

쌀과 보리의 식이 섬유가 흰쥐의 지방 및 Cadmium 대사에 미치는 영향*

김 미 경 · 백 주 은
이화여자대학교 식품영양학과

Effect of Dietary Fibers in Rice and Barley on Lipid and Cadmium Metabolism in the Rat

Kim, Mi Kyung · Paek, Ju Eun

Department of Food and Nutrition, Ewha Womans University, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study was performed to investigate effect of dietary fibers in rice and barley on glucose, lipid and cadmium(Cd) metabolism in the rat. Fifty-six male Sprague-Dawley rats weighing 244.6 ± 2.7 g were blocked into eight groups according to body weight and raised for four weeks with diets containing 0 or 0.04%(w/w) CdCl₂ and four different carbohydrate sources, starch, rice flour, barley flour and mixture of rice and barley flour(7 : 3, w/w). Total dietary fibers and β -glucan contents of barley were about three times higher than those of rice(10.75% vs. 3.94%, 3.11% vs. 1.06%, respectively). Food intake, weight gain, food efficiency ratio, liver and kidney weights were lower in Cd exposed groups, and barley group among Cd exposed animals showed highest weight gain, food efficiency ratio and organ weights. Fasting serum glucose levels were not significantly different among groups. Serum cholesterol level was lowest in Cd exposed barley group. Serum HDL-cholesterol level was higher in none-Cd exposed starch and barley groups, and HDL-cholesterol : total cholesterol ratios were higher in none-Cd rice and mixed flour groups than other groups. Liver total lipid and triglyceride levels were lowest in barley groups regardless of Cd administration. Fecal total lipid, cholesterol and triglyceride excretions were high in barley and mixed flour groups. Liver Cd concentrations were low in Cd exposed barley and mixed flour groups. In Cd exposed barley group, fecal weight and Cd excretion were highest and Cd retention ratio was lowest among groups. Small intestine metallothionein(MT) concentration was highest in Cd exposed rice group, and kidney MT concentration was highest in Cd exposed barley group. In conclusion, cereals showed different effects on lipid and Cd metabolism that might be mediated by dietary fibers in cereals. Especially β -glucan-rich barley group showed greatest lipid and Cd lowering effects by increasing fecal lipids and Cd excretions. (*Korean J Nutrition* 30(3) : 252~265, 1997)

KEY WORDS : barley · dietary fibers · β -glucan · lipid metabolism · cadmium toxicity.

채택일 : 1997년 4월 10일

*이 연구는 1995학년도 이화여자대학교 교내 연구비 지원에 의한 연구임.

서 론

지난 1970년대 이후 고도의 경제 성장과 전반적인 생활 수준의 향상으로 우리의 식생활이 서구화되고, 가공 식품의 섭취와 외식 산업이 증대하는 양상을 보이고 있으며¹⁾, 이러한 식생활의 변화와 함께 질병 발생의 구조도 큰 변화를 보이고 있다. 즉, 식물성 식품의 섭취량은 감소한 반면 동물성 식품의 섭취량은 현저하게 증가하였고, 이와 더불어 뇌혈관 질환, 심장병, 고혈압성 질환 등의 순환 기계 질환과 암, 당뇨병 등으로 인한 사망률도 크게 높아져²⁾ 사망 원인 구조가 선진국형으로 옮겨가고 있음을 알 수 있다. 이러한 만성 퇴행성 질환들의 발병이 식이 섬유(dietary fibers)의 섭취에 의해 예방될 수 있다고 알려지면서³⁻⁵⁾ 서구 사회에서는 건강 유지와 질병 예방에 있어서 식이 섬유의 역할에 대한 많은 실험적, 역학적 연구들이 이루어져 왔다.

식이 섬유란 '인간의 소화 효소에 의해 소화되지 않는 난소화성 다당류의 총체'⁶⁾로 정의된다. 식이 섬유는 크게 수용성 식이 섬유(soluble dietary fibers)와 불용성 식이 섬유(insoluble dietary fibers)로 나뉘는데 이들이 인체 내에서 나타내는 생리 작용도 다르다. Pectin, gums, mucilages, hemicelluloses 등의 수용성 식이 섬유는 보수력(water-holding capacity)이 커서 장에서 gel을 형성하여 점도가 높아지므로 음식물이 위에 머무르는 시간을 증가시켜 포만감을 주고⁷⁾, 영양소의 소화, 흡수를 지연시켜 당뇨병 환자의 포도당 내성(glucose tolerance)을 증진시키는 효과를 가지며⁸⁾, 장내에서 cholesterol 및 담즙산을 흡착하여 대변으로 배설시킴으로써 혈청 cholesterol 수준을 저하시키고 심장병 및 대장암의 발병률을 낮춘다고 보고되고 있다⁹⁻¹¹⁾. Cellulose, lignin 등의 불용성 식이 섬유는 대장내 미생물의 작용을 적게 받아, 대장내에 비발효 잔사로 식이 섬유의 matrix가 그대로 남게 되어 대변의 부피와 무게를 증가시키는데 효과적이다¹²⁾.

한편, 보리와 귀리의 배유 세포벽에는 mixed-linked(1-3), (1-4)- β -D-glucan(β -glucan)이 다량 함유되어 있는데, 보리의 경우 품종에 따라 차이가 있으나 그 함량이 3.0~6.9%이다. 이러한 β -glucan은 구조적 특성으로 인하여 수용성 부분과 불용성 부분이 공존하는데 이 중 수용성 부분이 38~69%라고 한다¹³⁾. 보리의 β -glucan은 양조 산업에서 혹은 가축 사료로서 연구되다가 최근 들어 인체 건강에 미치는 생리적 효과에 대한 연구가 이루어지고 있다¹⁴⁾. 동물 실험과 인체 실험을 통하여 수용성 식이 섬유가 풍부한 보리와 귀리의 섭취는

혈중 cholesterol을 낮추고, 대변으로의 담즙산 배설을 증가시키며, glycemic index를 낮추어 주었고 이러한 효과는 β -glucan에 기인하는 것으로 보고되고 있다¹⁵⁻¹⁷⁾.

한국인은 채식 위주의 전통적인 식습관으로 인하여 서구인에 비해 많은 양의 식이 섬유를 섭취하고 있을 것으로 생각되나, 1990년 한국인의 평균 식이 섬유 섭취량은 17.31g/day¹⁸⁾로써 1970년대이래 약 30%가 감소하였고, 이는 외국에서 추천하고 있는 잠정적인 권장량인 20~30g/day¹⁹⁾에도 미치지 못한다. 이것은 식이 섬유의 주요 급원인 곡류의 소비가 현저히 감소한 것에 기인한다고 할 수 있다. 즉, 식이 섬유의 3대 급원 식품인 곡류, 채소류, 콩류로부터의 식이 섬유 섭취가 70년대 후반기(1976~1980년)에 각각 37.72%, 30.13%, 20.07%이었던 것이 80년대 후반기(1986~1990년)에는 16.88%, 32.94%, 19.54%로 곡류로부터의 식이 섬유 섭취 비율이 두드러지게 감소하였다¹⁸⁾. 또한 곡류 섭취 중에서도 식이 섬유의 함량이 낮은 정백미의 섭취는 증가된 반면, 식이 섬유 함량이 높은 보리의 소비량은 1970년대 중반 이후로 크게 감소하였다. 그러나 한편으로는 건강 유지에 대한 관심이 증가하고 식이 섬유의 기능성이 알려지면서 백미 대신 보리나 현미를 건강식으로서 섭취하는 사람들이 있다.

또한 경제 성장과 산업화 과정에서 야기되는 환경 오염 문제에 대한 관심의 증대로 인하여 유독 물질에 대한 안전성 문제가 새로운 과제로 대두되고 있다. Cadmium(Cd)은 산업화로 인해 발생하는 토양, 공기, 물 오염의 주요 원인중 하나로²⁰⁾, Cd으로 오염된 농작물과 식수를 섭취하거나 호흡기를 통하여 인체 내로 들어와서 조직에 축적될 경우 여러 가지 맹독성의 임상적 증상이 일어난다. 즉, Cadmium에 중독되면 성장 지연, 빈혈, 고혈압, 고혈당, 단백뇨 등의 증세가 나타나고, 조직의 형태가 변화되어 심장, 신장, 간, 골격 질환이 유발된다²¹⁻²⁴⁾. 우리 나라의 전국적인 Cd 섭취량에 대한 보고는 아직 없으나 1980~1990년 사이의 지역별 Cd 섭취 실태 조사에 의하면 일인당 평균 섭취량이 55~84 μ g/day로²⁵⁾, Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives에서 허용한 Cd에 대한 식이 섬유 잠정 기준인 57~71 μ g/day²⁶⁾를 상회하고 있어 경계해야 할 단계에 진입했다고 볼 수 있다. 경구로 섭취되는 Cd은 식이 인자에 의해 많은 영향을 받는데, 단백질²⁷⁻³¹⁾, Ca, Zn, Cu, Fe, Ni 등의 2가 금속 이온²⁹⁾³²⁾³³⁾, 식이 섬유³⁴⁾³⁵⁾ 등이 그 영향 인자로 알려져 있다.

그러나, 식이 섬유의 섭취 감소와 만성 퇴행성 질환의 증가 사이에 상관성이 있음을 설명하기 위하여 이전에 행해진 연구들의 대부분은 cellulose, guar gum, pec-

tin과 같이 정제된 섬유^{10,36-38)}나 과일³⁹⁾, 채소류⁴⁰⁾를 섬유 급원으로 하였다. 과일과 채소의 수분 함량이 높은 것을 고려할 때 비교적 풍부한 섬유를 함유하고 있는 곡류에 관한 연구가 이루어지는 것이 필요하리라 생각된다. 또한 증금속에 미치는 식이 섬유의 영향을 밝히기 위하여 행해진 연구들도 마찬가지로 정제된 식이 섬유를 사용한 것들이 많았다.

이에 본 연구에서는 곡류 중에서도 섭취량이 가장 많은 백미와 식이 섬유, 특히 β-glucan의 함량이 많은 보리를 실험 재료로 동물 실험을 수행하여 쌀가루, 보리가루, 그리고 쌀가루와 보리가루의 7:3 혼합물을 탄수화물 급원으로 공급했을 때, 식이내 식이 섬유가 혈당, 지방 대사 및 cadmium 대사에 미치는 영향을 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

1. 실험동물의 사육 및 식이

생후 4주된 Sprague-Dawley종 수컷 흰쥐 56마리를 구입하여 실험 시작전 1주일간 고형 배합 사료(삼양사료)로 적응시켰고, 그 후 체중이 244.6±2.7g된 쥐들을

체중에 따라 난괴법(randomized complete block design)에 의하여 7마리씩 8군으로 분류하여 식이내 Cd(0%, 0.04%)과 탄수화물 급원(전분, 쌀가루, 보리가루, 쌀가루 70%+보리가루 30%)을 달리한 식이로 4주간 사육하였다.

실험 동물은 한 마리씩 분리하여 stainless steel cage에서 사육하였고, 식이와 탈이온 증류수는 제한 없이 먹게 하였다. 무기질의 오염을 방지하기 위하여 cage, 식이 그릇, 물병 등의 모든 기구를 0.4% EDTA(Ethylene Diamine Tetraacetic acid) 용액으로 세척한 후 탈이온 증류수로 헹구어 사용하였다.

본 실험에서 사용한 식이의 구성은 Table 1과 같았다. 식이의 탄수화물 급원으로는 전분(옥수수 전분, 신동방), 쌀가루, 보리가루, 쌀가루와 보리가루의 7:3 혼합물을 사용하였다. 쌀(백미, 일반형, 철원, 1995년산)과 보리(보리쌀, 정읍, 1995년산)는 인근 소재 농협에서 구입하여 물에 3시간 침지시켜서 쪄 후, 40℃ convection oven(ND0600SD, EYELA, Japan)에서 24시간 건조하여 roll mill로 분말 화했다. 지방 급원으로는 옥수수유(corn oil, 제일제당)를, 단백질 급원으로는 casein(edible acid casein, Murray Goulburn Co-opera-

Table 1. Composition of experimental diets

Ingredients\Groups ¹⁾	NS	NR	NB	NRB	CdS	CdR	CdB	CdRB
Carbohydrate								
Corn Starch	698	0	0	0	697.6	0	0	0
Rice flour	0	698	0	488.6	0	697.6	0	488.3
Barley flour	0	0	698	209.4	0	0	697.6	209.3
Casein	150	150	150	150	150	150	150	150
Corn oil	100	100	100	100	100	100	100	100
CdCl ₂	0	0	0	0	0.4	0.4	0.4	0.4
Salt mixture ²⁾	40	40	40	40	40	40	40	40
Vitamin mixture ³⁾	10	10	10	10	10	10	10	10
Choline chloride	2	2	2	2	2	2	2	2

1) NS : No Cd+Starch

NR : No Cd+Rice flour

NB : No Cd+Barley flour

NRB : No Cd+Rice flour 70%, Barley flour 30%

CdS : Cd added+Starch

CdR : Cd added+Rice flour

CdB : Cd added+Barley flour

CdRB : Cd added+Rice flour 70%, Barley flour 30%

2) AIN salt mixture(g/kg mixture) : Calcium phosphate, dibasic(CaHPO₄·2H₂O) 500, Sodium chloride(NaCl) 74, Potassium citrate, monohydrate(K₃C₆H₅O₇·H₂O) 220, Potassium sulfate(K₂SO₄) 52, Magnesium oxide(MgO) 24, Manganous carbonate(45-48% Mn) 3.5, Ferric citrate(16-17% Fe) 6, Zinc carbonate(70% ZnO) 1.6, Cupric carbonate(53-55% Cu) 0.3, Potassium iodate(KIO₃) 0.01, 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 activity or 120,000 retinol equivalents, DL-α-Tocopheryl acetate(vitamin E) as stabilized powder to provide 5,000IU vitamin E activity, Cholecalciferol 2.5(100,000IU, may be in powder form), Menaquinone(vitamin K, Menadione) 5.0, Sucrose finely powdered, to make 1,000g

tive Co., Australia)을 사용하였고, 비타민과 무기질은 시약 급을 사용하였다. 또한 Cd은 cadmium chloride (CdCl₂)로서 식이 무게의 0.04%(400ppm, Cd으로는 245ppm) 수준으로 식이에 섞어 공급하였다.

식이 섭취량은 일주일에 3회 일정한 시각에 측정하였고, 체중은 일주일에 1회 같은 시각에 측정하였다. 식이 섭취에서 오는 갑작스런 체중의 변화를 막기 위하여 체중 측정 2시간 전에 식이 그릇을 빼주었다. 총 사육 기간동안의 체중 증가량을 같은 기간에 섭취한 식이량으로 나누어 식이 효율(food efficiency ratio, FER)을 산출하였다.

2. 시료의 채취

Cadmium 공급군들의 Cd 보유율 측정을 위하여 실험 종료전 7일 동안 10,000ppm CdCl₂ 용액(Cd으로는 6,125ppm) 0.2ml를 하루에 한 번 일정한 시각에 tube feeding하였다. 이 기간 동안 식이로의 Cd 공급을 중단하였으며, tube feeding으로 인한 stress를 고려하여 Cd 비공급군들에게도 탈이온 증류수 0.2ml를 tube feeding하였다. Cadmium을 tube feeding한 지 3일째부터 뇨와 변을 채취하였고, 이때는 식이에 의해 시료가 오염되는 것을 방지하기 위하여 식이 그릇을 대사장에 넣어주지 않았고, 물은 제한 없이 공급하였다. 즉, 첫날에는 오전 8시부터 오후 8시까지, 둘째 날에는 오후 8시부터 그 다음날 오전 8시까지 실험 동물을 대사장 (metabolic cage)에 옮겨 뇨와 변을 채취하였고, 이와 같이 채취한 뇨와 변을 1일간의 뇨와 변 배설량으로 간주하였다. 이 과정을 연속 2회 반복하여 2일간의 뇨와 변을 수거하여 분석에 이용하였다. 뇨와 변을 채취하지 않는 동안에는 원래의 사육장에 넣어 식이를 공급하였다. 뇨와 변으로의 Cd 배설량으로부터 Cd 공급군들의 Cd 보유율을 계산하였다.

노 채취 병은 무기질의 오염을 막기 위하여 10% 질산 용액에 8시간 이상 담근 후 탈이온 증류수로 행구어 사용하였고, 뇨의 부패를 방지하기 위하여 소량의 toluene을 넣어주었다. 채취한 뇨는 탈이온 증류수로 80ml가 되도록 희석한 후 일부를 취하여 7,000rpm에서 10분간 원심 분리하여 상층액만을 냉동 보관하였다가 분석에 이용하였다. 변은 젖은 상태로 냉동 보관하였다가 105℃ drying oven에서 항량이 될 때까지 건조시켜 분석에 이용하였다.

사육기간이 끝난 후 12시간동안 굶긴 실험 동물을 ethyl ether로 마취한 후 단두로 희생시켜 혈액을 채취하였다. 혈액의 일부는 heparin으로 처리한 시험관에 받아 냉동 보관하였다가 Cd 농도를 측정하였고, 나머지

혈액은 실온에서 30분 이상 방치하였다가 2,000rpm에서 30분간 원심 분리하여 혈청을 얻었다. 그 중 일부를 취하여 수시간 내에 혈당(serum glucose)을 측정하였고 나머지는 cholesterol, 중성 지방, high-density lipoprotein (HDL) -cholesterol 분석에 사용하기 위해 냉동 보관하였다.

혈액 채취 후 즉시 실험 동물을 해부하여 간과 신장을 떼어내어 무게를 측정한 후 Cd과 metallothionein (MT)을 분석할 때까지 -70℃ deep freezer에 보관하였고, 소장은 십이지장 시작 부위부터 회장 끝부분까지 분리해 내어 장내용물을 제거한 후 Cd과 MT을 분석하기 전까지 -70℃ deep freezer에 보관하였다.

시료의 채취에 사용된 모든 기구는 무기질의 오염을 방지하기 위하여 0.4% EDTA 용액으로 처리한 후 탈이온 증류수로 행구어 사용하였다.

3. 생화학적 분석

혈당은 당일 채취된 혈청의 일부를 취하여 포도당 효소 측정 시약(영동제약)으로 측정하였다.

혈청, 간, 변의 cholesterol 농도는 cholesterol esterase를 포함하는 효소법 kit(영동제약)을 이용하여 spectrophotometer(Spectronic 301, Milton Roy)로 파장 500nm에서 비색정량하였고, 중성 지방 농도는 lipoprotein lipase를 포함하는 효소법 kit(신양화학약품)을 이용하여 파장 505nm에서 비색정량하였다. 혈청의 HDL-cholesterol 농도는 cholesterol esterase를 포함하는 효소법 kit(국제시약, 일본)로 파장 540nm에서 비색정량하였다. 간과 변의 총 지방 농도는 Bligh & Dyer법⁴¹⁾을 이용하여 측정하였다.

혈액과 뇨의 Cd 농도는 Zinterhofer법⁴²⁾에 의하여, 그리고 간, 신장, 소장과 변의 Cd 농도는 Yeager법⁴³⁾에 의하여 atomic absorption spectrophotometer (AAS, Perkin-Elmer Co., Model 2380)로 농도를 측정하였다.

간, 신장, 소장의 MT 농도는 Cadmium/hemoglobin affinity assay 방법⁴⁴⁻⁴⁶⁾을 이용하여 측정하였다.

노중 단백질 배설량은 Lowry 방법⁴⁷⁾을 이용하여 분석하였다. 뇨의 creatinine 배설량과 혈청 creatinine 농도를 Jaffe 반응의 변형법을 이용한 kit(영동제약)을 이용하여 측정하였고, 이로부터 사구체 여과율을 산출하였다.

4. 식이 섬유와 β-glucan의 함량 측정

본 실험에서 사용한 쌀가루와 보리가루내 식이 섬유와 β-glucan의 함량을 측정하였다. 식이 섬유의 함량은

AOAC 공인 방법인 Lee⁴⁸⁾의 방법을 이용하여, β -glucan의 함량은 Aman의 방법⁴⁹⁾을 변형한 방법⁵⁰⁾을 이용하여 측정하였다.

5. 통계 처리

본 연구의 모든 분석 결과는 실험군당 평균과 표준 오차를 계산하였고, $\alpha=0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test에 의하여 각 실험군의 평균치간의 유의성을 검정하였다. 또한 식이 인자(A : 식이 CdCl₂ 수준, B : 탄수화물 급원)의 영향과 이들의 상호작용(AB : Cd×탄수화물)에 의한 영향은 $\alpha=0.05$ 수준에서 이원 배치 분산 분석(two-way analysis of variance)으로 유의성을 검정하였다.

실험결과

1. 식이 섬유와 β -glucan의 함량

본 실험에서 사용한 쌀가루의 식이 섬유는 불용성 식이 섬유가 2.43%, 수용성 식이 섬유가 1.51%였고, 이들의 합으로 구한 총 식이 섬유의 함량은 3.94%였다. 반면에, 보리가루는 불용성 식이 섬유가 6.19%, 수용성 식이 섬유가 4.56%, 총 식이 섬유가 10.75%로서 쌀가루의 식이 섬유의 약 2.7배였다. 또한 쌀가루의 β -glucan은 1.06%, 보리가루의 β -glucan은 3.11%로서 보리가루내 β -glucan 함량이 쌀가루의 약 3배였다.

2. 식이 섭취량, 체중 증가량 및 식이 효율

실험 동물의 하루 평균 식이 섭취량, 체중 증가량과 이로부터 계산한 식이 효율을 Table 2에 제시하였다.

식이 섭취량은 Cd 공급에 의하여 영향을 받아 Cd 공급군들에서 낮았고, 탄수화물 급원에 의한 유의적인 차

이는 없었으나 전분군들보다는 쌀가루나 보리가루를 섭취한 군들의 식이 섭취량이 많은 경향을 보였다. 실험 기간 동안의 체중 증가량은 Cd 공급에 의해 크게 영향을 받아 Cd 공급군들이 비공급군들에 비해 매우 낮았으며, 전분을 탄수화물 급원으로 주었을 때 체중 증가량이 낮았고 나머지 탄수화물 군간에는 유의적 차이가 없었다. 식이 효율은 Cd을 공급한 군들에서 낮았고, 유의적 차이는 없었으나 쌀가루와 보리가루를 섭취한 군들에서 높은 경향을 보였다.

3. 장기무게

실험 동물을 희생시킨 후 측정된 간, 신장, 소장 무게를 Table 3에 나타내었다.

간의 무게는 Cd 공급 유무에 의해 영향을 받아 Cd 공급군들에서 낮았으나 탄수화물 급원에 따른 차이는 없었다. 신장의 무게는 Cd 공급유무와 탄수화물 급원에 의해 영향을 받아 Cd 공급군들이 비공급군들보다 낮았고, 전분군들이 다른 탄수화물 군들보다 낮았다. 소장의 무게는 Cd 공급유무의 영향, Cd 공급유무와 탄수화물 급원의 상호작용의 영향을 받아 Cd 공급군들이 비공급군들보다 높았고, Cd 공급군들에서는 보리가루군이 가장 높았으며 Cd 비공급군들에서는 보리가루군이 가장 낮았다.

4. 혈당과 혈청 지질 농도

공복시 혈당과 혈청의 지질 분석 결과를 Table 4에 제시하였다.

혈당 수준은 각 군간에 유의적 차이를 보이지 않았고, 단지 Cd 공급군들중 쌀가루군이 낮은 경향이였다.

혈청의 cholesterol 농도는 각 군간에 큰 차이를 보이지 않았으나, Cd 공급군들 중 전분군(CdS)이 가장 높

Table 2. Food intake, body weight gain and food efficiency ratio

Groups	Food intake(g/day)	Body weight gain(g/4 weeks)	Food efficiency ratio
NS	¹⁾ 19.47 ± 0.74 ^{a2)}	126.80 ± 10.11 ^a	0.231 ± 0.011 ^{ab}
NR	18.73 ± 0.75 ^a	147.83 ± 9.62 ^a	0.283 ± 0.019 ^a
NB	19.13 ± 0.81 ^a	126.04 ± 8.94 ^a	0.235 ± 0.013 ^{ab}
NRB	19.50 ± 0.67 ^a	150.31 ± 10.91 ^a	0.273 ± 0.013 ^a
CdS	11.61 ± 0.50 ^b	21.64 ± 8.28 ^c	0.065 ± 0.026 ^d
CdR	13.87 ± 0.63 ^b	50.74 ± 9.00 ^{bc}	0.128 ± 0.020 ^{cd}
CdB	12.93 ± 0.49 ^b	64.09 ± 6.50 ^b	0.175 ± 0.015 ^{bc}
CdRB	12.51 ± 1.24 ^b	42.19 ± 17.99 ^{bc}	0.096 ± 0.071 ^{cd}
Significant Factor ³⁾	A	A	A

1) Mean ± Standard Error(n=7)

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

3) Statistical significance of dietary factors was calculated based on 2-way ANOVA and significant factor notations used are as follows :

A : Cadmium effect was significant at $\alpha=0.05$

B : Effect of carbohydrate source was significant at $\alpha=0.05$

AB : Effect of cadmium × carbohydrate source was significant at $\alpha=0.05$

Table 3. Organ weights

Groups	Liver weight(g)	Kidney weight(g)	Small intestine weight(g)
NS	¹⁾ 10.32±0.43 ^{a2)}	2.28±0.06 ^{bc}	3.91±0.53 ^{bc}
NR	10.28±0.47 ^a	2.54±0.06 ^a	4.31±0.22 ^{bc}
NB	10.02±0.31 ^{ab}	2.50±0.05 ^{ab}	3.17±0.29 ^c
NRB	11.17±0.53 ^a	2.75±0.13 ^a	3.63±0.24 ^{bc}
CdS	7.42±0.24 ^d	1.97±0.10 ^d	4.02±0.22 ^{bc}
CdR	8.12±0.15 ^{cd}	2.07±0.04 ^{cd}	4.70±0.40 ^{ab}
CdB	8.88±0.55 ^{bc}	2.18±0.10 ^{cd}	5.51±0.36 ^a
CdRB	8.33±0.45 ^{cd}	2.01±0.11 ^d	4.64±0.56 ^{ab}
Significant factor ³⁾	A	A, B	A, AB

1), 2), 3) See Table 2

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

Groups	Serum glucose (mg/100ml)	Serum cholesterol (mg/100ml)	Serum triglyceride (mg/100ml)	Serum HDL-cholesterol (mg/100ml)	HDL:total cholesterol ratio
NS	¹⁾ 102.24± 4.59 ^{NS4)}	81.30± 6.62 ^{ab2)}	115.64±12.54 ^a	40.12±2.62 ^a	0.462±0.016 ^a
NR	106.97± 7.09	81.00± 7.48 ^{ab}	91.49±10.07 ^{abc}	39.42±2.71 ^{ab}	0.472±0.008 ^a
NB	104.24± 5.85	86.17± 8.28 ^{ab}	80.96± 7.87 ^{bc}	40.56±4.47 ^a	0.435±0.015 ^a
NRB	108.30± 5.22	79.77±10.44 ^{ab}	97.76±12.46 ^{ab}	37.82±5.48 ^{ab}	0.465±0.036 ^a
CdS	107.52±10.83	97.10± 8.83 ^a	63.82± 5.84 ^c	39.22±2.02 ^{ab}	0.421±0.039 ^{ab}
CdR	93.81± 6.62	79.94± 2.43 ^{ab}	68.08± 9.33 ^{bc}	30.41±2.00 ^{ab}	0.366±0.011 ^{bc}
CdB	107.80± 7.43	71.74± 5.43 ^b	66.04±10.81 ^c	29.14±3.16 ^b	0.355±0.008 ^c
CdRB	103.98± 6.42	78.25± 5.22 ^{ab}	62.69± 6.54 ^c	28.95±1.98 ^b	0.346±0.016 ^c
Significant Factor ³⁾		A	A	A	

1), 2), 3) See Table 2

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

있고, 보리가루군(CdB)이 가장 낮았다. 중성 지방 농도는 식이내 Cd에 의해 영향을 받아 Cd 공급군들이 비공급군들보다 낮았다. 또한 Cd 공급군들에서는 탄수화물 급원에 따른 차이가 없었으나 Cd를 공급하지 않은 군들에서는 보리가루군(NB)이 가장 낮았고 전분군이 가장 높았다. HDL-cholesterol 농도는 Cd 공급유무의 영향으로 Cd 공급군들이 비공급군들에 비해 낮았으나 탄수화물 급원에 따른 차이는 볼 수 없었다. 또한 HDL-cholesterol : total cholesterol ratio도 식이내 Cd 공급유무의 영향으로 Cd 공급군들이 비공급군들보다 낮았고, 탄수화물 급원에 따라서는 차이가 나지 않았다.

5. 간 지질 농도

간의 총 지방, cholesterol, 중성 지방의 농도를 분석한 결과를 Table 5에 제시하였다.

간의 총 지방 농도는 Cd 공급 유무에 의해 영향을 받아 Cd 공급군들이 비공급군들보다 낮았다. 또한 Cd 공급군들과 비공급군들에서 공통적으로 보리가루를 공급한 NB군과 CdB군의 총지방량이 낮은 경향을 나타냈다. 모든 군들 중에서 Cd 비공급군의 전분군이 가장 높았다. 간의 cholesterol 농도는 Cd 공급 유무의 영향이 유의적이어서 Cd 공급군들에서 낮았고, Cd 공급유무와

탄수화물 급원의 상호 작용의 영향도 유의적이어서 Cd 비공급군들에서는 전분군이 가장 높았고, Cd 공급군들에서는 유의적은 아니나 전분군이 가장 낮았다. 특히 Cd 비공급군들중 전분군이 다른 군들에 비해 유의적으로 가장 높았다. 중성 지방 농도는 Cd 공급 유무와 탄수화물 급원에 의한 영향이 모두 나타나서 Cd 공급군들이 비공급군들보다 훨씬 낮았고, 전분군들이 쌀가루나 보리가루, 혼합가루를 공급한 군들에 비해 높았으며 특히 보리가루, 혼합가루군이 낮았다.

6. 변 지질 배설량

변을 통한 총 지방, cholesterol, 중성 지방의 배설량을 Table 6에 제시하였다.

변으로의 총 지방 배설량은 Cd 공급유무에 따른 차이는 없었으나 탄수화물 급원, Cd 공급유무와 탄수화물 급원의 상호 작용의 영향이 유의적이어서 쌀가루와 보리가루를 탄수화물 급원으로 공급한 군들이 전분을 공급한 군들보다 변의 총지방 배설량이 높았는데 특히 NRB군이 가장 높았다. 변의 cholesterol 배설량은 Cd 공급 유무, 탄수화물 급원, 이들의 상호 작용의 영향이 모두 나타났다. 즉, Cd를 공급하지 않은 군들이 공급한 군들보다 높았고, Cd 공급 유무에 관계 없이 보리가루를 탄수

Table 5. Liver total lipid, cholesterol and triglyceride concentrations

Groups	Liver total lipid(mg/g wet wt)	Liver cholesterol(mg/g wet wt)	Liver TG(mg/g wet wt)
NS	¹⁾ 36.05 ± 2.56 ²⁾	2.26 ± 0.21 ^a	10.54 ± 0.93 ^a
NR	30.71 ± 1.27 ^{ab}	1.67 ± 0.22 ^b	8.71 ± 1.27 ^{ab}
NB	27.60 ± 1.62 ^{bc}	1.41 ± 0.16 ^b	6.64 ± 0.62 ^b
NRB	28.28 ± 2.76 ^{bc}	1.30 ± 0.10 ^b	6.83 ± 0.83 ^b
CdS	23.34 ± 1.67 ^c	1.21 ± 0.09 ^b	3.84 ± 0.69 ^c
CdR	25.14 ± 1.55 ^{bc}	1.34 ± 0.12 ^b	3.47 ± 0.45 ^c
CdB	23.02 ± 2.02 ^c	1.57 ± 0.22 ^b	3.34 ± 0.81 ^c
CdRB	24.57 ± 1.56 ^c	1.39 ± 0.07 ^b	3.75 ± 0.56 ^c
Significant factor ³⁾	A	A, AB	A, B

1), 2), 3) See Table 2

Table 6. Fecal total lipid, cholesterol and triglyceride excretions

Groups	Fecal total lipid(mg/day)	Fecal cholesterol(mg/day)	Fecal TG(mg/day)
NS	¹⁾ 26.81 ± 3.40 ²⁾	2.32 ± 0.29 ^{bc}	0.09 ± 0.02 ^d
NR	73.22 ± 5.29 ^{abc}	3.89 ± 0.72 ^b	0.19 ± 0.02 ^{bcd}
NB	60.46 ± 8.42 ^{bcd}	6.14 ± 1.09 ^a	0.34 ± 0.07 ^{abc}
NRB	94.38 ± 17.18 ^a	6.03 ± 0.72 ^a	0.41 ± 0.15 ^a
CdS	34.76 ± 2.44 ^{de}	1.31 ± 0.28 ^c	0.08 ± 0.02 ^d
CdR	45.32 ± 7.95 ^{cde}	1.14 ± 0.21 ^c	0.12 ± 0.03 ^{cd}
CdB	83.23 ± 13.41 ^{ab}	3.64 ± 0.51 ^b	0.36 ± 0.10 ^{ab}
CdRB	63.51 ± 9.88 ^{bcd}	1.57 ± 0.27 ^c	0.15 ± 0.03 ^{bcd}
Significant Factor ³⁾	B, AB	A, B, AB	B

1), 2), 3) See Table 2

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

Groups	Blood Cd(µg/100ml)	Intestine Cd(µg/g wet wt)	Liver Cd(µg/g wet wt)	Kidney Cd(µg/g wet wt)
NS	¹⁾ 2.83 ± 0.59 ²⁾	0.57 ± 0.20 ^c	0.75 ± 0.34 ^d	3.53 ± 0.32 ^c
NR	3.06 ± 0.92 ^b	0.77 ± 0.16 ^c	0.78 ± 0.20 ^d	3.15 ± 0.38 ^c
NB	1.97 ± 0.69 ^b	1.38 ± 0.13 ^c	0.57 ± 0.18 ^d	3.05 ± 0.29 ^c
NRB	2.49 ± 0.71 ^b	1.11 ± 0.18 ^c	1.34 ± 0.29 ^d	2.85 ± 0.43 ^c
CdS	33.84 ± 2.21 ^a	13.13 ± 1.17 ^b	62.68 ± 5.83 ^b	50.61 ± 3.63 ^b
CdR	33.37 ± 0.96 ^a	11.32 ± 1.46 ^b	70.56 ± 1.40 ^b	69.80 ± 2.76 ^a
CdB	31.86 ± 0.74 ^a	17.24 ± 3.26 ^a	51.86 ± 2.74 ^c	56.61 ± 4.11 ^b
CdRB	31.97 ± 1.03 ^a	12.07 ± 0.66 ^b	45.81 ± 2.70 ^c	56.74 ± 5.21 ^b
Significant factor ³⁾	A	A	A, B, AB	A, B, AB

1), 2), 3) See Table 2

화물 급원으로 공급한 군들(NB, CdB)이 변으로의 cholesterol 배설량이 가장 높았으며 그중 Cd를 공급하지 않은 보리가루군이 더욱 높았다. 변의 중성 지방 배설량은 Cd 공급유무에 따른 차이는 없었으나 탄수화물 급원에 의한 영향이 유의적이었다. 즉, 보리가루군들과 혼합가루군들에서 높은 배설량을 보였고, 전분군들은 매우 낮은 배설량을 보였다.

7. 혈액과 소장, 간, 신장의 Cd 농도

혈액 등 각 조직의 Cd 농도를 측정된 결과는 Table 7과 같았다.

혈액의 Cd 농도는 Cd 공급으로 유의적으로 증가하였고, 탄수화물 급원에 의한 영향은 나타나지 않았다. 소장

의 Cd 농도는 Cd 공급으로 유의적으로 증가하였고, Cd 공급군들중 보리가루군(CdB)의 Cd 농도가 가장 높았다. 간의 Cd 농도는 식이내 Cd 공급유무, 탄수화물 급원, 이들의 상호 작용에 의한 영향이 모두 나타났다. 즉, Cd 공급군들이 비공급군들에 비해 간의 Cd 농도가 높았고, Cd 비공급군들에서 탄수화물 급원에 따른 유의적 차이는 없었으나 Cd 공급군들에서는 보리가루군(CdB)과 혼합가루군(CdRB)이 타군들보다 낮았다. 신장의 Cd 농도는 간의 Cd 농도와 비슷한 경향이어서 Cd 공급유무, 탄수화물 급원, 이들의 상호 작용의 영향이 모두 유의적이었다. 즉, Cd 공급군들의 Cd 농도가 비공급군들보다 높았고, Cd 비공급군들에서는 탄수화물

급원에 따른 유의적 차이는 없었으나 Cd 공급군들에서는 쌀가루군(CdR)의 Cd 함량이 다른 세 탄수화물 군들에 비하여 가장 높았다.

8. 변의 무게, 뇨와 변의 Cd 배설량과 Cd 보유율

모든 실험 동물이 tube feeding에 의해 동량의 Cd를 공급받는 동안 채취한 변의 무게와 뇨와 변으로의 Cd 배설량과 Cd 보유율을 Table 8에 제시하였다.

대사장에서 수거한 이틀간의 변의 양은 Cd 공급과 탄수화물 급원에 의해 영향을 받아, Cd 공급군들보다 비공급군들이 많았고, 탄수화물 급원에 따라 살펴보면 보리가루, 혼합가루군들이 많았고 전분군이 가장 적었다. 뇨를 통한 Cd 배설량은 Cd 공급유무, 탄수화물 급원, 이들의 상호 작용의 영향이 모두 나타났다. 즉, Cd 공급군들이 비공급군들보다 많았고, Cd 비공급군들에서는 탄수화물 급원에 따른 차이는 없었으나 Cd 공급군들에서는 전분군(CdS)과 보리가루군(CdB)이 타군들에 비해 많았다. 변을 통한 Cd 배설량은 Cd 공급으로 현저하게 증가하였고, Cd 비공급군들에서는 탄수화물 급원에 따른 차이가 없었으나 Cd 공급군들 내에서는 탄수화물 급원에 의한 차이가 뚜렷하게 나타났다. 즉, 보리가루군(CdB)의 Cd 배설량이 타군들에 비해 매우 많았고, 그 다음으로 쌀가루군(CdR), 혼합가루군(CdRB), 옥수수 전분군(CdS) 순서로 변중의 Cd 배설량이 많았다. 뇨와

변으로의 Cd 배설량으로부터 구한 Cd 보유율은 탄수화물 급원의 영향을 받아 전분군에서 가장 높았고, 혼합가루군, 쌀가루군이 다음으로 높았으며, 보리가루군의 Cd 보유율이 타군들에 비해 현저하게 낮았다.

9. 소장, 간, 신장의 metallothionein 농도

소장, 간, 신장의 MT 농도를 분석한 결과를 Table 9에 제시하였다.

소장의 MT 농도는 Cd 공급으로 유의적으로 증가하였고, Cd 공급군들중 쌀가루군의 MT 농도가 타군들에 비해 높은 경향을 보였다. 간의 MT 농도는 식이내 Cd 공급유무에 의해 영향을 받아 Cd를 공급한 군들에서 현저하게 높은 수준을 나타냈다. 탄수화물 급원에 의한 유의적인 차이는 나지 않았으나, Cd 공급군들중 전분군과 쌀가루군의 MT 농도가 보리가루나 혼합가루군보다 높은 경향이었다. 신장의 MT 농도 또한 소장과 간의 경우와 마찬가지로 Cd를 공급한 군들에서 유의적으로 높은 수준을 나타내었고, Cd 공급군들중 보리가루군(CdB)의 MT 농도가 가장 높았다.

10. 신장 기능(노중 단백질 배설량, 사구체 여과율)

만성적인 Cd 중독시 크게 손상을 입는 기관으로 알려진 신장의 기능 이상을 판단하기 위하여 노중 단백질 배설량을 측정하였고, 뇨 creatinine 배설량과 혈청의

Table 8. Feces weight, urinary and fecal Cd excretions, and Cd retention ratio

Groups	Feces weight(g dry wt/2days)	Urinary Cd(µg/day)	Fecal Cd(µg/day)	Cd retention ratio(%)
NS	¹⁾ 0.79 ± 0.08 ^{cdz}	1.50 ± 0.04 ^c	1.23 ± 0.03 ^e	-
NR	1.31 ± 0.21 ^{abc}	2.48 ± 1.44 ^c	2.84 ± 0.03 ^c	-
NB	1.57 ± 0.21 ^a	2.28 ± 0.02 ^c	3.98 ± 0.10 ^e	-
NRB	1.83 ± 0.28 ^a	2.24 ± 0.03 ^c	4.37 ± 0.18 ^e	-
CdS	0.72 ± 0.17 ^d	11.14 ± 0.09 ^a	350.61 ± 5.72 ^d	81.91 ± 0.29 ^a
CdR	0.74 ± 0.10 ^{cd}	8.53 ± 1.28 ^b	523.49 ± 16.69 ^b	73.40 ± 0.86 ^c
CdB	1.41 ± 0.18 ^{ab}	11.75 ± 0.16 ^a	837.88 ± 16.44 ^a	57.52 ± 0.82 ^d
CdRB	0.89 ± 0.17 ^{bcd}	8.10 ± 0.35 ^b	469.25 ± 4.66 ^c	76.13 ± 0.25 ^b
Significant factor ³⁾	A, B	A, B, AB	A, B, AB	B

1), 2), 3) See Table 2

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

Groups	Intestine MT(µg/g wet wt)	Liver MT(µg/g wet wt)	Kidney MT(µg/g wet wt)
NS	¹⁾ 3.49 ± 0.29 ^{c2)}	10.14 ± 1.09 ^b	3.91 ± 0.45 ^b
NR	3.77 ± 0.35 ^c	11.35 ± 3.20 ^b	4.20 ± 0.75 ^b
NB	3.19 ± 0.23 ^c	13.12 ± 1.55 ^b	4.47 ± 0.98 ^b
NRB	2.24 ± 0.15 ^c	15.43 ± 2.50 ^b	4.33 ± 0.47 ^b
CdS	16.96 ± 3.89 ^{ab}	269.39 ± 32.09 ^a	11.91 ± 1.01 ^{ab}
CdR	24.21 ± 6.09 ^a	251.22 ± 34.50 ^a	10.22 ± 1.39 ^{ab}
CdB	15.26 ± 2.19 ^b	215.64 ± 25.52 ^a	20.87 ± 11.59 ^a
CdRB	13.86 ± 3.26 ^b	220.22 ± 24.85 ^a	16.75 ± 6.66 ^{ab}
Significant factor ³⁾	A	A	A

1), 2), 3) See Table 2

Table 10. Urinary protein and creatinine excretions, serum creatinine concentration and creatinine clearance

Groups	Urinary protein(mg/day)	Urinary creatinine(mg/day)	Serum creatinine(mg/100ml)	Creatinine clearance(ml/min)
NS	¹⁾ 1.14±0.13 ^{bc2)}	12.11±0.73 ^b	0.58±0.09 ^{NS4)}	1.66±0.27 ^a
NR	1.28±0.09 ^{abc}	14.46±0.98 ^a	0.79±0.15	1.54±0.28 ^{ab}
NB	0.88±0.18 ^c	9.13±0.68 ^{cde}	0.64±0.16	1.63±0.49 ^a
NRB	1.22±0.13 ^{bc}	10.77±1.31 ^{bc}	0.80±0.14	1.26±0.35 ^{abc}
CdS	1.19±0.20 ^{bc}	9.38±0.46 ^{cde}	1.06±0.18	0.74±0.14 ^{bc}
CdR	1.17±0.07 ^{bc}	10.47±0.45 ^{bcd}	1.17±0.24	0.78±0.16 ^{bc}
CdB	1.53±0.13 ^{ab}	7.76±0.29 ^e	1.11±0.26	0.59±0.08 ^c
CdRB	1.68±0.11 ^a	8.23±0.47 ^{de}	0.87±0.14	0.73±0.10 ^{bc}
Significant factor ³⁾	A, AB	A, B	A	A

1), 2), 3) See Table 2

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

creatinine 농도로부터 사구체 여과율을 계산한 결과를 Table 10에 제시하였다.

노중 단백질 배설량의 경우 Cd 공급유무의 영향, Cd 공급유무와 탄수화물 급원의 상호 작용의 영향이 유의적으로 나타났다. 즉, Cd 공급으로 노중 단백질 배설량이 증가하였으며, Cd 비공급군들중 보리가루군(NB)이 가장 적었고, Cd 공급군들중 혼합가루군(CdRB)이 가장 많았다. 사구체 여과율은 식이내 Cd의 영향을 받아 노 creatinine 배설량이 적고 혈청 creatinine 농도가 높았던 Cd 공급군들이 비공급군들보다 낮았고, 그 중 보리가루군이 가장 낮았다.

고 찰

본 연구에서는 탄수화물 급원으로 전분, 쌀가루, 보리가루, 쌀가루와 보리가루의 7:3 혼합물을 함유한 식이로 흰쥐를 사육하였을 때 식이내 식이 섬유가 혈당, 지방 및 cadmium 대사에 미치는 영향을 알아보고자 실험 동물의 성장, 혈당, 혈청 및 간·변의 지질 수준, 소장·간·신장의 Cd 농도 및 MT 농도와 뇨·변으로의 Cd 배설량 및 신장 기능을 측정하였고, 실험에 사용된 쌀가루와 보리가루내 식이 섬유와 β -glucan의 함량을 측정하였다.

쌀가루와 보리가루의 식이 섬유 함량을 비교해 보면, 보리가루의 식이 섬유 함량이 쌀가루에 비하여 훨씬 높았다. 총 식이 섬유(total dietary fibers)의 양으로 보았을 때 보리가루의 식이 섬유가 쌀가루의 약 2.7배였고, β -glucan의 함량도 약 3배에 달하였다. 따라서 보리를 섭취하면 많은 양의 식이 섬유를 공급받을 수 있고, 특히 β -glucan의 작용으로 체내에서 여러 가지 유익한 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 각 군의 탄수화물:단백질:지방으로부터의 열량 구성 비율을 살펴보면 55~63%:15~21%:22~24%로서 지방 섭취량에는 큰 차이가 없었고, 전분군은 탄수화물로부터의

열량 공급 비율이 다른 탄수화물 군들보다 높았고, 쌀가루, 보리가루, 혼합가루군들은 단백질로부터의 열량 공급 비율이 높았으나 총 열량에 있어서는 거의 비슷하였다. 또한 전체 식이 무게에 대한 총 식이 섬유 함량 비율은 전분군이 0%, 쌀가루군이 2.7%, 보리가루군이 7.5%, 혼합가루군이 4.1%였고, β -glucan의 함량 비율은 전분군이 0%, 쌀가루군이 0.7%, 보리가루군이 2.2%, 혼합가루군이 1.1%였다.

실험 동물의 식이 섭취량과 체중 증가량 및 식이 효율이 Cd 공급으로 인하여 감소하였는데 이는 Cd를 동물에게 경구 투여하거나 피하 주사한 많은 연구에서 공통적으로 나타나는 증상이다. Cadmium이 성장을 저해하는 것은 Cd가 직접적으로 식이 섭취량을 감소시키거나 체내 영양소의 흡수 및 대사에 영향을 주어 식이 효율을 감소시키는 것으로 설명할 수 있다⁵¹⁾. 탄수화물 급원에 따른 유의적인 차이는 없었으나 Cd 공급군들 중 보리가루군의 체중 증가량과 식이 효율이 타군들보다 높았는데 이는 보리내 풍부한 식이 섬유가 Cd와 결합하여 변으로 배설시켜 흡수율이 저하되었기 때문에 Cd으로 인한 성장 저하가 완화된 것으로 보인다.

Cadmium의 주요 대사 기관인 간과 신장의 무게는 여러 연구에서와 같이 Cd 공급에 의하여 감소하였다. 이는 Cd에 의해 조직이 손상되었거나 체중이 감소한 때문으로 볼 수 있다. 반면 Cd 공급군들 중 식이 섬유 함량이 높은 보리가루군의 간, 신장, 소장의 무게가 가장 높았는데 이는 보리가루군의 체중 증가량과 식이 효율이 가장 높은 것을 감안할 때 각 기관의 성장도 큰 것으로 보인다.

또한 본 연구에서는 식이 섬유의 당뇨병 예방 및 치료 효과를 살펴보기 위하여 실험 동물의 혈당을 측정하였다. 당뇨병 환자에게 guar gum과 pectin을 섭취하게 하였을 때 혈당과 insulin 분비가 낮아졌다고 발표⁵²⁾된 이래 수용성 식이 섬유를 음식물과 함께 섭취할 경우 정상인이나 당뇨병 환자의 혈당이 강화되는 효과를 관찰한

연구 결과들이 있다⁸⁾⁵³⁾. 식이 섬유가 glucose 흡수에 영향을 미치는 기전은 gastric emptying rate을 감소시키고 소장의 흡수 표면으로 glucose가 확산되는 것을 감소시키기 때문이라고 알려져 있다. Schneeman¹²⁾은 식이 섬유의 구조 내에 glucose를 붙잡아 가두는 효과(entrapping effect)로 설명하고 있는데, 특히 수용성 식이 섬유는 물과 함께 점성이 높은 gel 구조를 형성하여 gel matrix를 형성하여 glucose를 가두는 효과로 장내의 glucose 확산을 떨어뜨린다고 한다. 반면, 불용성 식이 섬유는 그 기전이 수용성 식이 섬유와 다를 것으로 예상되는데 효과는 작으나 glucose 흡수 지연 효과를 가지는 것은 Adiotomre⁵⁴⁾이 지적한 바와 같이 fiber matrix 안에 glucose를 가두는 효과에 의한 고립현상에 의해 장내의 glucose 확산을 떨어뜨리는 것으로 생각된다. 본 연구에서는 쌀과 보리내 식이 섬유가 당 흡수에 영향을 줄 수 있는지 알아보기 위해 혈당을 측정하였는데 각 공간에 유의적 차이가 나타나지 않았다. 이는 실험 동물로부터 혈액을 식후 12시간만에 채취하였고, 또한 guar gum, pectin과 같은 정제된 식이 섬유를 식이 무게의 4~5%로 첨가하여 혈당 강하 효과를 관찰한 실험에 비해 곡류내 식이 섬유의 함량이 적고, 점도 등의 물리적 특성이 다르기 때문에 뚜렷한 혈당 강하 효과를 나타내지 않았다고 생각된다. 보리로부터 β -glucan⁵⁰⁾과 식이 섬유⁵⁵⁾를 추출하여 glucose 흡수 지연 효과를 살펴본 *in vitro* 연구에 의하면, 투석막을 통한 glucose 투과율이 투석 시작 후 2시간까지는 효과적으로 증가하나, 시간이 경과함에 따라 glucose 흡수 지연 효과가 감소하여 24시간까지 투석 시간을 연장시켰을 때는 glucose가 거의 전부 투과된 것으로 보아, 식이 섬유나 β -glucan의 첨가는 음식을 통한 glucose 섭취시 초기에는 glucose 흡수 지연 효과에 의해 혈액내 glucose의 완만한 상승에 도움을 줄 수 있을 것이며, 음식물 섭취 시간이 길어짐에 따라 glucose 흡수 지연 효과는 떨어져 전체적인 glucose 흡수량에는 큰 차이를 가져오지 않을 것이라고 하였다. 따라서 본 실험과 같이 일상식의 형태로 보리를 섭취할 때 보리에 함유된 식이 섬유 또는 β -glucan은 식후 혈당의 급격한 상승을 억제하고 insulin을 절약할 수 있을 것으로 보인다.

쌀과 보리의 식이 섬유가 지방 대사에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실험 동물의 혈청, 간, 변의 지질 함량을 분석하였다. Cadmium 공급의 영향으로 혈청내 중성 지방, HDL-cholesterol과 간내 총 지방, cholesterol, 중성 지방 수준이 감소하였고, 변으로의 cholesterol 배설량이 감소하였으나, 탄수화물 급원에 따라서는 지질 함량에 큰 차이를 보이지 않았다.

수용성 식이 섬유의 함량이 높은 oat bran이나 보리로 만든 제품 등을 hypercholesterolemia 환자에게 공급하여 혈청 cholesterol을 낮출 수 있었던 결과로부터 β -glucan의 hypocholesterolemic effect를 증명한 연구들^{17,56)}도 있고, 하루에 pectin 4g과 guar gum 3.5g을 포함하여 식이 섬유 10g을 섭취하지 않은 hypercholesterolemia 증상을 나타내는 환자에게 15주 동안 보충해 주었을 때 total cholesterol과 LDL-cholesterol을 낮추는 효과를 나타낸 실험도 있었다⁵⁷⁾. 식이 섬유가 혈청 cholesterol 농도를 저하시킬 수 있는 것은 식이 섬유 섭취시 bile acid와 식이 섬유가 결합함으로써 bile acid의 배설량을 증가시키고, 식이 섬유의 gel 형성으로 인해 bile acid를 격리시켜 장내로의 흡수를 감소시키기 때문이라고 설명할 수 있다⁵⁸⁾. 또한 식이 섬유가 대장 내에서 발효되어 생긴 propionic acid가 3-hydroxy-3-methyl glutaryl CoA(HMG CoA) reductase의 inhibitor로 작용하여 혈청 cholesterol을 낮출 수 있고⁵⁹⁾, 식이 섬유의 glucose 흡수 조절 효과로 인한 insulin 분비 감소에 의해 간내 cholesterol 및 지방산 합성이 감소되었다는 보고도 있다. 곡류 자체를 사용한 본 실험에서, 정제된 섬유를 사용했거나 곡류의 bran, 혹은 곡류로부터 분리한 섬유 추출물을 사용한 다른 실험들에 비하여 혈청 cholesterol 강하 효과가 적었다. 그러나 식이 섬유를 전혀 함유하고 있지 않은 전분군보다는 쌀가루나 보리가루를 섭취한 군들의 혈청 cholesterol 농도가 낮은 경향이였다. 따라서 식이 섬유 섭취량을 더 증가시킨다면 혈청 cholesterol 강하 효과를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

또한 혈청내 중성 지방의 농도는 Cd 공급에 의해 낮아졌는데 이는 Cd 공급군들의 식이 섭취량이 적었기 때문이라고 생각된다. 또한 Cd 비공급군들에서 보리가루군이 가장 낮았고, 전분군이 가장 높았는데 이것은 전분군이 다른 군들보다 탄수화물로부터의 열량 공급 비율이 높아 이로부터 중성 지방의 합성이 증가하였기 때문인 것으로 보인다.

간의 총 지방, cholesterol, 중성 지방 수준이 Cd의 공급으로 인하여 감소하였는데 이것은 Cd으로 인하여 섭취량이 감소하여 생긴 영양 불량 때문으로 생각된다. 또한 Cd 공급군들과 비공급군들에서 공통적으로 보리가루와 혼합가루를 공급한 군들의 간내 총 지방량이 낮은 경향이었는데, 이는 정경아와 장유경의 연구⁶¹⁾에서 백미, 현미, 밀, 밀가루를 섭취한 군들보다 보리를 섭취한 군의 간내 총 지방량이 낮았던 결과와 일치하는 것으로 수용성 식이 섬유 또는 β -glucan의 함량이 많은 보리의 효과를 기대할 수 있으리라 본다. 간내 cholesterol 농도

는 Cd를 공급받지 않은 전분군(NS)이 다른 모든 군들에 비하여 유의적으로 가장 높았는데, 이는 전분을 공급한 군에서는 쌀가루나 보리가루에 포함되어 있는 식이 섬유의 효과를 기대할 수 없기 때문으로 생각된다.

변의 지질 배설량은 탄수화물 급원에 의하여 큰 영향을 받았다. 총 지방, cholesterol, 중성 지방 배설량 모두 전분군보다는 쌀가루나 보리가루를 공급했을 때 증가하였다. 특히 Cd 공급군들 중에서는 보리가루군의 지질 배설량이 높았고, Cd 비공급군들 중에서는 혼합가루군의 지질 배설량이 가장 높았다. 식이 섬유는 장내에서 bile acid, cholesterol과 결합하여 micelle 형성을 방해하여 소장내 효소의 작용을 적게 받고, 지방 흡수 표면의 기능성이 변화되어 대변내 지방 배설량을 증가시켜 지방의 흡수를 낮추어 준다. 따라서 보리와 같이 식이 섬유가 많이 함유되어 있는 곡류를 섭취하면 변으로 지방을 많이 배설하게 되고 지방의 흡수가 저하되므로, 심혈관계 질환이나 고지혈증 위험 집단에게 곡류의 섭취를 늘리거나 식이 섬유가 많은 곡류를 섭취하도록 하는 것이 좋겠다.

쌀과 보리내 식이 섬유가 Cd 대사에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실험 동물의 혈액 및 소장, 간, 신장의 Cd 농도와 뇨, 변으로의 Cd 배설량 및 Cd 보유율과 소장, 간, 신장의 MT 농도를 측정하였고, 신장 기능의 이상을 판단하기 위하여 뇨중 단백질 배설량과 사구체 여과율을 측정하였다.

Cadmium은 체내에 들어와서 조직에 축적된 후에는 쉽게 배설되지 않을 뿐 아니라 생물학적 반감기가 길기 때문에 체내로의 흡수를 예방하는 것이 중요하다. 한편, 중금속이 체내에 침입했을 때 생리적 해독 작용을 담당한다고 알려진 metallothionein(MT)은 금속결합 단백질로서, 61개의 아미노산으로 구성되어 있고, 분자내에 cysteine이 풍부하며(25~35%), 방향족 아미노산이나 소수성 아미노산 잔기가 적은 저분자성 단백질이다. 이는 7~12개의 금속 결합 부위를 가져서 여러 금속 이온의 대사를 조절하고, Cd, Pb, Hg 등 유독성 중금속에 의해 세포내에서 유도 합성되어 중금속을 격리시킴으로써 독성을 완화시키는 것으로 알려져 있다⁶²⁾. 일반적으로 경구로 섭취한 Cd는 흡수율이 매우 낮는데 이것은 점막 세포(mucosal cell)로부터 혈액으로의 Cd 흡수량이 lumen으로부터 점막 세포내로의 이행에 비해 훨씬 적기 때문으로 설명되고 있다. 이 결과 점막 세포에는 다량의 Cd이 축적되고 이 Cd를 유독하지 않은 형태로 trapping시키는 것이 소장에서의 MT의 역할이다⁶³⁾. 혈액으로 흡수된 Cd는 일차적으로 간으로 운반되어 축적되기 때문에 간의 Cd 함량이 증가한다. 그러나 Cd은 계

속 간에만 머무르는 것이 아니라 신장으로 운반되어 축적된다. 따라서 Cd 중독 초기에는 간 Cd 농도 : 신장 Cd 농도의 비율이 높다가 점점 감소하게 되고, 장기간 Cd를 공급하게 되면 신장에 더 많이 축적된다. 본 실험 결과 소장의 Cd 함량은 Cd 공급군들 중 보리가루군에서 가장 높았지만 간의 Cd 함량은 전분과 쌀가루를 공급한 군들에서 높았고, 신장의 Cd 함량은 쌀가루군에서 높았다. 이는 보리가루군에 비하여 전분이나 쌀가루를 섭취한 군들의 Cd이 간이나 신장에까지 운반, 축적되어 Cd 중독 정도가 심할 것을 의미한다.

장에서 흡수된 Cd은 혈류로 나온 후 albumin과 같은 고분자 단백질과 결합된 다음 간으로 이행된다. 간으로 이행된 Cd은 MT-Cd의 non-toxic한 형태로 격리되기 위하여 MT합성을 유도한다. 본 실험 결과 간의 MT 농도는 Cd 공급군들 사이에서 탄수화물 급원에 의한 유의적 차이는 나타나지 않았으나 간내 Cd 농도가 높았던 전분군과 쌀가루군에서 높은 경향이었다. 간의 MT-Cd는 그대로 머물러 있지 않고 혈액으로 방출되어 나오는데 본 실험에서 Cd 공급군들의 혈액의 Cd 함량에 유의적인 차이가 나타나지는 않았으나 보리가루군과 혼합가루군에서 약간 낮았다. 혈액의 MT-Cd는 다른 기관이나 조직의 세포막은 투과하지 못하나 신장의 사구체막을 선택적으로 투과하기 때문에 빠르게 신장으로 이행된 후 서서히 뇨로 배설된다⁶⁴⁾. 사구체막을 통해 여과된 Cd-MT는 pinocytosis에 의해 tubular cell로 재흡수된 후 lysosome에서 분해되어 free Cd가 방출되고 이에 의해 tubular cell에서 MT의 재합성이 시작되어 또다시 유독하지 않은 형태의 MT-Cd가 형성된다. 그러나 분해되는 과정에서 MT로부터 과량의 free Cd이 방출되면 tubular cell에서는 더 이상의 MT를 합성할 수 없으므로 과량의 free Cd은 Cd-MT형태로 격리되지 못하고 신장에 손상을 주기 시작한다고 하였으며, 이러한 critical Cd 농도는 흰쥐에서 약 200 μ g/g renal cortex로 보고되고 있다⁶⁵⁾. 따라서 만성적 Cd 중독시 가장 손상받기 쉬운 기관이 신장이라 할 수 있다. 본 실험에서 Cd 공급군들의 신장의 Cd 농도는 50~70 μ g/g kidney로 신장이 손상을 입을 정도의 심한 중독 상태는 아니었다. Roels등⁶⁶⁾은 신장이 손상되기 전에는 신장의 Cd 축적량과 뇨로의 Cd 배설량이 서로 상관성을 보여 뇨의 Cd 함량이 체내에 축적된 Cd 함량에 대한 좋은 척도가 될 수 있다고 하였다. 따라서 신장의 Cd 농도가 높았던 쌀가루군에서 뇨로의 Cd 배설량도 높았고 전분군의 Cd 배설량도 비슷한 수준이었다. 신장의 MT 농도 측정 결과 Cd 공급군들중 보리가루군에서 가장 높은 것으로 보아 가장 효과적으로 Cd을 제독하였다고 할 수 있다.

신장의 기능 이상을 판단하기 위하여 노중 단백질 배설량과 사구체 여과율을 측정된 결과, 노중 단백질 배설량은 Cd 공급군들에서 많았고 사구체 여과율은 Cd 공급군들에서 낮았으나, 노중 단백질 배설량과 사구체 여과율이 Cd 공급에 의하여 영향을 받지 않았던 선행 실험들³⁰⁻³³⁾의 결과와 비슷한 수치였고, 신장내 Cd 농도가 조직에 손상을 줄 정도가 아니었던 것으로 보아 신장 기능에는 큰 이상이 없을 것으로 보인다.

식이 섬유가 변의 양을 증가시키는 기전은 명확하지는 않지만 대개 변중의 성분, 즉 수분이나 고형 물질을 증가시키는 것과 관계가 있다고 보는데⁴⁰⁾, 본 실험에서 이동 동안 수거한 변의 무게는 식이 섭취량이 낮은 Cd 공급군들에서 감소하였으나, 그중 식이 섬유 함량이 많은 보리가루군에서 가장 높았다. 따라서 변으로의 Cd 배설량 또한 식이 섬유의 함량이 가장 많은 보리가루군에서 현저히 증가하였고, 쌀가루군과 혼합가루군에서도 전분군보다 많은 배설량을 보였다. 변으로의 Cd 배설량의 차이로 인하여 변 배설량이 가장 높은 보리가루군의 Cd 보유율이 가장 낮았다. 그러므로 식이 섬유 함량이 높은 보리를 섭취하면 변을 통하여 Cd를 효과적으로 배설시킬 수 있어 Cd에 의한 중독을 방지할 수 있으리라 생각된다.

요약 및 결론

본 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

식이 섬유 함량은 총 식이 섬유의 양으로 보리가루가 쌀가루의 약 2.7배였고, β -glucan의 함량은 보리가루가 쌀가루의 약 3배였다.

식이 섭취량과 체중 증가량은 Cd 공급으로 감소하였고, Cd 공급군들 중 보리가루군의 체중 증가량과 식이 효율이 타군들보다 높았다. 간과 신장의 무게는 Cd 공급으로 감소하였고, Cd 공급군들 중 보리가루군에서 간, 신장, 소장 무게가 가장 높았다.

혈당을 측정된 결과 각 군간에 유의적 차이를 보이지 않았다. 지방 대사에서는 Cd 공급에 의하여 혈청내 중성 지방, HDL-cholesterol과 간내 총 지방, cholesterol, 중성 지방 수준이 감소하였고, 변으로의 cholesterol 배설량이 감소하였다. 혈청의 cholesterol 농도는 각 군간에 큰 차이를 보이지 않았으나 Cd 공급군들 중 보리가루군이 가장 낮았고, 혈청의 HDL-cholesterol 농도는 Cd 비공급군들중 전분군과 보리가루군에서 높았다. 간의 총 지방, cholesterol, 중성 지방 수준이 Cd 공급으로 감소하였고, 보리가루와 혼합가루군들의 총 지방량이 낮았으며, 전분군의 cholesterol 농도가 다른 모든 군들

에 비하여 높았다. 또한 쌀가루와 보리가루를 섭취한 군들에서 변으로의 총 지방, cholesterol, 중성 지방 배설량이 높았다.

Cadmium 대사를 살펴보면, 소장의 Cd 함량은 Cd 공급군들중 보리가루군에서 높았고, 간의 Cd 함량은 전분군과 쌀가루군에서 높았으며, 신장의 Cd 함량은 쌀가루군에서 높았다. Metallothionein(MT) 농도를 측정된 결과 소장의 MT 농도는 쌀가루군에서 높았고, 신장의 MT 농도는 보리가루군에서 높았다. 노중 단백질 배설량과 사구체 여과율을 측정하였는데 신장 기능에 이상을 가져올 정도는 아니었다. 보리가루나 쌀가루를 섭취한 군들의 변 양이 많았고, 따라서 Cd 배설량이 증가하였으며 Cd 보유율이 낮았다.

이상의 결과를 종합하여 보면, 식이 섬유 특히 수용성 식이 섬유인 β -glucan의 함량이 높은 보리를 섭취했을 때 Cd 공급군의 혈청 cholesterol 농도가 낮았고, Cd 비공급군의 HDL-cholesterol 농도가 높았다. 간의 총 지방량이 감소하였으며 변으로의 지질 배설량이 높았다. 또한 변을 통한 Cd의 배설량을 현저히 증가시켜 간과 신장의 Cd 함량이 감소되었다. 이상으로 곡류에 함유된 식이 섬유가 흰쥐의 체내에서 생리적인 효과를 나타낼 수 있고 그 효과는 섬유의 종류에 따라 다르게 나타날 수 있음을 알 수 있다. 곡류는 탄수화물 급원으로써 우리의 일상 식사에서 가장 많이 섭취하게 되는 식품이므로 중요한 식이 섬유 공급원이라고 할 수 있다. 따라서 우리의 주식인 곡류 섭취와 심혈관계 질환, 고지혈증 등의 현대인의 질병과 Cd를 비롯한 중금속과의 관계에 대한 보다 많은 연구가 이루어져야 하겠고, 특히 β -glucan의 함량이 높은 보리를 섭취함으로써 얻을 수 있는 생리적 효과에 대하여 많은 임상 연구 및 동물 실험이 이루어져야 하겠다.

Literature cited

- 1) 권태완 · 강수기. 식품 공업의 발달과 우리의 식생활. 한국 식품화학회 추계학술대회, 1993
- 2) 대한통계협회. 사망원인통계연보, 1992
- 3) Burkitt DP, Walker ARP, Painter NS. Dietary fiber and tissue. *J Am Med Assoc* 229 : 1068-1074, 1974
- 4) Trowell H. Ischemic heart disease and dietary fiber. *Am J Clin Nutr* 25 : 926-932, 1972
- 5) Trowell H. Dietary fiber, ischemic heart disease and diabetes mellitus. *Proc Nutr Soc* 32 : 151-157, 1973
- 6) Nishimune T, Sumimoto T, Yakusiji T, Kunita N. Determination of total dietary fiber in Japanese foods. *J Assoc Off Anal Chem* 74(2) : 350-359, 1991

- 7) Torsdottir I, Alpmsten M, Holm G, Sandberg AS, Tolli J. A small dose of soluble alginate-fiber affects postprandial glycemia and gastric emptying in humans with diabetes. *J Nutr* 121(6) : 795-799, 1991
- 8) Granfeldt Y, Liljeberg H, Drews A, Newman R, Bjorck I. Glucose and insulin responses to barley products : influence of food structure and amylose-amylopectin ratio. *Am J Clin Nutr* 59 : 1075-1082, 1994
- 9) Nishina PM, Schneeman BO, Freedland RA. Effects of dietary fibers on nonfasting plasma lipoprotein and apolipoprotein levels in rats. *J Nutr* 121(4) : 431-437, 1991
- 10) Deshaies Y, Begin F, Savoie L, Vachon C. Attenuation of the meal-induced increase in plasma lipids and adipose tissue lipoprotein lipase by guar gum in rats. *J Nutr* 120(1) : 64-70, 1990
- 11) Newman RK, Newman CW, Graham H. The hypocholesterolemic function of barley β -glucans. *Cereal Foods World* 34 : 883-886, 1989
- 12) Schneeman BO. Soluble vs insoluble fiber-different physiological responses. *Food Technol* 41(2) : 81-82, 1987
- 13) Marlett JA. Dietary fiber content and effect of processing on two barley varieties. *Cereal Foods World* 36 : 576-578, 1991
- 14) Carr JM, Glatter S, Jeraci JL, Lewis BA. Enzymatic determination of β -glucan in cereal-based food products. *Cereal Chem* 67(3) : 226-229, 1990
- 15) Lia A, Hallmans G, Sandberg A, Sundberg B, Åman P, Anderson H. Oat β -glucan increase bile acid excretion and a fiber-rich barley fraction increases cholesterol excretion in ileostomy subjects. *Am J Clin Nutr* 62 : 1245-1251, 1995
- 16) Newman RK, Lewis SE, Newman CW, Boik RJ, Ramage RT. Hypocholesterolemic effect of barley foods on healthy men. *Nutr Rep Int* 39 : 749-760, 1989
- 17) Dubois C, Armand M, Senft M, Portugal H, Pauli A, Bernard P, Lafont H, Lairon D. Chronic oat bran intake alters postprandial lipemia and lipoproteins in healthy adults. *Am J Clin Nutr* 61 : 325-333, 1995
- 18) 이혜성 · 이연경 · 서영주. 한국인의 식이 섬유 섭취 상태의 연차적 추이(1969-1990). *한국영양학회지* 27(1) : 59-70, 1994
- 19) Plich SM(ed). In physiological effects & health consequences of dietary fiber(1987). Report for FDA, Dept of Health & Human Service USA Contact Number FDA 223-84-2059
- 20) Ryan JA, Pahren HR, Lucas JB. Controlling cadmium in the human food chain : A review and rationale based in health effects. *Environ Res* 28 : 251-302, 1982
- 21) Schroeder HA, Vinton WH. Hypertension induced in rats by small doses of cadmium. *Am J Physiol* 202 : 515-518, 1962
- 22) Faeder EJ, King LC, Hinners TA, Bruce R, Fower BA. Biochemical and ultrastructural changes in livers of cadmium treated rats. *Toxicol Appl Pharmacol* 39 : 473-487, 1977
- 23) Nordberg M. General aspects of cadmium : Transport, uptake, and metabolism by the kidney. *Environ Health Perspect* 54 : 13-20, 1984
- 24) Endo T, Shaikh ZA. Cadmium uptake by primary cultures of rat renal cortical epithelial cells : Influences of cell density and other metal ions. *Toxicol Appl Pharmacol* 121 : 203-209, 1993
- 25) 이서래. 식품의 안전성 연구, p.168, 이화여자대학교 출판부, 서울, 1993
- 26) Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additives. *WHO Tech Rep Ser* 505 : 20-24, 1972
- 27) Kojima S, Kiyozumi M, Mishima M, Honda T, Nakagawa M. Effects of three proteins on absorption of cadmium in rats. *Toxicology* 34 : 161-171, 1985
- 28) 이혜영 · 김미경. 식이내 Cadmium과 단백질 수준이 흰쥐의 체내 단백질 대사 및 Cd 중독에 미치는 영향. *한국영양학회지* 21(6) : 27-37, 1988
- 29) 권오란 · 김미경. 식이 단백질과 Ca 수준이 흰쥐의 Cd 중독 과정 중 Metallothionein과 조직의 형태 변화에 미치는 영향. *한국영양학회지* 25(5) : 360-378, 1992
- 30) 김미경 · 박주연. 식이 단백질과 Cysteine 수이 흰쥐의 Cadmium 중독에 미치는 영향. *한국영양학회지* 29(5) : 461-471, 1996
- 31) 김미경 · 서명숙. 식이내 단백질의 수준과 종류가 흰쥐의 Cadmium 중독에 미치는 영향. *한국영양학회지* 29(6) : 578-589, 1996
- 32) 배계현. 식이내 Calcium 수준이 흰쥐의 Cadmium 중독에 미치는 영향. 이화여대 석사학위 청구논문, 1989
- 33) 배서영. 식이내 Zinc가 흰쥐의 Cadmium 중독과 대사에 미치는 영향. 이화여대 석사학위 청구논문, 1990
- 34) 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
- 35) Rose HE, Quarterman J. Dietary fibers and heavy metal retention in the rat. *Environ Res* 42 : 166-175, 1989
- 36) Chen WL, Anderson JW. Effects of guar gum and wheat bran on lipid metabolism of rats. *J Nutr* 109 : 1028-1034, 1976
- 37) 서정숙 · 한인규. 식이중에 첨가된 섬유소의 종류와 수준이 흰쥐의 체내 지질 함량에 미치는 영향. *한국영양학회지* 21(3) : 164-172, 1988
- 38) 장유경 · 윤홍재. 지방의 섭취량과 첨가된 섬유소의 종류가 흰쥐의 체내 지질 수준에 미치는 영향. *한국영양학회지* 17(4) : 253-261, 1984
- 39) Kelsay JL, Jacob RA, Prather ES. Effect of fiber from

- fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects. *Am J Clin Nutr* 32 : 2307-2311, 1979
- 40) Stasse-Wolthuis M, Albers HFF, van Jeveren JGC, de Jong JW, Hautvast JGAJ, Hermus RJJ, Katan MB, Brydon WG, Eastwood MA. Influence of dietary fiber from vegetables and fruits bran or citrus pectin on serum lipids, fecal lipids, and colonic function. *Am J Clin Nutr* 33 : 1745-1756, 1980
 - 41) Bligh EG, Dyer WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol* 37 : 911-917, 1959
 - 42) Zinterhofer LJM, Jatlow PI, Fappiano A. Atomic absorption determination of lead in blood and urine in the presence of EDTA. *J Lab Clin Med* 78 : 664-674, 1971
 - 43) Yeager DW, Cholak J, Henderson EW. Determination of lead in biological and related material by atomic absorption spectrophotometry. *Environ Sci Technol* 5 : 1020-1022, 1971
 - 44) Onosaka S, Cherian MG. Comparison of metallothionein determination by polarographic and cadmium-saturation methods. *Toxicol Appl Pharmacol* 63 : 270-274, 1982
 - 45) 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
 - 46) Eaton DL, Cherian MG. Determination of metallothionein in tissue by cadmium-hemoglobin affinity assay. *Methods Enzymol* 205 : 83-88, 1991
 - 47) Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J Biol Chem* 193 : 265-275, 1951
 - 48) Lee SC, Prosky L, DeVries JW. Determination of total, soluble, and insoluble dietary fiber in foods-Enzymatic-gravimetric method, MES-TRIS buffer : Collaborative study. *J AOAC Int* 75 : 395-416, 1992
 - 49) Åman P, Graham H. Analysis of total and insoluble mixed-linked (1-3),(1-4)- β -D-glucans in barley and oats. *J Agric Food Chem* 35 : 704-709, 1987
 - 50) 오희정. 보리가루로부터 추출한 β -glucan의 생리적 기능성에 관한 연구. 이화여대 석사학위 청구논문, 1995
 - 51) 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
 - 52) Jenkins DJA, Leeds AR, Gassull MA, Wolever TMS, Goff DV, Albeit KGMM, Hockaday TDR. Unabsorbable carbohydrates and diabetes : Decreased post-prandial hyperglycemia. *Lancet* 2 : 172-174, 1976
 - 53) Jenkins DJA, Wolever TMA, Taylor RH, Barker H, Fielden H, Baldwin JM, Bowling AC, Newman HC, Jenkins AL, Goff D. Glycemic index of foods : A physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr* 34 : 362-366, 1981
 - 54) Adiotomre J, Eastwood MA, Edwards CA, Brydon WG. Dietary fiber : In vitro methods that anticipate nutrition and metabolic activity in humans. *Am J Clin Nutr* 52 : 128-134, 1990
 - 55) 이경숙 · 이서래. In Vitro법에 의한 식이 섬유인 포도당 및 담즙산 흡수 지연 효과. *한국영양학회지* 29(7) : 738-746, 1996
 - 56) McIntosh GH, Whyte J, McArthur R, Nestel PJ. Barley and wheat foods : Influence on plasma cholesterol concentrations in hypercholesterolemic men. *Am J Clin Nutr* 53 : 1205-1209, 1991
 - 57) Hunninhake D, Miller VT, LaRosa JC, Kinosian B, Brown V, Howard WJ, DiSero FJ, O'Connor R. Hypocholesterolemic effects of a dietary fiber supplement. *Am J Clin Nutr* 59 : 1050-1054, 1994
 - 58) Anderson JW, Deakins DA, Floore TL, Smith BM, Whitis SE. Dietary fiber and coronary heart disease. *Crit Rev Food Sci Nutr* 29 : 95, 1990
 - 59) Vahouny GV, Tombes R, Cassidy MM, Kritchevsky D, Gallo LL. Dietary fibers : V. Binding of bile salts, phospholipids and cholesterol from mixed micelle by bile acid sequestrants and dietary fibers. *Lipids* 15(12) : 1012-1018, 1980
 - 60) Chen WJ, 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(2) : 215-218, 1984
 - 61) 정경아 · 장유경. 곡류 급원에 따른 흰쥐의 간과 혈중 지질 농도에 관한 연구. *한국영양학회지* 28(1) : 5-14, 1995
 - 62) Cherian MG, Nordberg M. Cellular adaption in metal toxicology and metallothionein. *Toxicology* 28 : 1-15, 1983
 - 63) Nordberg M. Studies on metallothionein and cadmium. *Environ Res* 15(3) : 381-404, 1978
 - 64) Suzuki Y. Cadmium, copper and zinc distribution in blood of rats after long-term cadmium administration. *J Toxicol Environ Health* 7(2) : 251-280, 1981
 - 65) Elinder CG, Lundgren G, Nordberg M, Palm B, Piscator M. Metallothionein in rabbit kidneys preserved for transplantation. *Environ Health Perspect* 54 : 275-280, 1984
 - 66) Roels HA, Lauwerys RR, Bucher JP. In vivo measurements of liver and kidney cadmium in workers exposed to this metal : Its significance with respect to cadmium in blood and urine. *Environ Res* 26(1) : 217-240, 1981