33 ^a	5.35 ± 1.05 ^{bc}
N C	36.64 ± 3.79 ^{ab}	2.19 ± 0.18 ^a	5.43 ± 0.95 ^{bc}
N P	34.16 ± 2.89 ^{abc}	2.05 ± 0.20 ^a	4.34 ± 0.53 ^{cd}
Cd N	30.04 ± 0.59 ^{abc}	1.65 ± 0.04 ^{abc}	3.02 ± 0.20 ^{de}
Cd T	23.24 ± 1.39 ^c	1.07 ± 0.12 ^c	2.19 ± 0.46 ^e
Cd I	26.96 ± 3.63 ^{bc}	1.22 ± 0.12 ^{bc}	2.21 ± 0.88 ^e
Cd S	22.84 ± 2.28 ^c	1.10 ± 0.12 ^c	2.02 ± 0.46 ^e
Cd C	26.92 ± 1.41 ^{bc}	1.26 ± 0.15 ^{bc}	1.77 ± 0.24 ^e
Cd P	27.76 ± 1.18 ^{bc}	1.42 ± 0.04 ^{bc}	2.53 ± 0.56 ^{de}
Significant factor ³⁾	A	A	A, AB

1), 2), 3) See Table 2

변의 무게는 Cd 공급과 식이섬유 종류에 따른 영향이 나타났다. Cadmium 공급으로 인하여 Cd 공급군들이 비공급군들보다 유의적으로 낮았고, 식이섬유를 첨가한 군들이 첨가하지 않은 군보다 높은 경향을 보였다. 특히 Cd 비공급군들 중 IDF, α -cellulose를 첨가한 군이 유의적으로 높았다.

변의 총지방 배설량은 Cd 공급군이 비공급군보다 유의적으로 낮았고, 식이섬유를 첨가한 군들이 첨가하지 않은 군에 비해 유의적으로 높았다. 특히 Cd 비공급군들에서는 IDF와 pectin을 첨가한 군이 높았고 Cd 공급군들에서는 α -cellulose와 pectin을 첨가한 군이 높았다.

변의 cholesterol 배설량은 식이내 Cd 및 식이섬유의 영향이 나타났다. Cadmium 공급군들이 비공급군들에

비하여 낮게 나타났고 식이섬유를 첨가한 군들이 첨가하지 않은 군보다 높은 경향을 보였다. 특히 Cd 비공급군과 Cd 공급군들 모두에서 α -cellulose 첨가군들이 가장 높았다.

변의 중성지방은 Cd 공급군들이 비공급군들보다 낮았고, 대체적으로 식이섬유를 첨가한 군들이 첨가하지 않은 군보다 높은 경향을 보였으나 Cd 비공급군들 중에서 TDF 첨가군만이 낮았다.

4. Cadmium의 중독과 대사

1) 혈액과 소장, 간, 신장의 cadmium 농도

혈액 등 각 조직의 Cd 농도는 Table 7에 수록하였다. 혈액의 Cd 농도는 Cd 공급으로 유의적으로 증가하였으며 식이섬유 종류에 따른 차이는 보이지 않았으나 단

Table 6. Fecal weight and total lipid, cholesterol and triglyceride excretions

Groups	Fecal weight (g/day)	Fecal lipid (mg/day)	Fecal cholesterol (mg/day)	Fecal triglyceride (mg/day)
N N	0.44±0.09 ^{b1)2)}	34.41±0.62 ^{de}	0.98±0.01 ^{ef}	1.42±0.13 ^a
N T	0.48±0.06 ^b	27.94±0.78 ^b	0.89±0.04 ^f	0.92±0.22 ^b
N I	0.83±0.07 ^a	53.62±0.61 ^a	1.45±0.03 ^c	1.43±0.18 ^a
N S	0.48±0.08 ^b	36.10±0.90 ^{cd}	1.84±0.15 ^b	1.77±0.05 ^a
N C	0.84±0.16 ^a	37.97±0.41 ^c	2.52±0.20 ^a	1.74±0.32 ^a
N P	0.45±0.08 ^b	42.84±0.97 ^b	1.16±0.07 ^{de}	1.59±0.07 ^a
Cd N	0.26±0.07 ^b	11.80±0.70 ⁱ	0.19±0.01 ^h	0.29±0.02 ^c
Cd T	0.29±0.09 ^b	13.78±0.84 ⁱ	0.36±0.01 ^{gh}	0.49±0.14 ^c
Cd I	0.36±0.08 ^b	25.56±0.65 ^h	0.43±0.01 ^{gh}	0.53±0.01 ^{bc}
Cd S	0.41±0.05 ^b	31.90±0.99 ^f	0.43±0.07 ^{gh}	0.42±0.01 ^c
Cd C	0.36±0.05 ^b	33.12±0.65 ^{ef}	1.27±0.03 ^{cd}	0.29±0.03 ^c
Cd P	0.36±0.09 ^b	34.56±0.84 ^{de}	0.52±0.05 ^g	0.44±0.07 ^c
Significant factor ³⁾	A, B	A, B, AB	A, B, AB	A, AB

1), 2), 3) See Table 2

Table 7. Cadmium concentrations in blood, small intestine, liver and kidney

Groups	Blood Cd (μ g/100ml)	Intestine Cd (μ g/g wet wt)	Liver Cd (μ g/g wet wt)	Kidney Cd (μ g/g wet wt)
N N	3.88±0.34 ^{c1)2)}	1.45±0.06 ^b	2.55±0.53 ^c	1.71±0.39 ^b
N T	4.14±0.22 ^c	0.78±0.15 ^b	1.54±0.20 ^c	0.84±0.20 ^b
N I	3.39±0.62 ^c	0.96±0.17 ^b	1.51±0.54 ^c	1.16±0.25 ^b
N S	3.96±0.21 ^c	0.77±0.21 ^b	2.18±0.41 ^c	1.22±0.19 ^b
N C	3.89±0.13 ^c	1.00±0.26 ^b	2.20±0.24 ^c	0.99±0.24 ^b
N P	4.00±0.18 ^c	0.69±0.25 ^b	2.12±0.14 ^c	1.36±0.50 ^b
Cd N	45.04±4.94 ^b	6.63±2.59 ^a	50.02±1.39 ^a	28.71±2.49 ^a
Cd T	48.20±3.43 ^{ab}	6.47±2.33 ^a	40.96±3.56 ^b	25.02±1.79 ^a
Cd I	47.64±4.20 ^{ab}	5.22±2.25 ^{ab}	38.29±4.32 ^b	26.28±2.61 ^a
Cd S	51.32±1.32 ^{ab}	4.54±0.83 ^{ab}	42.18±4.15 ^b	28.62±1.96 ^a
Cd C	53.72±1.82 ^a	8.38±1.88 ^a	43.75±3.76 ^{ab}	27.60±3.68 ^a
Cd P	50.44±1.37 ^{ab}	5.22±0.87 ^{ab}	40.14±2.66 ^b	25.10±1.37 ^a
Significant factor ³⁾	A	A	A	A

1), 2), 3) See Table 2

지 Cd 공급군들 중에서 α -cellulose 를 첨가한 군만이 다른 Cd 공급군들에 비하여 높았다.

소장의 Cd 농도는 Cd 공급군들이 비공급군들보다 높았고, 식이섬유를 첨가한 군이 첨가하지 않은 군보다 다소 낮은 경향을 보였으나 Cd 공급군들 중 α -cellulose 를 첨가한 군은 다른 군들에 비해 그 수치가 높았고 나머지 군들에서는 식이섬유 종류에 따른 뚜렷한 차이는 볼 수 없었다.

간의 Cd 농도는 식이내 Cd의 영향으로 Cd 공급군들이 비공급군들보다 유의적으로 높았고 식이섬유를 첨가한 군들이 첨가하지 않은 군보다 낮은 경향을 보였다. 그러나 식이섬유 종류에 의한 차이는 보이지 않았다.

신장의 Cd 농도는 Cd 공급으로 유의적으로 증가하였고 식이섬유 공급여부에 따라 유의적인 차이는 없었으나 식이섬유를 첨가한 군이 첨가하지 않은 군보다 낮은 경향을 보였다. 그리고 식이섬유 종류에 의한 차이는 보이지 않았다.

2) 뇨와 변의 cadmium 배설량과 cadmium 보유율

Tube feeding에 의해 동량의 Cd를 공급하는 동안 채취한 뇨와 변 중의 배설량은 Table 8에 제시하였다.

뇨를 통한 Cd 배설량은 Cd 공급의 영향으로 Cd 공급군들이 비공급군들보다 높았고, 특히 Cd 공급군에서 식이섬유를 공급함으로써 첨가하지 않은 군보다 유의적으로 높게 나타났다. 식이섬유 종류에 따른 영향으로는 α -cellulose 첨가군이 가장 높았고, 그 다음이 pectin, TDF의 순이었다.

변의 Cd 배설량은 식이내 Cd의 영향을 받아 Cd 공급군들이 비공급군들보다 현저하게 높았고 식이섬유를 첨가한 군들이 비첨가군보다 높은 경향을 보였다. 특히 Cd 공급군 중 pectin을 첨가한 군의 Cd 배설량이 제일

높았고 그 다음으로 SDF, α -cellulose, IDF를 첨가한 군도 식이섬유를 첨가하지 않은 군보다 유의적으로 높았다.

Cadmium 보유율은 식이섬유를 첨가하지 않은 군이 식이섬유를 첨가한 군보다 유의적으로 높았다. 식이섬유 종류에 따른 영향으로는 pectin을 첨가한 군이 가장 낮았고 그 다음으로 SDF, α -cellulose, IDF 첨가군도 낮은 보유율을 나타냈다. 그러나 TDF는 식이섬유를 첨가하지 않은 군과 유의적인 차이가 없었다.

3) 소장, 간, 신장의 metallothionein 농도

소장, 간, 신장의 MT 농도는 Table 9에 제시하였다.

소장의 MT 농도는 Cd를 공급한 군들에서 유의적으로 높은 수준을 나타냈고 특히, Cd 공급군들에서 식이섬유 종류에 따른 차이를 보여 TDF, IDF를 첨가한 군이 식이섬유를 첨가하지 않은 군과 비슷한 수준으로 높았으며 SDF와 α -cellulose를 첨가한 군은 다른 군들에 비해 낮았다.

간의 MT 농도는 Cd를 공급한 군들에서 유의적으로 높았고 식이섬유 첨가유무에 따른 유의적인 차이는 없었으나 식이섬유를 첨가하지 않은 군이 첨가한 군들보다 다소 높은 경향을 보였다. 그리고 식이섬유 종류에 따른 차이는 보이지 않았다.

신장의 MT 농도는 Cd를 공급한 군들에서 유의적으로 높은 수준을 보였고 식이섬유 종류에 따른 유의적인 차이는 없었다.

4) 사구체 여과율

본 연구에서는 혈청의 creatinine 농도, 뇨 creatinine 배설량을 측정해서 사구체 여과율을 계산하여 신장 기능의 변화여부를 알아보고 그 결과를 Table 10에 제

Table 8. Urinary and fecal Cd excretions, and Cd retention ratio

Groups	Urinary Cd(μ g/day)	Fecal Cd(μ g/day)	Cd retention ratio (%)
N N	1.08 \pm 0.09 ⁸⁾¹²⁾	0.43 \pm 0.07 ^e	-
N T	1.01 \pm 0.01 ⁸	0.55 \pm 0.02 ^e	-
N I	1.11 \pm 0.06 ⁸	0.85 \pm 0.14 ^e	-
N S	1.56 \pm 0.04 ⁸	0.96 \pm 0.05 ^e	-
N C	1.47 \pm 0.08 ⁸	1.50 \pm 0.12 ^e	-
N P	1.40 \pm 0.06 ⁸	0.66 \pm 0.02 ^e	-
Cd N	11.73 \pm 0.96 ^f	361.57 \pm 20.82 ^d	81.33 \pm 1.07 ^a
Cd T	29.33 \pm 0.89 ^c	400.15 \pm 26.41 ^d	78.53 \pm 1.28 ^a
Cd I	21.60 \pm 1.16 ^e	520.37 \pm 56.70 ^c	72.73 \pm 2.90 ^b
Cd S	24.80 \pm 0.25 ^d	628.22 \pm 15.35 ^b	67.35 \pm 0.77 ^c
Cd C	49.87 \pm 0.89 ^a	589.77 \pm 28.67 ^b	68.02 \pm 1.43 ^c
Cd P	38.40 \pm 0.67 ^b	901.96 \pm 18.50 ^a	52.98 \pm 0.89 ^d

Table 9. Metallothionein concentrations in small intestine, liver and kidney

Groups	Intestine MT($\mu\text{g/g}$ wet wt)	Liver MT($\mu\text{g/g}$ wet wt)	Kidney MT($\mu\text{g/g}$ wet wt)
N N	3.22 \pm 0.25 ^{d1)2)}	21.89 \pm 0.29 ^b	8.23 \pm 0.61 ^b
N T	2.75 \pm 0.46 ^d	20.06 \pm 3.52 ^b	10.50 \pm 1.19 ^b
N I	2.62 \pm 0.51 ^d	14.97 \pm 0.85 ^b	12.79 \pm 1.57 ^b
N S	3.39 \pm 0.44 ^d	16.20 \pm 0.29 ^b	13.75 \pm 2.28 ^b
N C	3.84 \pm 0.53 ^d	18.64 \pm 1.04 ^b	12.52 \pm 1.19 ^b
N P	4.11 \pm 0.64 ^d	21.54 \pm 2.66 ^b	14.65 \pm 2.28 ^b
Cd N	18.50 \pm 2.30 ^a	174.79 \pm 29.87 ^a	50.33 \pm 9.68 ^a
Cd T	19.25 \pm 3.18 ^a	143.38 \pm 15.37 ^a	45.99 \pm 2.31 ^a
Cd I	19.43 \pm 4.79 ^a	163.67 \pm 17.31 ^a	43.66 \pm 5.71 ^a
Cd S	6.30 \pm 0.92 ^{cd}	169.78 \pm 16.66 ^a	40.63 \pm 1.65 ^a
Cd C	10.62 \pm 2.47 ^{bc}	168.90 \pm 10.09 ^a	44.37 \pm 4.15 ^a
Cd P	14.36 \pm 3.10 ^{ab}	161.28 \pm 7.24 ^a	40.12 \pm 4.74 ^a
Significant factor ³⁾	A, B, AB	A	A

1), 2), 3) See Table 2

Table 10. Serum and urine creatinine level and creatinine clearance rate

Groups	Serum creatinine(mg/100ml)	Urinary creatinine(mg/day)	Creatinine clearance(ml/min)
N N	0.62 \pm 0.08 ^{ab1)2)}	5.72 \pm 1.58 ^{bc}	0.69 \pm 0.20 ^{ab}
N T	0.55 \pm 0.12 ^{ab}	8.57 \pm 1.45 ^{ab}	1.13 \pm 0.16 ^a
N I	0.60 \pm 0.06 ^{ab}	10.71 \pm 1.63 ^a	1.26 \pm 0.19 ^a
N S	0.48 \pm 0.07 ^{ab}	6.31 \pm 1.45 ^{bc}	0.86 \pm 0.10 ^{ab}
N C	0.51 \pm 0.09 ^{ab}	5.33 \pm 1.54 ^{bc}	0.86 \pm 0.23 ^{ab}
N P	0.69 \pm 0.16 ^a	5.33 \pm 1.63 ^{bc}	0.52 \pm 0.16 ^b
Cd N	0.37 \pm 0.02 ^b	3.53 \pm 0.89 ^c	0.69 \pm 0.19 ^{ab}
Cd T	0.37 \pm 0.02 ^b	5.17 \pm 1.03 ^{bc}	1.07 \pm 0.22 ^{ab}
Cd I	0.37 \pm 0.07 ^b	6.49 \pm 1.57 ^{bc}	1.12 \pm 0.23 ^a
Cd S	0.46 \pm 0.06 ^{ab}	7.09 \pm 0.20 ^{abc}	1.07 \pm 0.03 ^{ab}
Cd C	0.48 \pm 0.07 ^{ab}	6.30 \pm 1.18 ^{bc}	0.91 \pm 0.11 ^{ab}
Cd P	0.64 \pm 0.10 ^{ab}	5.69 \pm 0.66 ^{bc}	0.73 \pm 0.11 ^{ab}
Significant factor ³⁾	A		B

1), 2), 3) See Table 2

시하였다.

사구체 여과율(creatinine clearance, glomerular filtration rate, G.F.R. ml/min)은 Cd 공급 및 식이 섬유 종류에 의해서 유의적인 차이를 보이지 않았다.

고 찰

본 연구에서는 감귤과피로부터 분리한 총 식이섬유(total dietary fibers, TDF), 불용성 식이섬유(insoluble dietary fibers, IDF), 그리고 수용성 식이섬유(soluble dietary fibers, SDF)가 지방대사와 Cd 대사에 미치는 영향을 알아보기 위하여 식이내 Cd 수준을 달리하여 Cd 공급군에는 CdCl₂ 400ppm으로 공급하고 각각의 식이섬유를 총 식이무게의 4% 수준으로 첨가한 식이로 흰쥐를 사육하였다.

감귤과피에서 분리한 식이섬유의 수율을 살펴보면 신

선물 기준으로 총 식이섬유가 2.79%로서, 동일한 품종을 가지고 실험한 선행연구¹⁷⁾의 결과(2.84%)와 비슷하였다. 이는 한국인 영양권장량²⁶⁾에 수록된 식품영양가표에서 감귤과육의 식이섬유 함량이 1.5%, 과피의 식이섬유 함량은 3.0%인 것과 비교해 볼 때에도 감귤과피의 총 식이섬유의 수율에 큰 차이가 없었으며 과육보다는 많은 양의 식이섬유를 얻을 수 있음을 보여 주었다. 선행된 연구²⁷⁾에서 감귤과피의 불용성 식이섬유는 주로 cellulose와 hemicellulose, lignin으로 구성되어있고 수용성 식이섬유는 pectin이 주성분이었다.

식이를 통하여 Cd를 공급하였을 때, Cd이 흰쥐의 성장에 미치는 영향을 살펴보면 Cd를 공급한 군은 모두 식이 섭취량과 체중 증가량이 감소하였고 식이효율이 음의 수치를 보였다. 이러한 결과는 많은 연구들²⁸⁻³⁰⁾에서 공통적으로 나타났는데 Cd이 성장을 저해하는 원인에 대해서는 식욕 부진으로 인한 식이 섭취량의 감소²⁸⁾, 성

장에 미치는 Cd의 직접적인 독성 효과²⁹⁾, 또는 mitochondria 내에서의 산화과정에 미치는 영향³⁰⁾ 등 여러 가지 주장들이 있으나 아직 분명하게 밝혀지지는 않고 있다. 특히 본 실험에서는 사육기간이 2주로서 다른 실험들에 비해 짧았는데 이로 인해 식이섬유 종류에 따른 영향보다는 환경적인 stress로 인한 영향이 더 크게 나타나지 않았나 생각된다.

Cd 해독과정에서 가장 중요한 기관이라 할 수 있는 간과 신장의 무게는 Cd 공급 후 감소하고 만성적인 Cd 중독시 조직의 피사를 초래하게 된다³¹⁻³³⁾. 본 연구에서도 간과 신장의 무게는 Cd 공급으로 인하여 감소되었는데 이것은 Cd 중독의 영향도 있지만 Cd 공급군들이 비공급군에 비하여 체중 증가량이 낮게 나타났던 점으로 미루어 보아 전체적인 성장저하에 따라 비례적으로 기관의 무게가 낮았던 것 같다.

Cadmium이 지방대사에 미치는 영향을 보면 혈청 cholesterol은 Cd 공급으로 인해 유의적 차이가 나타나지 않았으나 혈청 TG 및 HDL-cholesterol은 Cd 비공급군들에 비하여 농도가 낮았다. 간의 총지방, cholesterol, TG 농도도 Cd 공급의 영향으로 낮아졌으며 변을 통한 총지방, cholesterol, TG 배설량도 Cd 비공급군들보다 유의적으로 낮아졌는데 이것은 Cd 공급으로 인해 식이섭취량이 감소했기 때문으로 생각된다.

식이 내 Cd 공급으로 인한 Cd 중독 및 대사를 보기 위하여 혈액의 Cd 농도, 소장·간·신장의 Cd 농도와 MT 농도, 뇨와 변으로의 Cd 배설량 및 Cd 보유율 그리고 사구체 여과율을 알아 보았다. 본 연구에서는 Cd 공급으로 인해 혈액의 Cd 농도가 증가하였고 소장·간·신장의 Cd 및 MT 농도가 증가했으며 뇨와 변을 통한 Cd 배설량이 증가하였다.

체내에 존재하는 Cd은 2가지 형태로 분류되는데 하나는 cell내 metallothionein(MT)과 결합되어 있는 형태(MT-bound)이고 다른 하나는 non-MT-bound 형태이다. Metallothionein은 정상조건에서는 매우 낮은 농도로 존재하다가 Cd 등에 의해 합성이 촉진되어 여러 장기에서의 함량이 높아진다³⁴⁻³⁶⁾. 이때 MT-bound 형태는 분해되지 않는 한 독성이 없으나 non-MT-bound 형태는 독성이 있다고 밝혀져 있다³⁴⁾³⁵⁾³⁷⁾. Non-MT bound 형태는 Cd이 cell내로 유입되었으나 아직 MT가 유도 합성되지 못한 경우나, 유도될 수 있는 MT양 이상의 Cd이 유입된 경우에 존재한다. 그러므로 조직내 Cd 농도가 Cd의 독성을 그대로 반영하는 것은 아니며 MT 합성량이 많은 조직에서의 Cd 농도는 MT 농도와 함께 이해되어야 한다. 따라서 본 연구에서도 MT 생성이 많다고 보고되고 있는 간과 신장, 소장에서 MT 농도와

Cd 농도를 측정하여 Cd 중독 정도를 평가한 것이다.

Cadmium은 소장에서 수동적으로 운반되어서 Cd에 의하여 유도 합성된 MT에 의해 Cd-MT 형태로 장세포 내에 격리되어 존재하다가 세포교체시 lumen으로 배설되고 Cd-MT 형태의 일부는 혈중으로 유리된다³⁸⁾. Min 등³⁹⁾은 Cd을 1회 경구투여시 4시간 후에 소장 Cd 농도가 최고에 도달하였고 16-24시간 내에 소장 Cd 농도는 다시 낮아진다고 하였다. 이 연구에서는 이와 같은 현상의 주된 요인으로 Cd-MT 형태로 Cd을 보유하고 있는 소장의 mucosal cell이 박리되어 lumen으로 배설되기 때문이라고 하였다. 이와 같은 보고와 일치되게 본 연구에서의 소장 Cd 농도 및 MT 농도도 간과 신장의 농도에 비해 매우 낮게 나타났다. 소장을 통해 흡수된 Cd은 Cd-MT 형태나 Cd-albumin 형태로 혈액으로 방출되어 Cd-MT의 경우는 사구체로 여과되어 선택적으로 신장의 proximal tubular cell에 uptake되고 Cd-albumin은 주로 간으로 흡수된다³⁹⁾. 간세포는 혈중의 MT 합성을 유도하는 glucocorticoid, cytokine, metal 등에 노출되어 있기 때문에 basal MT level이 높다. 그러나 이에 비해 신장에 흡수된 Cd-MT는 그 자체가 pinocytosis에 의해 세포내로 들어가는데 세포내 lysosome의 cysteine protease에 의해서 분해되어 이온 상태의 Cd이 생기게 된다⁴⁰⁾. Cadmium 이온은 신장의 새로운 MT 합성을 유도하지만 효소에 의한 분해 속도보다 합성 속도가 늦기 때문에 Cd 농도가 높을 경우 신장조직이 손상받는다⁴¹⁾.

Cadmium 공급으로 인한 신장의 손상은 주로 근위세뇨관이고 세뇨관이 손상되고 주변의 조직피사가 일어나면서 수반되는 2차적인 증세로서 사구체의 손상이 나타나는 것으로 알려져 있다⁴²⁾. 본 연구에서는 사구체 여과율이 Cd 공급여부와 관계없이 실험군간에 유의적인 차이가 없었다. 이것은 Cd 공급군들에서 신장에 축적되어 손상을 줄 정도로 Cd에 중독된 상태가 아니었다는 것을 볼 수 있다.

식이섬유 종류에 따라 동물의 성장과 지방 및 Cd 대사에 미치는 영향을 살펴보겠다.

본 연구에서 식이 섭취량은 Cd 비공급군들에서는 TDF, IDF 첨가군이 높았고, Cd 공급군들에서는 pectin 첨가군이 높았으며 체중 증가량 및 식이효율은 가장 낮았던 α -cellulose 첨가군을 제외한 나머지 군들 사이에는 유의적인 차이가 없었다. 즉 식이섬유가 장에서의 Cd 흡수를 억제하므로⁴³⁾ Cd으로 인한 성장 저하의 효과가 상쇄될 것이라는 기대와는 일치하지 않았는데 이것은 식이섬유의 Cd 흡수 억제 효과가 나타나기에는 사육기간이 다른 선행연구에 비하여 짧았던 것도 원인 중의

하나로 생각되어진다. 간과 신장의 무게는 Cd 공급군들에서는 식이섬유 종류에 따른 차이가 없었으나 Cd 비공급군들에서는 TDF, IDF를 첨가한 군이 높았는데 이것은 TDF, IDF 첨가군의 식이 섭취량이 가장 높았기 때문으로 생각되어지며 소장은 각 군들간에 유의적인 차이가 없었다.

지방대사를 살펴보면 혈청내 cholesterol은 Cd 공급군 중 pectin을 첨가한 군이 가장 낮았고 SDF, TDF 첨가군도 Cd 공급군과 비공급군 모두에서 낮았다. Pectin과 SDF의 효과를 비교해 보면 Cd 공급군에서는 pectin이 SDF보다 혈청내 cholesterol 저하효과가 다소 높았고, Cd 비공급군에서는 SDF를 첨가했을 때 pectin 첨가시보다 혈청내 cholesterol 수치가 낮았다. 혈청내 TG는 Cd 공급군 중 α -cellulose, TDF 첨가군이 낮았고 HDL-cholesterol과 HDL : total cholesterol ratio는 Cd 비공급군 중 IDF 첨가군만 유의적으로 높고 나머지 군간에는 유의적인 차이가 없었다.

조직내로의 이동을 보기 위하여 간의 총지방, cholesterol, TG 농도를 측정한 결과 Cd 비공급군에서는 식이섬유 종류에 따른 유의적 차이는 없었으나 TDF, IDF 첨가군이 다소 높았는데 이 군들은 식이 섭취량이 높았던 군으로서 2주간의 실험기간 동안 식이섬유의 효과보다는 열량섭취의 영향이 더 컸기 때문으로 생각된다. Cadmium 공급군에서는 혈청내 cholesterol과 TG 농도가 낮았던 SDF와 TDF 첨가군이 간에서도 낮았다. 따라서 혈액내 지방이 간 등의 조직으로 축적되지 않고 배설되었을 가능성을 생각해 볼 수 있다. 또한 SDF는 전반적으로 pectin보다 조직내 lipid 농도를 낮추는 효과가 높았다.

변으로 배설된 총지방 및 cholesterol, TG는 IDF, α -cellulose, SDF 첨가군에서 높았는데 IDF, α -cellulose의 경우 변의 무게가 다른 첨가군들에 비해 유의적으로 높았다. 불용성 식이섬유인 IDF를 α -cellulose와 비교해 볼 때, 변무게를 증가시키는 효과는 거의 비슷하게 나타났고 변으로의 지방 배설은 α -cellulose의 효과가 더 컸다.

혈중 cholesterol 수준은 관상동맥질환의 위험을 판정하는 가장 중요한 인자이며 관상동맥질환과 cholesterol 수준 간에는 매우 높은 상관성이 있다⁴⁴⁾. 본 연구에서는 혈청 cholesterol 수준에 식이섬유 종류에 따른 유의적인 차이가 나타나지는 않았으나 식이섬유를 공급한 군들이 공급하지 않은 군보다 대체적으로 낮은 경향을 보였는데 많은 연구⁴⁵⁾⁴⁶⁾에서 식이섬유가 hypocholesterolemic effect가 있다는 것이 증명되었다. 그 기전으로는 직접적인 cholesterol 흡수 저하에 의해

일어나기보다는 식이섬유 섭취시 bile acid와 식이섬유가 결합함으로써 흡수가 감소되거나, 소장과 대장에서 식이섬유의 gel 형성으로 인해 bile acid가 흡수표면으로 확산되는 것을 지연시켜 gut으로의 흡수를 감소시키기 때문인 것으로 생각되어진다⁴⁷⁾. Bile acid와 식이섬유의 결합에는 이온결합과 hydrophobic bond가 관여하는 것으로 알려져 있으며⁴⁷⁾⁴⁸⁾ 소장내에서 식이섬유가 bile acid를 흡착하여 변으로의 배설을 촉진시켜 혈청 cholesterol 감소에 기여하고 따라서 조직내 cholesterol 축적 또한 억제할 수 있다⁴⁹⁾⁵⁰⁾. 그밖에 식이섬유가 대장내에서 탈효되어 생긴 propionic acid가 3-hydroxy-3-methyl glutaryl CoA reductase의 inhibitor로 작용하여 혈청 cholesterol을 저하시킨다고 하며⁵¹⁾ 식이섬유의 glucose 흡수조절 효과로 인한 insulin 분비감소에 의해 간내 cholesterol 및 지방산 합성이 감소되었다는 보고도 있었다⁵²⁾. 또한 불용성 식이섬유와 수용성 식이섬유의 생리적 기능이 달라 hypocholesterolemic effect는 주로 수용성 식이섬유에 의해 나타나는데 동물실험에서 wheat bran이나 cellulose는 혈청 cholesterol 수준에 거의 영향을 주지 않았고 pectin, guar gum 등의 수용성 식이섬유들은 명백한 혈청 cholesterol 저하 효과가 있었다.⁵³⁻⁵⁵⁾ 인체 실험에서도 불용성 식이섬유는 혈청 cholesterol을 낮추는 효과가 적은 반면에 수용성 식이섬유는 명백한 효과가 있다는 결과들이 보고되어 있다⁵⁶⁾⁵⁷⁾. 수용성 식이섬유는 상부 소화기관에서의 비소화성, in vitro 실험시 보여지는 높은 점도, 중합성(polymeric nature), 높은 수분 보유력 등의 공통점이 있다. 이중에서 hypocholesterolemic, hypolipidemic effect는 상부 소화기관에서의 비소화성과 높은 점도가 주요 요인인 것으로 추측된다. 즉, 점도가 높은 비소화성의 중합체는 소화기관에서 다른 물질의 diffusion을 감소시키고 소화기관의 벽을 둘러싸서 영양소의 흡수가 지연될 수 있다. 본 연구에서도 수용성인 SDF, pectin 군의 간내 지방 및 혈청 cholesterol 농도가 낮음을 볼 수 있다. 그러나 수용성 식이섬유뿐만이 아니라 불용성인 IDF, α -cellulose군도 지방함량을 낮추는 효과를 보였는데 이것은 변무게가 다른 군에 비해 유의적으로 증가하여 변을 통한 총지방 및 cholesterol 배설량이 컸기 때문인 것으로 보인다. 이 결과는 불용성 식이섬유가 대장에서 박테리아 분해에 저항성을 가지고 물리적 구조를 유지함으로써 대변의 중량 증가에 효과적이라는 보고⁵⁸⁾⁵⁹⁾와 일치하고 있다.

감귤과피로부터 분리한 식이섬유가 지방대사에 미치는 효과를 종합해 보면 불용성인 IDF, α -cellulose 군이 변을 통한 총지방 및 cholesterol 배설량을 유의적으

로 증가시켰으며 IDF와 α -cellulose의 효과를 비교시 혈액내 cholesterol 및 TG 농도를 낮추는 효과는 Cd 비공급군에서는 IDF가, Cd 공급군에서는 α -cellulose가 높았고, 조직내 지방농도는 α -cellulose 첨가군에서 더 낮았다. SDF 군도 시판 pectin과 함께 변으로의 총지방, cholesterol, TG 배설량을 증가시켜 hypocholesterlemic, hypolipidemic effect를 보였다. 특히 Cd 공급군에서는 SDF가 pectin보다 조직내 지방 축적을 막는 효과가 더 높았다.

Cadmium을 공급받은 동물에서 식이섬유가 Cd 대사에 미치는 영향을 보면 혈액내 Cd 농도는 식이섬유 종류와 상관없이 식이섬유를 첨가함으로써 다소 증가하지만 소장, 간의 Cd 농도는 SDF, IDF, pectin 첨가군이 낮았고 α -cellulose 첨가군이 다른 군들에 비해 다소 높았는데 이것은 Schater의 연구⁶⁰에서 cellulose를 첨가시 Cd 흡수가 오히려 약간 증가한 것과 일치하는 결과라 하겠다. Pectin과 SDF가 조직내 Cd 축적에 미치는 영향을 비교해 볼 때 거의 차이가 없었으며, 불용성 식이섬유의 경우 α -cellulose는 오히려 Cd 농도를 증가시키는 경향을 보였으나 IDF는 조직내 Cd 농도를 pectin 첨가군과 유사한 수준으로 낮추었다. 신장의 Cd 농도는 군간에 유의적 차이가 없었는데 신장의 경우 일반적으로 Cd 중독 초기에는 간 Cd 농도 : 신장 Cd 농도의 비율이 높다가 점점 감소하고⁶¹ 장기간 경구적으로 Cd를 공급하게 되면 신장에 더 많이 축적된다⁶². 본 연구에서는 Cd이 간에서 신장으로 운반되어 축적되기에는 사육기간이 짧아 그 영향이 나타나지 않은 것으로 보인다.

소장, 간, 신장의 MT 농도를 살펴보면 소장의 경우 Cd 농도가 낮았던 SDF 첨가군이 낮았고, 간, 신장에서는 Cd 농도와 마찬가지로 식이섬유 종류에 따른 유의적 차이는 없었으나 식이섬유 비첨가군보다는 낮은 경향을 보였다.

노로의 Cd 배설량은 혈중 Cd 농도에서와 같이 식이섬유 첨가군이 더 높았고 식이섬유 군간에 유의적인 차이를 보여 α -cellulose나 pectin을 첨가한 군이 제일 높았으며 TDF, IDF, SDF 첨가군도 식이섬유 비첨가군에 비하여 유의적으로 높았다. 변으로의 Cd 배설량은 식이섬유를 첨가해 줌으로써 현저하게 증가했으며 특히 수용성인 SDF 군은 pectin 군 다음으로 높아서 SDF가 Cd를 흡착, 배설시켜 흡수되는 것을 억제하는 효과가 큼을 보여 주었다. 또한 Cd 보유율이 식이섬유를 첨가한 군들 모두에서 유의적으로 낮아 조직내의 축적 등을 방지하는 효과가 있음을 알 수 있다. 이것은 감귤과피로부터 분리한 식이섬유들이 모두 Cd 투과 억제효과를 나타냈고 그 중에서도 SDF가 가장 큰 효과를 보였다는 선

행 in vitro 연구와 일치한다.

식이섬유는 이러한 Cd 등의 중금속 흡수를 억제하는 효과가 있는데 Kiyozumi 등¹⁰은 식이섬유의 Cd 흡수 억제 작용은 Cd와 결합하는 능력, 흡수 과정시 점도 등의 물리적 성질에 의한 저해 정도에 따라 그 효과가 달라진다고 보고하였다. 특히 수용성 식이섬유는 보수성을 가지므로 물과 결합되어 점성이 증가하고 gel matrix를 형성함으로써 붙잡는 효과(trapping effect)가 나타나 Cd의 흡수를 억제시켜 조직내 Cd 축적을 방지하는 효과가 불용성 식이섬유보다 크다는 보고들이 있다.⁴³⁾⁶³⁾

감귤과피에서 추출한 식이섬유가 Cd 대사에 미치는 영향을 종합해 보면 수용성 식이섬유인 SDF가 시판 pectin과 더불어 변으로의 Cd 배설을 현저히 증가시킴으로써 Cd의 흡수를 억제하고 조직내 Cd 축적을 방지하는 효과가 컸으며 이때 pectin의 Cd 배설효과가 SDF보다 더 높았으나 조직내에서의 Cd 농도나 MT 농도에 미치는 효과는 비슷하였다. 불용성 식이섬유인 IDF와 α -cellulose도 Cd 배설을 증가시켜 조직내로의 Cd 흡수를 억제하였으나 SDF와 pectin에 비하여는 그 효과가 적었다.

결론

이상의 결과로 볼 때 감귤과피의 TDF, IDF, SDF 및 시판 α -cellulose, pectin을 식이무게의 4%로 흰쥐에게 2주간 공급하였을 때 Cd 중독으로 인한 성장저해를 막는 효과는 보이지 않았으나 SDF, pectin이 뇨·변으로의 Cd 배설량을 증가시켜 Cd 흡수를 감소시키고 소장, 간, 신장으로의 Cd 축적을 억제했으며 SDF와 pectin을 비교하였을 때 그 효과는 유사하였다. IDF, TDF, α -cellulose도 식이섬유를 첨가하지 않은 군보다 Cd 중독을 완화시키는 경향을 보였다. 지방대사에 미치는 효과를 보면 불용성인 IDF와 α -cellulose 첨가군이 변무게를 증가시켜 이에 따른 변으로의 지방 배설량을 증가시키고 혈청 TG 및 간 지방 함량을 낮추었는데 IDF보다는 α -cellulose의 효과가 더 큰 경향을 보였다. SDF 첨가군도 변을 통한 지방 배설을 증가시켜 혈청 cholesterol을 낮추었으며 조직내 지방 농도도 낮추었다. 그 효과는 pectin과 유사하였으며 불용성 식이섬유보다 변을 통한 지방배설 효과는 적으나 혈청 및 조직내 지질 농도를 낮추는 효과는 높았다.

즉, 감귤과피로부터 분리한 식이섬유 중 불용성 식이섬유(IDF)는 특히 지방대사에서 변무게를 증가시켜 변을 통한 총지방 및 cholesterol 배설을 촉진시켜 혈청 및 간 지질 함량을 낮추는 효과를 보였으며 수용성 식이

섬유(SDF)는 지방대사에서 뿐만 아니라 Cd 대사에서 도 Cd이 변으로 배설되는 것을 촉진시켜 조직내 Cd 함량을 낮추고 Cd 중독을 완화시키는 경향을 보였다.

위에서 살펴본 내용을 종합해 보면 감귤과피로부터 분리한 식이섬유 중 특히 수용성 식이섬유가 변으로의 지방과 Cd 배설을 증가시켜 혈액과 조직내에서의 지방 및 Cd 농도를 낮추는 효과가 컸으며 불용성 식이섬유도 변을 통한 지방 배설을 촉진시키는 효과가 있음을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서 감귤과피로부터 식이섬유를 추출하여 새로운 기능성 식품의 소재로 활용할 수 있는 생리적 효과를 검증한 것은 식품 폐기물 양의 감소와 폐자원의 재활용이라는 양측면에서 의의있는 일이라 하겠다.

Literature cited

- 1) Kritchevsky D, Story JA. Influence of dietary fiber on cholesterol metabolism in experimental animals. In : Spiller GA ed. CRC Handbook of dietary fiber in human nutrition. CRC Press, Boca Raton, pp163-178, 1993
- 2) Nyman M, Schweizer TF, Tyren S. Fermentation of vegetable fiber in the intestinal tract of rats and effects on fecal bulking and bile acid excretion. *J Nutr* 120 : 459-466, 1990
- 3) Ebihara K, Schneeman BO. Interaction of bile acids phospholipids, cholesterol and triglycerides with dietary fibers in the small intestine of rats. *J Nutr* 119 : 1100-1106, 1989
- 4) Albrink MJ, Newman J, Davidson PC. Effects of high and low fiber diets on plasma lipids and insulin. *Am J Clin Nutr* 32 : 1486-1491, 1974
- 5) Donald BH, Valery TM, John CL, Bruce K, Virgil B, Wm James H, Frank JD, Robert R. Hypocholesterolemic effects of a dietary fiber supplement. *Am J Clin Nutr* 59 : 1050-1054, 1994
- 6) Faeder EJ, King LC, Hinnens TA, Bruce R, Fower BA. Biochemical and ultrastructural changes in livers of cadmium treated rats. *Toxicol Appl Pharmacol* 39 : 473-487, 1977
- 7) Friberg L, Piscator M, Nordberg G. Cadmium in the environment. CRC Press Cleveland Ohio, pp88-134, 1971
- 8) Macdowell LR. Minerals in Animal and Human Nutrition. Academic Press USA pp359-361, 1992
- 9) Rose HE, Quarterman J. Dietary fibers and heavy metal retention in the rat. *Environ Res* 42 : 166-175, 1989
- 10) Kiyozumi M, Mishima M, Moda S. Studies on poisonous metals IX. Effects of dietary fibers on absorption of Cd in rats. *Chem Pharm Bull* 30 : 4494-4495, 1982
- 11) Gilman MW, Cupples LA, Gagnon D, Posner BM, Ellison RC, Castelli WP, Wolf PA. Protective effect of fruits and vegetables on development of stroke in men. *JAMA* 273 : 1113-1117, 1995
- 12) Willet WC. Diet and health : What should we eat. *Science* 264 : 532-537, 1994
- 13) 보건사회부, 국민영양조사보고서(해당년도)
- 14) 한국도시행정연구소. 전국통계연감 3 : 1006, 1996
- 15) 장호남 · 남경은 · 허종화. 한국산 감귤과피의 효율적 이용에 관한 연구(2). *한국식품과학회지* 9(4) : 251-254, 1977
- 16) 문수재 · 손경희 · 윤 선 · 이명혜 · 이명희. 한국산 감귤류 페과피 내의 펙틴 함량과 펙틴의 특성에 관한 연구. *한국식품과학회지* 14(1) : 63-66, 1982
- 17) 양윤정. 감귤과피로부터 분리한 식이섬유의 포도당, 담즙산, 카드몐 투과 억제에 관한 in vitro 연구. 이화여자대학교 대학원 석사학위 논문, 1996
- 18) Lee SC, Prosky L, DeVries JW. Determination of total, soluble and insoluble dietary fiber in food-enzymatic gravimetric method, MES-TRIS buffer : Collaborative study. *J Assoc Off Anal Chem* 75 : 395-416, 1992
- 19) Bligh EG, Dyer WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol* 37 : 911-917, 1959
- 20) Zinterhofer LTM, Jotolow PT, Fappiano A. Atomic absorption determination of lead in blood and urine in the presence of EDTA. *J Lab Clin Med* 78 : 664-674, 1971
- 21) Yeager DW, Cholok J, Henderson EW. Determination of lead in biological and related material by atomic absorption spectrometry. *Environ Sci Technol* 5 : 1020-1022, 1971
- 22) Onosaka S, Cheria MG. Comparison of metallothionein determination by polarographic and cadmium-saturation methods. *Toxicol Appl Pharmacol* 63 : 270-274, 1982
- 23) Eaton DL, Toal BF. Evaluation of the Cd/Hb affinity assay for the rapid determination of metallothionein in biological tissue. *Toxicol Appl Pharmacol* 66 : 134-142, 1982
- 24) Eaton DL, Cheria MG. Determination of metallothionein in tissue by cadmium-hemoglobin affinity assay. *Methods Enzymol* 205 : 83-88, 1991
- 25) Vander AJ, Sherman JH, Luciano DS. Kidneys and regulation of water inorganic ions. In : Human physiology, McGraw-Hill, Inc, 1994
- 26) 한국영양학회. 한국인 영양 권장량 6차 개정판 p258, 1995
- 27) 은종방 · 김미경 · 우희종 · 이서래 · 우건조 · 윤희남. 95년도 보건의료기술 연구개발사업 연구개발 결과 보고서 p 19, 1995
- 28) Itokawa Y, Abe T, Tabei R, Tanaka S. Renal and skeletal lesions in experimental cadmium poisoning : Histological and biological approaches. *Arch Environ Health* 28 : 149-154, 1974

- 29) Takashima M, Nishro K, Itokawa Y. Effect of cadmium administration on growth, excretion and tissue accumulation of cadmium and historical alterations in calcium-sufficient and -deficient rats : An equalized feeding study. *Toxicol Appl Pharmacol* 45 : 591-598, 1978
- 30) Powell GW, Miller WJ, Morton JD, Clifton CM. Influence of dietary cadmium level and supplemental zinc on cadmium toxicity in the bovine. *J Nutr* 84 : 205-214, 1964
- 31) Faeder EJ, Chaney SQ, King LC, Hinner TA, Bruce R, Fowler BA. *Toxicol Appl Pharmacol* 39 : 473-487, 1977
- 32) Lucis OJ, Lynk ME, Lucis R. Turnover of cadmium 109 in rats. *Arch Environ Health* 18 : 307-310, 1969
- 33) Washiko PW, Cousins RJ. Role of dietary calcium and calcium binding protein in cadmium toxicity in rats. *J Nutr* 107 : 920-928, 1977
- 34) Nordberg M. General aspects of cadmium : Transport, uptake and metabolism by the kidney. *Environ Health Perspect* 54 : 13-20, 1984
- 35) Manuel Y, Thomas Y, Pellegrini. Metallothionein and tissue damage. In "Cadmium in health environment toxicity and carcinogenicity" (Nordberg GF, Herber RFM, Alssio L, Eds), IARC Scientific Publication Lyon, No.118, pp231-238, 1992
- 36) Revis NW, Osborne TR. Dietary protein effect on cadmium and metallothionein accumulation in the liver and kidney of rats. *Environ Health Perspect* 54 : 83-91, 1984
- 37) Wang XP, Chun HM, Goyer RA, Cherian G. Nephrotoxicity of repeated injections of Cd-MT in rats. *Toxicol Appl Pharmacol* 119 : 11-16, 1993
- 38) Ohta H, Cherian M. Gastrointestinal absorption of cadmium and metallothionein. *Toxicol Appl Pharmacol* 107 : 63-73, 1991
- 39) Min KS, Fujita Y, Onosaka S, Tanaka K. Role of intestinal metallothionein in absorption and distribution of orally administered cadmium. *Toxicol Appl Pharmacol* 109 : 7-16, 1991
- 40) Min KS, Nakatsubo T, Fujita Y, Onosaka S, Tanaka K. Degradation of cadmium metallothionein in Vitro by lysosomal proteases. *Toxicol Appl Pharmacol* 113 : 299-305, 1992
- 41) Dorian C, Gatto VH, Gattone E, Klaassen CD. Accumulation and degradation of protein moiety of Cd-MT in the mouse kidney. *Toxicol Appl Pharmacol* 117 : 242-248, 1992
- 42) Noriyama K, Sugata Y, Yamamoto A, Noriyama H. Effects of dietary cadmium on rabbits I. Early signs of cadmium intoxicification. *Toxicol Appl Pharmacol* 31 : 4-12, 1975
- 43) Morio K, Motohiro M, Sumiko N, Kazuyo M, Yoshihiro T, Fumie M, Mitsuo N, Shoji K. Studies on poisonous metals IX. Effects of dietary fibers on absorption of cadmium in rats. *Chem Pharm Bull* 30(12) : 4494-4499, 1982
- 44) Anderson JW, Floore TL, Geil PB, O'Neal DS, Balm TK. Hypocholesterolemic effects of different bulk-forming hydrophilic fibers as adjuncts to dietary therapy in mild to moderate hypercholesterolemia. *Arch Intern Med* 151 : 1597-1602, 1991
- 45) Kay RM, Truswell AS. Effect of citrus pectin on blood lipids and fecal steroid excretion in man. *Am J Clin Nutr* 30 : 171-175, 1977
- 46) 김미정 · 이상선. 식이섬유질의 종류가 흰쥐의 혈청지질농도와 장기능에 미치는 영향. *한국영양학회지* 28(1) : 23-32, 1995
- 47) Eastwood MA, Hamilton D. Studies of the absorption of bile salts to non-absorbed components of diet. *Biochem Biophys Acta* 152 : 165-173, 1968
- 48) Ebihara K, Masuhara R, Kiriya S. Soluble dietary fiber on plasma glucose and insulin responses in young man undergone glucose tolerance test. *Nutr Rep Inter* 23 : 577-583, 1981
- 49) Herman JB, Fred KJ. In vitro adsorption of bile salts to food residues, salicylazosulapyridine and hemicellulose. *Gastroenterol* 67 : 237-244, 1974
- 50) Johns WH, Bates T. Quantification of the binding tendencies of cholestyramine I : Effect of structure and added electrolytes on binding of unconjugated and conjugated bile-salt anion. *J Pharm Sci* 58 : 179-183, 1969
- 51) Sara MH, James LG. Advanced nutrition and human metabolism. New York : West publishing com p354, 1990
- 52) Chen WJL, Anderson JW, Jennings D. Propionate may mediate the hypocholesterolemic effect of certain soluble plant fiber in cholesterol-fed rats. *Proc Soc Exp Biol Med* 175 : 215-218, 1984
- 53) Ide T, Horii M, Yamamoto T, Kawashima K. Contrasting effects of water-soluble and water-insoluble dietary fibers on bile acid conjugation and taurine metabolism in the rat. *Lipids* 25(6) : 335-340, 1990
- 54) Tsai AC, Elias J, Kelley JJ, Lin RC, Robson JR. Influence of certain dietary fibers on serum and tissue cholesterol levels in rats. *J Nutr* 106 : 118-123, 1976
- 55) Overton PD, Furlonger N, Beety JM, Chakraborty J, Tredger JA, Morgan LM. The effects of dietary sugar-beet fibre and guar gum on lipid metabolism in wistar rats. *Br J Nutr* 72 : 385-395, 1994
- 56) Wolever TM, Jenkins DJ, Mueller S, Boctor DL, Ransom TP, Patten R, Chao ES, McMillan K, Victor F. Method of administration influences the serum cholesterol-lowering effect of psyllium. *Am J Clin Nutr* 59 : 1055-1059, 1994
- 57) Jenkins DJ, Wolever TM, Rao AV, Hegele RA, Mitchell SJ, Ransom TP, Boctor DL, Spadafota PJ, Jenkins AL,

- Mehling C. Effect on blood lipids of very high intakes of fiber in diets low in saturated fat and cholesterol. *N Engl J Med* 329(1) : 21-26, 1993
- 58) Cummings JH. Polysaccharide fermentation in the human colon. In : Colon and Nutrition. Kasper H, Goebell H eds, MTP press, Lancaster pp91-103, 1982
- 59) Cummings JH. Constipation, dietary fibre and the control of large bowel function. *Postgrad Med J* 60 : 811-819, 1984
- 60) Schafer L, Anderson O, Nielson JB. Effect of dietary factors on GI Cd absorption in mice. *Acta Pharmacol Toxicol* 59(7) : 549-552, 1986
- 61) Cahill AL, Nyberg D, Ehret CF. Tissue distribution of cadmium and metallothioneins as a function of day and dosage. *Environ Res* 31 : 54-65, 1983
- 62) Bhatta Charyya MH, Sellers DA, Peterson DP. Post-lactational changes in cadmium retention in mice orally exposed to cadmium during pregnancy and lactation. *Environ Res* 40 : 145-154, 1986
- 63) Rose HE, Quarterman J. Dietary fibers and heavy metal retention in the rat. *Environ Res* 42(1) : 166-175, 1987