

영양과 Cadmium제독

이화여대 식품영양학과 김미경

I. Cadmium 섭취 현황

Cadmium(Cd)은 1817년에 발견된 원소(element)로서 부식하지 않는 특성 때문에 전기도금(electroplating) 또는 합금(galvanizing)에 주로 이용이 되고 또한 paints와 plastics에 염료(color pigment) 또는 안정제로, nickel-cadmium battery에 cathode material로 이용이 되기도 한다.

Cadmium의 세계 총생산량은 일년에 10,000~20,000 metric tons 이다. 자연계에는 대개 아연, 납, 구리를 함유한 광석에 공존하기 때문에 zinc와 lead(납)의 채광과 제련 과정의 부산물로 환경이나 식량자원의 오염을 야기시키고 있다.

Cadmium은 물, 식품, 호흡을 통하여 인체로 들어 갈 수 있으며 Cd의 주요 위험요소는 Cd 농도가 높은 먼지 또는 증기에의 노출, 또는 Cd-plated 조리기구를 이용한 식품의 섭취이다. 체내에서 Cd는 대부분 간과 신장에 축적되는데 일단 체내에 들어온 Cd는 쉽게 배설되지 않으며, 반감기도 약 16년으로 대단히 길므로 나이가 들수록 Cd의 축적은 증가하게 된다. 따라서 체내로의 Cd 흡수를 예방하거나 non-toxic form으로의 전환이 중요하다. Cadmium은 실험실에서 covalent organic complexes를 형성할 수 있으나, biomethylation 이나 activating processes가 보고된바 없기 때문에 Cd의 독성은 +2가의 divalent Cd ion의 생화학적 작용에 기인하는 것으로 보인다.

Cadmium은 오염의 수준이나 범위가 작기 때문에 납과 수은보다는 환경 문제가 덜 심각하나 환경오염을 일으키는 가장 유독한 미량원소로 인식되어 왔다. Friberg가 1950년에 Cd의 만성중독을 직업병으로 보고하였으며 특히 일본의 도야마현 진즈강 유역에서 이따이 이따이병이 발생하여 세계적인 관심을 끌게 되었는데, 진즈강 상류에 있던 아연 광산 및 제련소로부터 배출된 Cd가 함유된 폐수를 농업용수로 이용하여 생산된 쌀이 <Table 1>과 같이 Cd로 오염되었다고 발표되었다.

<Table 1> 일본 진즈강 유역의 쌀중 Cd 함량

(단위: ppm)

지 역	햐 쌀	찰 쌀
고도오염지역	0.53	1.06
중간오염지역	0.38	0.58
비오염지역 (본류)	0.32	0.32
비오염지역 (지류)	0.16	0.26

이때 쌀중의 Cd 농도는 0.35~3.35ppm 이었으며 1인당 1일 쌀 소비량을 300g으로 간주할 때 Cd 섭취량은 최고 1000 μ g이 되며 실제로 오염지역에서는 매일 600 μ g의 Cd를 섭취한 주민이 있었다고 한다. 이러한 결과로 일본에서는 1937~1968년에 걸쳐 258명의 환자와 128명의 사망자를 발생시켰다.

한편 비오염 지역에서의 Cd의 평균 섭취량은 세계 전체적으로 보아 1인당 1일 50~60 μ g 또는 50~150 μ g으로 추정하고 있다.

한국인에 의한 Cd의 식이섭취량을 평가하고자 시도한 조사보고를 정리해 보면 <Table 2>과 같다. 진정한 의미의 시장바구니 조사가 이루어진 예는 없고 조사방법에 따라 많은 차이가 있다. 편의상 5가지 보고를 산술평균한 값과 FAO/WHO 기준인 ADI 값을 비교한 결과는 <Table 3>와 같이 한국인의 1일 섭취량은 ADI와 비슷하거나 다소 웃돌고 있다.

<Table 2> 한국인의 Cd 식이섭취량 평가 연구 (1980년대)

연구기관	조사대상/방법	1인당 1일 섭취량(μ g)
고대의대	상용식품/계산	71
이화여대	대중식사 105점/실측	84
기전여전	상용식품/계산	77
서울보건연	대중식사 66점/실측	55
환경청	상용식품/계산(제련소 주변)	70
산 술 평 균 치		71

<Table 3> Cd의 위해성 평가

ADI ($\mu\text{g}/\text{person}, 60\text{kg}$)	한국인 섭취량 ($\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$)	섭취량 (%)
57~71*	71	100

* FAO/WHO의 인체허용 1주간 섭취 잠정기준에 근거하여
1일 섭취기준 ADI를 계산

한국인이 섭취하는 Cd가 어떤 식품군에서 유래되는지를 1980~1986년 사이에 발표된 문헌에 근거하여 살펴본 바에 의하면 <Table 4>와 같으며 곡물과 어패류가 Cd 오염이 우려되는 식품군이다.

<Table 4> 한국인에 의한 중금속의 식품군별 섭취량 분포
(1980~1986년)

식품군	백분율 (%)
곡물	60.0
과일, 채소	16.5
어패류	19.4
축산물	0.8
기타	3.3
계	100 (총섭취량 $77.1\mu\text{g}$)

II. Cadmium toxicity

1. Acute toxicity

Consumption of drinks (16 mg Cd/ℓ): nausea, vomiting,
abdominal pain

Inhalation of Cd fumes: pneumonitis, pulmonary edema

2. Chronic toxicity

1) Pulmonary disease:

- Obstructive lung disease
- Emphysema (폐기종)

2) Nephrototoxicity:

- 주로 renal tubular dysfunction으로 인한 proteinuria, aminoaciduria, glucosuria, phosphate reabsorption 저하
- 회복 안됨

※ Proteinuria:

- Tubular dysfunction으로 인한 저분자 단백뇨가 주로 나타남
- Glomerular dysfunction으로 인한 고분자 단백뇨도 발견됨

3) Skeletal syndrome

- Bone pain
- Osteomalacia and/or osteoporosis
- Itai-Itai disease - severe bone deformities와 chronic renal disease를 수반

∴ Proximal renal tubular cell내 Cd는 25(OH)vitaminD의 1,25(OH)₂vitaminD로의 전환을 억제하여 vitamin D와 parathyroid hormone 대사에 장애를 일으키고, 소변으로 많은 양의 Ca이 유실됨

4) Hypertension and Cardiovascular Effects

- Essential hypertension
- Biochemical changes in myocardium
- Impairment of myocardial function
- ∴ Heart mitochondria 손상으로 인하여 ATP 수준이 저하되고 myocardial contractility와 cardiac conduction system의 excitability가 저하됨

5) Carcinogenicity

- Lung cancer
- Prostate cancer
- 1994년 International Agency for Research on Cancer에서는 Cd를 Category 1 (human) carcinogen으로 인정

III. Metallothionein

중금속의 생리적 해독 작용을 담당한다고 알려진 metallothionein (MT)은 분자량이 ~6500 정도인 저분자 단백질로 61개의 아미노산으로 구성되어 있으며 이중 30%인 20개가 cysteine이며 aromatic amino acid는 존재하지 않는다. 분자내에는 7~12개의 금속 결합 부위를 가져서 여러 금속 이온의 대사를 조절하고 Cd, Pb 등 유독성 중금속에 의해 세포내에서 유도 합성되어 중금속과 결합함으로써 중금속을 격리시켜 독성을 완화시키는 것으로 알려져 있다.

체내에서 Cd는 2가지 형태로 존재하는데 하나는 MT와 결합되어 있는 (Cd-MT) 형태이고 다른 하나는 free Cd ion 형태이다. MT는 정상조건에서는 농도가 매우 낮으나 Cd 등에 의해 합성이 촉진되어 여러 장기에서의 함량이 높아지며 그 중 간과 신장에 특히 그 농도가 높다. 이때 Cd-MT는 분해되지 않는 한 독성이 없으나 non-MT-bound 형태는 독성이 있다고 밝혀져 있다. 그러므로 조직내 Cd 농도가 Cd의 독성을 그대로 반영하는 것은 아니며 MT 합성량이 많은 조직에서의 Cd 농도는 MT 농도와 함께 이해되

어져야 한다.

Cadmium은 소장에서 수동적으로 흡수되어 Cd-albumin 형태로 혈액으로 방출되거나 Cd에 의하여 유도 합성된 MT와 결합하여 Cd-MT 형태로 장세포내에 존재하다가 세포 교체시 intestinal lumen으로 배설된다. Cd-albumin은 일차적으로 간으로 이행된 후 간세포에서 MT의 합성을 유도하여 Cd-MT의 형태로 non-toxic하게 격리된다. 그러나 간의 Cd-MT는 그대로 머물러 있지 않고 혈액으로 방출되어 나오며 혈액의 Cd-MT는 신장의 사구체막을 선택적으로 투과하여 신장의 근위세뇨관 세포내로 pinocytosis에 의해 들어가서 lysosome에 의하여 분해되어 free ion 상태의 Cd이 생기게 된다. 이 Cd ion은 신장에서 새로운 MT 합성을 유도하여 Cd-MT로 존재하게 된다. 그러나 MT의 합성속도가 분해속도보다 늦기 때문에 Cd 농도가 높을 경우 신장 조직이 손상 받게 된다. Cadmium 공급으로 인한 신장의 손상은 주로 근위세뇨관이고 세뇨관이 손상되고 주변의 조직피사가 일어나면서 수반되는 2차적인 증세로서 사구체의 손상이 나타나는 것으로 알려져 있다.

따라서 MT는 세포에서 Cd를 non-toxic한 형태로 격리시키거나 순환계에서 Cd를 빠르게 제거하여 중앙신경계나 기타 vital organ에서 Cd ion이 작용하는 것을 방지함으로써 Cd의 독성을 완화시키는 것으로 알려져 있다.

IV. Cadmium 제독에 영향을 주는 식이인자

Cd 제독 효과는 3가지 측면에서 생각할 수 있다.

- Cd의 체내 흡수억제
- 흡수된 Cd의 배설 증진
- Non-toxic form으로의 전환

1. 식이 단백질 및 관련 인자

체중이 113g인 Sprague-Dawley종 수컷 흰쥐를 식이 내 casein 수준을 7, 15, 40%로 달리한 식이로 30일간 사육하였다. Cadmium은 식이에 CdCl₂를 200ppm 수준으로 혼합하여 공급하였다.

그 결과는 <Table 5>과 같이 식이 단백질 수준이 40%인 군에서 뇨와

변으로의 Cd 배설이 증가하여 Cd 보유율이 가장 낮았다. 즉, 고단백 식이 섭취 시 Cd의 체내 흡수 억제 및 흡수된 Cd의 배설효과가 있었다. 그밖에 Cd 공급시의 식이섭취량 감소 등으로 인한 성장부진, 단백질효율저하, 조직 내 단백질함량 감소등의 Cd 중독 영향이 식이 단백질 수준이 높을수록 완화되었다.

<Table 5> Urinary and fecal Cd excretions and Cd retention ratio

Groups	Urinary Cd ($\mu\text{g}/\text{day}$)	Fecal Cd ($\mu\text{g}/\text{day}$)	Retention ratio (%)
7% Casein	8.75 \pm 2.39	262.50 \pm 15.47	72.9 \pm 15.7
15% Casein	7.50 \pm 1.44	715.00 \pm 25.50	41.8 \pm 17.9
40% Casein	15.00 \pm 7.26	1000.00 \pm 127.21	17.5 \pm 5.8

1) Mean \pm S.E.

이러한 고단백식의 효과가 단백질 자체의 효과인지 또는 casein에 함유되어 있는 calcium도 영향을 주었는지를 알아보고 또한 Cd 대사와 MT 대사와의 관계를 살펴보기 위하여 다음의 실험을 행하였다.

체중이 245g인 흰쥐를 식이 내 casein 수준은 7, 15, 또는 40%, calcium 수준은 0.1, 0.6, 또는 1.3%로 달리한 식이로 30일간 사육하였다. Cadmium은 음료수에 CdCl₂를 50ppm 수준으로 혼합하여 공급하였다.

그 결과는 <Table 6>과 같았다.

<Table 6> Cadmium excretions, cadmium retention ratio, and metallothionein concentrations

Groups	Cd excretions		Cadmium retention ratio (%)	MT conc.		
	Urine ($\mu\text{g}/\text{day}$)	Feces ($\mu\text{g}/\text{day}$)		Liver ($\mu\text{g}/\text{g}$)	Kidney ($\mu\text{g}/\text{g}$)	Intestine ($\mu\text{g}/\text{g}$)
40Pro 1.3Ca	69.58 \pm 25.14	490.76 \pm 68.80	29.95	213.37 \pm 10.31	217.30 \pm 10.68	267.91 \pm 28.79
40Pro 0.6Ca	59.58 \pm 20.62	399.70 \pm 52.50	42.59	199.10 \pm 13.80	221.32 \pm 15.85	212.62 \pm 47.80
40Pro 0.1Ca	25.70 \pm 2.03	473.90 \pm 82.20	37.55	238.93 \pm 23.20	279.34 \pm 26.97	268.33 \pm 24.48
15Pro 1.3Ca	65.38 \pm 23.50	485.24 \pm 71.38	31.17	169.80 \pm 34.78	198.85 \pm 32.19	196.64 \pm 24.34
15Pro 0.6Ca	61.27 \pm 17.86	250.23 \pm 61.72	61.06	178.55 \pm 12.43	208.27 \pm 12.89	155.83 \pm 15.09
15Pro 0.1Ca	36.44 \pm 9.73	181.60 \pm 67.13	72.74	124.88 \pm 10.22	208.15 \pm 37.98	134.95 \pm 9.25
7Pro 1.3Ca	47.90 \pm 17.06	262.07 \pm 16.36	61.25	82.51 \pm 10.10	145.88 \pm 9.01	132.26 \pm 20.72
7Pro 0.6Ca	60.75 \pm 20.33	167.34 \pm 38.96	71.48	112.13 \pm 14.64	192.93 \pm 31.50	114.80 \pm 14.58
7Pro 0.1Ca	67.55 \pm 27.14	103.01 \pm 34.01	78.68	167.04 \pm 5.97	233.88 \pm 35.61	161.75 \pm 7.08

1) Mean \pm S.E.

단백질은 주로 조직내 MT의 합성 및 변으로의 Cd 배설을 증가시키는 동시에 체중, organ weight 등 일반적인 상태 유지에 효과가 있었고 calcium은 특히 변으로 Cd를 배설시킴으로써 Cd의 흡수 저하 효과가 컸다. 아울러 이 두 식이 인자간의 상승효과를 볼 수 있어 고단백-고Ca 식이는 변으로의 Cd 배설량이 가장 커서 Cd 흡수를 저하시켰고 조직에 축적된 Cd와 MT의 결합율을 증가시켰으며 전자현미경으로 관찰 시 Cd 공급으로 인한 간, 신장, 소장 조직의 손상을 최소화하였다.

또한 고단백 식이의 Cd 중독 완화 효과가 단백질 자체의 효과인지 또는 MT의 구성 아미노산인 cysteine의 다량 섭취로 인한 효과인지 알아보려고 다음의 실험을 행하였다.

체중이 171g인 흰쥐를 식이 내 casein 수준을 7, 15, 40%으로 달리하고, cysteine을 첨가하지 않거나(0.03%), 첨가한(0.45%) 식이로 30일간 사육하였다. 그 결과 <Table 7>과 같이 고단백 섭취와 cysteine 보충시 Cd 중독 완화에 효과적이었고 두 식이 인자 간에는 상승효과가 있어 cysteine을 보충한 15%의 단백질군에서 간과 신장의 MT함량이 40% 단백질군 수준으로 증가 되었다. 고단백 섭취는 변으로 Cd 배설을 크게 증가시켰으며 Cys 보충은 간과 신장에서 MT 합성을 현저하게 증가시키는 동시에 뇨와 변으로의 Cd 배설도 다소 증가시켰다.

<Table 7> Cadmium excretions, cadmium retention ratio, and metallothionein concentrations

Groups	Cd excretions		Cadmium retention ratio (%)	MT conc.	
	Urine ($\mu\text{g}/\text{day}$)	Feces ($\mu\text{g}/\text{day}$)		Liver ($\mu\text{g}/\text{g wet wt.}$)	Kidney ($\mu\text{g}/\text{g wet wt.}$)
7%Pro 0.03%Cys	6.90 \pm 1.83	391.02 \pm 119.76	80.10 \pm 5.98	79.99 \pm 8.48	93.44 \pm 5.15
7%Pro 4.5%Cys	12.80 \pm 3.46	472.44 \pm 160.80	75.74 \pm 8.03	183.19 \pm 22.99	143.38 \pm 10.76
15%Pro 0.06%Cys	6.62 \pm 1.43	283.44 \pm 64.75	85.50 \pm 3.26	122.23 \pm 17.20	67.27 \pm 6.07
15%Pro 4.5%Cys	17.34 \pm 4.43	927.26 \pm 253.00	57.77 \pm 12.69	342.63 \pm 21.89	117.64 \pm 7.65
40%Pro 1.6%Cys	11.96 \pm 1.98	1229.17 \pm 273.09	37.94 \pm 13.69	119.59 \pm 10.94	74.92 \pm 5.52
40%Pro 4.5%Cys	16.54 \pm 1.61	847.64 \pm 217.50	56.79 \pm 10.91	334.44 \pm 12.27	102.39 \pm 6.13

1) Mean \pm S.E.

이러한 고단백 식이의 효과가 식이 단백질의 종류에 따라 차이가 있는지 알아보기 위하여 체중이 171g인 흰쥐를 15%와 40% casein 또는 isolated soy protein 식이로 30일간 사육하였다. 그 결과는 <Table 8>와 같이 15% 단백질 식이 중에는 ISP가 casein에 비하여 현저하게 변으로의 Cd 배설을 증가시켰으나 40% 단백질 수준에서는 식이 protein 종류에 따른 큰 차이가 없었다.

<Table 8> Cadmium excretions, cadmium retention ratio, and metallothionein concentrations

Groups	Cd excretions		Cadmium retention ratio (%)	MT conc.	
	Urine ($\mu\text{g}/\text{day}$)	Feces ($\mu\text{g}/\text{day}$)		Liver ($\mu\text{g}/\text{g wet wt.}$)	Kidney ($\mu\text{g}/\text{g wet wt.}$)
15% Casein	6.62 \pm 1.43	283.44 \pm 64.75	85.50 \pm 3.26	122.23 \pm 17.20	67.27 \pm 6.07
15% ISP	9.92 \pm 2.86	1020.83 \pm 252.45	57.77 \pm 12.69	106.91 \pm 8.03	65.68 \pm 4.01
40% Casein	11.96 \pm 1.98	1229.17 \pm 273.09	37.94 \pm 13.69	119.59 \pm 10.94	74.93 \pm 5.51
40% ISP	9.82 \pm 2.67	879.61 \pm 231.47	56.79 \pm 10.91	103.21 \pm 10.71	72.55 \pm 7.07

1) Mean \pm S.E.

고단백식이 체내에 축적되어있는 Cd의 해독에도 효과가 있었다<Table 9>. 즉, Cd를 15일간 투여(100ppm CdCl₂ 음료수)한 후 잇따른 15일간의 해독기간중 식이 casein 수준을 15% 또는 40%으로 달리하였을 때 40% casein 식이군의 뇨를 통한 Cd 배설량이 증가되는 경향을 보였다.

<Table 9> Urinary and fecal excretion of cadmium

Groups	Urinary Cd ($\mu\text{g/day}$)	Fecal Cd ($\mu\text{g/day}$)
40%Pro 1.3%Ca	1.32 \pm 0.14	4.54 \pm 0.98
40%Pro 0.6%Ca	1.76 \pm 0.46	7.30 \pm 2.61
15%Pro 1.3%Ca	1.23 \pm 0.34	4.24 \pm 2.54
15%Pro 0.6%Ca	1.30 \pm 0.14	4.39 \pm 0.71

1) Mean \pm S.E.

이상과 같이 고단백 섭취시 GI tract내 생성된 oligopeptide가 Cd를 흡착 배설을 시키거나, MT 합성 증진으로 Cd가 MT와 결합한 non-toxic form으로 전환되어 있거나 kidney로 이동하여 배설됨으로써 Cd 독성을 완화시킬 수 있음을 알 수 있다. 이때 Ca과 Cys을 보충시 단백질과의 상승효과를 볼 수 있었다.

2. 식이섬유 및 관련인자

식이섬유가 Cd의 체내 흡수 억제에 미치는 영향을 수용성, 불용성 식이섬유 별로 비교하여 보았다.

체중이 187g인 흰쥐에게 식이섬유(감귤과피로부터 추출한 TDF와 IDF, SDF 그리고 시판용 α -cellulose와 pectin)를 식이의 4% 수준으로 공급하였고 동시에 CdCl₂를 400ppm 수준으로 식이에 섞어 공급하였다. 그 결과는 <Table 10>과 같았다. 식이섬유를 첨가한 식이군들이 비첨가군보다 변의 Cd 배설량이 높았다. 그 중 pectin을 첨가한 군의 Cd 배설량이 제일 높았고 그 다음으로 감귤과피로부터 추출한 SDF, α -cellulose 순 이었다. 즉, 불용성보다는 수용성 식이섬유가 Cd 흡수를 감소시켜서 Cd 보유율을 낮추었다. 수용성 식이섬유는 소화기관에서 점액성 gel을 형성하여 Cd의 확산을 억제하고 Cd를 흡착(trapping)하여 배설시키는 것으로 보인다.

<Table 10> Fecal Cd excretion and Cd retention ratio

Groups	Fecal Cd ($\mu\text{g}/\text{day}$)	Cd retention ratio (%)
No fiber	361.57 ± 20.82	81.33 ± 1.07
TDF	400.15 ± 26.41	78.53 ± 1.28
IDF	520.37 ± 56.70	72.73 ± 2.90
SDF	628.22 ± 15.35	67.35 ± 0.77
Cellulose	589.77 ± 28.67	68.02 ± 1.43
Pectin	901.96 ± 18.50	52.98 ± 0.89

1) Mean \pm S.E.

이러한 식이섬유의 효과는 주로 정제된 식이섬유를 사용한 경우가 많기 때문에 우리의 식생활에서 섭취량이 가장 많은 곡류 자체를 식이섬유의 급원으로 하였다. 곡류중에서도 섭취량이 가장 많은 백미와 식이섬유 특히 β -glucan의 함량이 많은 보리를 실험재료로 하여 쌀가루, 보리가루 그리고 쌀가루와 보리가루의 7:3 혼합물을 준비하였고 control로 옥수수전분을 이용하였다. 본 실험에서 사용한 시료의 식이섬유 함량은 <Table 11>와 같았다.

<Table 11> Contents of moisture, dietary fibers and β -glucan

	Rice	Barley
Moisture	9.84	10.11
Total dietary fibers	3.94	10.75
Insoluble dietary fibers	2.43	6.19
Soluble dietary fibers	1.51	4.56
β -glucan	1.06	3.11

보리가루 총식이섬유는 쌀가루의 약 2.7배이었고 보리가루의 β -glucan은 쌀가루의 약 3배이었다. 이들 곡류 분말을 식이의 70% 수준으로 혼합하

고, CdCl₂를 400ppm 수준으로 식이에 혼합하여 공급하면서 체중이 245g인 흰쥐를 4주간 사육하였다.

그 결과는 <Table 12>과 같이 총 식이섬유 및 특히 수용성 식이섬유인 β -glucan의 함량이 높은 보리를 섭취하였을 때 변을 통한 Cd의 배설량을 현저히 증가시켜 Cd 보유율이 가장 낮았다.

<Table 12> Fecal Cd excretion and Cd retention ratio

Groups	Fecal Cd ($\mu\text{g}/\text{day}$)	Cd retention ratio (%)
Starch	350.61 \pm 5.72	81.91 \pm 0.29
Rice	523.49 \pm 16.69	73.40 \pm 0.86
Barley	837.88 \pm 16.44	57.52 \pm 0.82
Rice-Barley	469.25 \pm 4.66	76.13 \pm 0.25

1) Mean \pm S.E.

최근 동물성 식이섬유로 일컬어지고 있고 고분자의 aminopolysaccharide 물질인 chitin과 chitosan의 혈중 콜레스테롤 저하 효과, 면역능 증진, 항암 효과 등의 다양한 생리활성이 보고되고 있다.

체중이 155g인 흰쥐에게 5주간 식이섬유 급원으로 α -cellulose와 chitin, chitosan, NOCC를 식이무게의 4% 수준으로 식이에 혼합하여 공급하였고 cadmium은 CdCl₂를 400ppm 수준으로 식이에 섞어 공급하였다. 그 결과 뇨와 변을 통한 Cd 배설량은 <Table 13>와 같았다.

<Table 13> Urinary and fecal Cd excretions

Groups	Urinary Cd ($\mu\text{g}/\text{day}$)	Fecal Cd ($\mu\text{g}/\text{day}$)
No fiber	112.2 \pm 12.9	119.0 \pm 12.8
Cellulose	140.6 \pm 35.3	197.9 \pm 19.2
Chitin	129.9 \pm 46.8	124.8 \pm 21.2
Chitosan	111.9 \pm 19.5	168.7 \pm 56.0
NOCC	99.5 \pm 13.4	163.4 \pm 14.5

1) Mean \pm S.E.

변을 통한 Cd 배설량은 cellulose 군이 다른 군에 비하여 가장 높았고 chitosan과 NOCC도 식이섬유 무첨가군에 비하여 현저하게 높았으나 chitin 군에서는 별 효과가 없었다. Chitin은 물이나 일반적인 유기용매에는 녹지 않고 특수한 용매에만 용해되기 때문에 직접 식품첨가제로 이용하기에는 제한점이 있다. Chitosan은 물에서는 녹지 않지만 pH 6.5 이하에서 용해되어 점액성 용액으로 변하며 chitosan의 $-NH_2$ 는 Cd와 배위결합이 가능하기 때문에 변으로의 Cd 배설에 효과가 있는 것으로 보인다. N,O-Carboxymethylchitosan(NOCC)은 chitosan의 $-OH(C_6)$ 기와 $-NH_2(C_2)$ 기의 H가 carboxymethyl기로 각각 치환된 것으로 물에 용해되기 때문에 chitosan 보다는 활용범위가 확대될 수 있으나 식품첨가물로의 사용이 허가되지 않고 있다.

이상에서 보는 바와 같이 식이섬유는 소화기관에서 Cd의 흡수억제에 효과가 있으며 특히 수용성 식이섬유의 효과가 더 컸다. 그러나 물에는 녹지 않으나 산에서 용해되어 점액성 용액으로 변하는 chitosan과 그 유도체인 NOCC도 효과가 있었다.