



돼지고기 급여가 흰쥐의 체내에 중독된 카드뮴의 해독과정에 미치는 영향

노정해* · 한찬규 · 성기승 · 이남형¹

한국식품연구원 · ¹에그바이오택

Effects of Pork on Cadmium Detoxification in Rats

Jeong-Hae Rho*, Chan-Kyu Han, Ki-Seung Seong, and Nam-Hyung Lee¹

Korea Food Research Institute, ¹Egg Biotech Corporation

Abstract

This study was performed to investigate the effect of pork on the cadmium detoxification in rats. Ninety male Sprague-Dawley strains were divided into five groups based on cadmium treatment(0, 25, 50, 100, 250 ppm) and cadmium intoxication was observed for 8 weeks. During following 8 weeks, casein was replaced by pork and the effect of pork was compared with casein. During intoxicating, the growth rate was lessened. Feed efficiency ratio was significantly low, as cadmium intake was high. Discontinuing cadmium feeding, the body weights were relieved. Pork-fed groups seemed to have higher body weight than casein-fed groups. During intoxication, hemoglobin and hematocrit were dependent upon cadmium intake. However, they became normal at detoxification stage. Cadmium accumulation of the pork-fed group was lower than that of casein. Especially, the factors which affected the cadmium contents in kidney were Cd($p<0.001$) and Cd*pork($p<0.001$). Metallothionein(MT) was increased with cadmium, and MT was not likely to be affected by pork. This study may provide scientific background of pork for detoxification from heavy metals such as cadmium.

Key words : cadmium, pork, rats, cadmium detoxification

서론

카드뮴은 오염된 환경으로 인해 식품, 식수, 공기, 흡연 등을 통하여 인체로 들어올 수 있으며, 장기간 노출 시 체내에 축적되어 장애를 유발시킨다(Page and Chang, 1986). 우리나라에서 전국적인 카드뮴 식이 섭취량에 대한 정확한 보고가 없으나 음식을 통한 카드뮴 섭취는 1인당 평균 55~84 µg/day로 추정되어(Kim and Chough, 1986 ; Song and Lee, 1986) 카드뮴에 의한 영향을 무시할 수 없는 것으로 보여진다.

카드뮴과 다른 식이 인자들과의 관계는 주로 무기질과의 상관(Rhee and Jun, 1993 ; Cho Fox *et al.*, 1994 ; Choi *et al.*, 1994)으로 많이 연구되었으며 일부는 섬유질(Kim and Paek, 1997 ; Kim and Chung, 1997), 비타민(Fox *et al.*, 1980) 혹은

마늘(Lee and Cha, 1986), 차(茶)(Yoon and Rhee, 1994), 알로에(Kim *et al.*, 1995), 키토산(Kim and Seol, 1994 ; Bae and Kim, 1997 ; Bae and Kim, 1997) 등의 특정 식품과의 관계를 다루었다. 섬유질의 경우 흡수단계에 작용을 하여 카드뮴 중독을 완화시키는 것으로 일반적으로 여겨졌고, 무기질의 경우 무기질 상호간의 경쟁적인 결합으로 영향을 미치는 것으로 여겨졌다. 일부에서 카드뮴과 단백질과의 상관관계(Kim and Soe, 1996 ; Kwan and Kim, 1992 ; Lee and Kim, 1988)를 연구하였으나 아직은 미흡한 실정으로 그 기작 등을 황함유 아미노산 등과의 연관성(Kim and Park, 1996)으로써 설명하고자 하였다.

예로부터 돼지고기는 여러 가지 질병 치료를 위한 민간요법으로 다양하게 활용되어 왔다. 특히 폐병이나 기관지 계통의 병 치료를 위해, 수은이나 유황 등에 중독되었을 때, 공해에 의해 기관지 질환을 얻을 수 있는 운전기사나 교통경찰관, 탄광촌의 진폐증 예방에도 돼지고기가 효과가 있다고 알려져 있다. 이렇듯 돼지고기가 민간요법으로는 중금속과 관련

* Corresponding author : J. H. Rho, Korea Food Research Institute, BaekHyun-Dong 46-1, Bundang-Gu, SungNam, Korea. Tel: +82-31-780-9060, Fax: +82-31-709-9876, E-mail: dmo@kfri.re.kr

되어 널리 쓰여지고 있으나 이에 대한 과학적인 조사 연구가 거의 이루어지지 않았다. 그리하여 돼지고기 섭취가 과연 중금속에 의한 중독을 완화시킬 수 있는가 그리고 그 기작은 어떠한가를 규명하고자 이 연구를 실시하였다.

일반적으로 무기질과 섬유질 등은 카드뮴의 흡수를 억제한다고 여겨지고 있으나, 돼지고기 등의 단백질과 카드뮴과의 관계에서는 카드뮴 대사에 어떻게 영향을 미치는가에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 카드뮴을 음용수의 형태로 섭취 시킴과 동시에 돼지고기를 먹이는 경우 돼지고기는 카제인에 비해 성장율이 높고, 조직 중에서의 카드뮴에 의한 중독이 완화되는 것으로 나타났으며 이는 특히 돼지고기 섭취의 경우 분으로의 배설이 높음에 의한 것임을 볼 수 있었다(Rho *et al.*, 1997). 본 실험에서는 흰쥐에게 카드뮴을 사료와 함께 배합 급여하여 일단 중독을 유발시킨 후 돼지고기 급여에 의한 해독 효과를 일반 사료와 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

실험동물 및 사양관리

본 실험은 카드뮴에 중독된 쥐에게 돼지고기를 급여하여 체내 카드뮴 해독에 어떤 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 행해졌다. 처음은 8주 동안은 일반 식이에 카드뮴을 첨가하여 중독을 유발시키고, 이중 일부 쥐를 희생 중독을 확인하였고, 이후 7주 동안은 카드뮴 섭취를 중단시켜, 해독이 저절로 이루어지도록 하였다. 이 해독과정 동안 식이의 단백질 급원을 카제인과 돼지고기 급여구로 나누어 돼지고기 급여

가 해독에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 실험 배치는 Table 1과 같다.

평균 체중이 125.7±1.6 g 내외인 male Sprague-Dawley rats 를 90수 공시하였다. 실험 동물은 완전임의 배치법에 의해 처리구 별로 체중이 균일하게 처리구 당 18수씩 배치하여 2수씩 stainless steel 사육 cage에 넣고 1주간 주위 환경에 적응시킨 후 본 실험을 실시하였다. 처음 8주간은 카드뮴에 의한 중독을 유발시키고자 하여 CdCl₂를 카드뮴 기준으로 0, 25, 50, 100, 250 ppm을 각각 첨가하여 사료를 제조하였다. 실험 식이는 A1 N-76 purified diet 배합표를 기준으로 하되 흰쥐 식이 중의 설탕량을 10%로 줄이고, 옥수수 전분으로 대체하였다(Table 1). 식이와 증류수는 제한 없이 먹게 하였다.

8주 후 카드뮴 중독 효과를 확인하기 위하여 각 처리구에서 임의로 6수씩을 희생시킨 후, 생화학적 측정을 실시하였다. 나머지 12수를 임의로 두 처리구씩으로 나누어 모두 10 처리구로서 해독 시험을 7주간 행하였다. 해독 시험 동안에는 카드뮴은 더 이상 첨가하지 않았으며 실험식이의 단백질 급원을 카제인 급여구(AC, BC, CC, DC, EC), 돼지고기 급여구(AP, BP, CP, DP, EP)로 구분하였다. 돼지고기는 카제인을 대체하기 위해 삶은 뒷다리 부위를 하루 저녁 실온에서 방치한 후 이용하였는데, 그 첨가량은 카제인을 사용하였을 때와 동일한 단백질 함량이 나오도록 고려하여 삶은 돼지고기의 수분(55.9%) 및 단백질 함량(35.9%)을 고려하여 단백질 급원으로서의 카제인 20%를 모두 돼지고기로 대체한 사료에서 삶은 돼지고기 55.7 g을 첨가하였다.

Table 1. Experimental design

Treatments	Intoxication (8 weeks)				Detoxification (7 weeks)	
	Cadmium	No. of rats		Treatments	Protein source	
A	0 ppm	18	6	sacrificed	AC	casein diet
			6		AP	pork diet
			6			
B	25 ppm	18	6	sacrificed	BC	casein diet
			6		BP	pork diet
			6			
C	50 ppm	18	6	sacrificed	CC	casein diet
			6		CP	pork diet
			6			
D	100 ppm	18	6	sacrificed	DC	casein diet
			6		DP	pork diet
			6			
E	250 ppm	18	6	sacrificed	EC	casein diet
			6		EP	pork diet
			6			

Table 2 Composition of experimental diets

Ingredients	Content(%)
Sucrose	10.0
Corn starch	55.0
Casein	20.0
Cellulose	5.0
Corn oil	5.0
DL. methionine	0.3
Choline bitartrate	0.2
Vitamin mixture ¹⁾	1.0
Mineral mixture ²⁾	3.5

¹⁾ Contained per kg mixture : Thiamin·HCl 600 mg, Riboflavin 600 mg, Pyridoxine·HCl 700 mg, Nicotinic acid 3 g, Vit. A 400,000 IU(Retinyol acetate), Vit. E(dL- α -Tocopyryl acetate) 5,000 IU, Vit. D₃ 2.5 mg, Vit. K 5.0 mg, and sucrose.

²⁾ Contained per kg mixture : CaHPO₄ 500 g, NaCl 74 g, K₃C₆O₇·H₂O 220 g, K₂SO₄ 52 g, MgO 24 g, 48% Mn 3.5 g, 17% Fe 6.0 g, 70% Zn 1.6 g, 53% Cu 0.3 g, KIO₃ 0.01 g, CrK(SO₄)₂·12H₂O 0.55 g, and sucrose.

시료 채취

혈액의 채취는 시험 종료일에 쥐를 12시간 절식시킨 후 ethyl ether로 실험 동물을 마취시켜 복부 대동맥으로부터 헤파린이 처리된 주사기로 채혈한 다음 헤모글로빈 함량과 헤마토크릿치 측정에 사용하였다. 장기의 채취는 간장과 신장을 적출하여 0.9% 생리 식염수로 혈액을 씻어내고 장기의 무게를 측정 후 냉동 보관하였다. 카드뮴 대사 실험을 위한 뇨 채취는 실험 종료 전 3일간 stainless steel metabolic cage에서 실시하였다.

헤모글로빈 함량과 헤마토크릿치 측정

헤모글로빈 측정은 Cyanmethemoglobin 법으로 측정하였다. 즉 cyanide solution 5 mL에 0.02 mL로 혈액을 가하고 잘 혼합한 다음 540 nm에서 비색 정량하였으며, 헤마토크릿치는 혈액을 채취한 후 헤파린으로 처리된 모세관에서 모세관의 원리를 이용하여 2/3 정도 채운 다음 원심 분리시킨 후 packed red cell volume의 백분율을 측정하였다.

장기 내의 카드뮴 함량 측정

사료, 간장, 신장 중의 카드뮴 함량 측정을 위해 시료를 회화시킨 후 50% HCl 10 mL를 가하여 hot plate에서 거의 마를 때까지 증발 건조시켰다. 이 과정을 반복한 후 냉각시킨다. 0.1 N HCl로 적당 부피까지 희석하였다. 희석된 시료는 여과지를 이용하여 여과하고 원자흡광계(Atomic Absorption Spectrometer, Perkin-Elmen Co., Japan)를 이용하여 228.8 nm에서 측정하였다.

간의 Metallothionein 함량 측정

조직중의 metallothionein (MT) 측정은 Eaton과 Toa(1982)의 방법을 이용하였다. 간 조직 일정량을 취해 4배(v/w)의 10 mM Tris-HCl로 homogenize하였다. 10,000×g에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 취하여 끓는 수조에서 2분간 가열한다. 10,000×g에서 2분간 원심분리한 후 상층액을 얻어내었다. 상층액을 적당 비율(10배~50배)로 희석하여 이중 400 μ L를 취하였다. CdCl₂-Tris buffer용액은 400 μ g/ml를 섞어 이때의 Cd 농도가 2.0 μ g/mL가 되게 한 다음 10분간 방치하여 MT가 Cd에 saturate되도록 하였다. MT와 결합하지 않은 Cd을 제거하기 위해 Onosaka and Chierian(1982)의 Cd/Hb affinity assay 방법을 따랐다. 2% hemoglobin 용액 200 μ L를 넣고 끓는 수조에서 2분간 가열한 후 냉각시키고 원심분리하여 침전물을 제거한다. 이 과정을 2번쯤 더 반복한 후 상층액에서의 Cd량을 AAS로 측정하였다. 1 mole의 MT(MW 6050으로 가정)에 7 mole의 Cd가 붙는다는 가정하에서 MT의 양을 산출하였다.

통계처리

측정된 자료는 SAS 통계 package program을 이용하여 분석하였다. 실험 식이의 처리에 의한 실험 결과는 각 군의 평균과 표준오차를 계산하였고, 각 군의 평균치의 비교는 분산분석을 한 후 처리구 간의 유의성을 Duncan's multiple range test로 검정하였다. 또한 실험인자(Cd:중독 시의 Cd 수준, Pork: 해독 시의 단백질 급여)의 영향과 이들의 상호작용(Cd*Pork)에 의한 영향은 $\alpha=0.05$ 수준에서 이원배치 분산분석(two-way analysis of variance)으로 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

카드뮴 중독 시험

1) 사료, 체중, 사료효율

중독용 사료의 화학적 조성은 카드뮴 함량을 제외하고는 처리구간에 차이가 없었다. 실험 동물의 체중 증가와 식이 효율은 Table 3과 같다. 처음에 실험 식이를 급여하기 전에는 각 처리구 간에 체중 차이가 없었음을 분산분석을 통하여 확인하였다. 8주 동안 카드뮴 중독용 실험 식이를 급여한 결과, 최종 체중은 각 처리구 간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 카드뮴 중독에 의한 체중 감소는 다른 연구에서도 보고한 바 있다(Kwan and Kim, 1992).

사료 효율로 각 군마다 유의적인 차이를 보였다. 즉, 카드뮴의 투여가 높을수록 식이 효율은 유의적으로 낮아져, 카드뮴 25 ppm 첨가구의 경우는 대조구와 유의적인 차이가 없었

으나 카드뮴 50 ppm 이상부터는 식이 효율이 급격히 저하되어 250 ppm의 경우에는 식이 효율이 0.06으로 대조구의 0.25에 비해 4배 이상 낮은 것으로 나타났다. 또한 카드뮴 250 ppm의 경우에는 8주 동안 쥐의 체중 변화가 거의 없었고 18주 중 5수가 중독 기간 8주가 만료되기 전에 사망하였다.

카드뮴 투여에 의하여 성장이 둔화되는 경향을 보인 실험 결과는 다른 연구에서도 보여진다(Suzuki, 1984). Kwan and Kim(1992)은 식이 섭취량, 체중 증가량, 식이 효율이 모두 카드뮴 공급군에서 모두 유의적으로 낮게 나온 것을 보였다. 이와 Kim (1988)도 카드뮴 공급에 의해 섭취량, 체중 증가량, 식이 효율이 모두 유의적으로 감소되었음을 보였다. Kim 등(1995)도 카드뮴 첨가군에 비해 체중 증가량과 식이 효율은 대조구에서 가장 높았다고 하였다. 이번 실험 결과를 포함하여 이러한 결과들은 모두 카드뮴 공급이 직접적으로 식이 섭취량 감소에 영향을 미치거나, 카드뮴의 공급으로 체내 영양소의 흡수 및 대사에 변화가 생겨 식이 효율이 감소됨으로써 체중 증가 속도의 감소 현상이 보여지는 것으로 여겨진다. 본 실험에서도 카드뮴에 의해 체중 증가가 느려지는 경향이 있으며 식이 효율은 유의적으로 낮아짐을 볼 수 있었다. 그러나 이 연구에서는 카드뮴에 의한 성장 둔화가 다른 연구에 비해 미미한 것으로 보여졌다.

2) 헤모글로빈과 헤마토크릿

카드뮴 중독에 의해 헤모글로빈과 헤마토크릿 모두는 카드뮴 농도에 반비례하는 변화를 보여주었다(Table 4). 카드뮴 투여로 인한 헤모글로빈 함량과 헤마토크릿치 감소는 이와 Kim(1988), Jun and Rhee (1993)의 연구에서도 보여지는데, 이는 장기 내에서 철분의 흡수가 카드뮴에 의해 저해를 받은 것으로 해석되었다. 카드뮴 공급 시 Fe가 장내 흡수 단계에서 서로 경쟁적으로 작용하여 장에서의 Fe 흡수가 낮으며 혈장의 transferrin 수준과 TIBC(total iron binding capacity)가 감소되고 체내 Fe 보유량도 감소되었다는 보고(Jun and Rhee, 1993)와 연관지어 생각해볼 수 있다. 또한 카드뮴 중독으로 인한 전반적인 영양불량상태가 간접적인 Fe 결핍을 유발할 수 있다(Hamilton and Valverg, 1974).

Table 4. Hemoglobin content and hematocrit value of cadmium-exposed rats

Treatments	Cd (ppm)	Hb	Hct
A	0	23.2±4.23 ^{a 1}	36.6±5.17 ^a
B	25	15.3±3.20 ^b	27.1±3.80 ^b
C	50	12.3±3.96 ^{bc}	20.7±2.34 ^c
D	100	9.17±3.28 ^{cd}	11.9±4.20 ^d
E	250	7.26±2.18 ^d	13.0±4.27 ^d

^{a-d} Means with different superscript in the same column are significantly differ at $p<0.05$.

3) 조직의 무게

간의 무게는 카드뮴 투여에 따라 점차로 낮아졌지만 체중에 따른 간의 비율, 즉 쥐의 체중 100 g으로 나눈 값은 카드뮴 투여에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(Table 5). 즉, 카드뮴은 전반적인 성장을 둔화시켰지만, 간장에 특별한 영향을 끼치지 않는 것으로 보여졌다. 신장의 경우 카드뮴 투여시 따른 신장 무게의 차이가 처리구별로 현격하게 나타났다. 그러나, 체중 100 g에 따른 신장 무게는 250 ppm 처리구(E)를 제외하고는 처리구간에 차이가 나타나지 않았다. 즉, 카드뮴 투여에 의해 신장의 무게는 줄어들었으나 체중 100 g 당 신장 무게는 250 ppm 처리구(E)의 경우 카드뮴에 의해 증대되었다. Mahaffey(1981)도 이번 실험의 결과와 동일한 결과를 보고하였는데 그에 따르면 동물 체내에 축적된 카드뮴은 50~80%가 간과 신장조직에 분포되어 있으며, 카드뮴 중독에 가장 큰 영향을 받는 장기인 간과 신장의 무게는 카드뮴 공급 후 감소되지만, 신장의 무게를 체중으로 나눈 수치는 카드뮴 중독에 의한 장기 조직의 괴사로 인해 비대해진다고 보고하였다. 정소의 무게는 카드뮴 투여에 의해 점점 작아져서, 카드뮴을 250 ppm 투여한 E 처리에서는 다른 처리구에 비해 유의적인 차이를 보여주었다. 그러나 체중 100 g당 정소의 무게는 100 ppm 중독구(D)에서 가장 높게 나타났다.

4) 조직 내 카드뮴 축적 농도

Table 3. Body weight and feed efficiency ratio(FER) of cadmium-exposed rats

Treatments	Cd (ppm)	Initial weight	Final weight	FER gain/feed
A	0	126.5±12.6 ^{NS 1}	384.8±44.1 ^{a 2}	0.254±0.043 ^a
B	25	124.6±17.2	340.4±50.2 ^b	0.242±0.054 ^a
C	50	125.4±16.1	299.8±32.7 ^c	0.216±0.031 ^{ab}
D	100	126.8±18.8	243.6±54.0 ^d	0.173±0.069 ^b
E	250	123.5±11.2	155.3±41.6 ^e	0.064±0.113 ^c

^{NS} : Not significant.

^{a-e} Means with different superscript in the same column are significantly differ at $p<0.05$.

Table 5. Organ weight of intoxicated rats

Treatments	Cd (ppm)	Liver		Kidney		Testis	
		(g/100g bw)	(g)	(g/100g bw)	(g)	(g/100g bw)	(g)
A	0	3.55±0.21 ^{NS 1}	11.98±0.55 ^{a 2}	0.67±0.02 ^a	2.26±0.04 ^a	0.84±0.27 ^a	3.17±0.23 ^a
B	25	3.83±0.13	11.40±1.76 ^a	0.68±0.06 ^a	2.01±0.25 ^{ab}	0.82±0.23 ^a	2.91±0.25 ^a
C	50	3.61±0.29	10.13±1.51 ^{ab}	0.66±0.05 ^a	1.86±0.24 ^b	0.85±0.41 ^a	3.07±0.29 ^a
D	100	3.70±0.22	8.79±2.32 ^b	0.76±0.07 ^a	1.76±0.29 ^b	1.46±0.34 ^b	3.30±0.14 ^a
E	250	3.90±0.48	4.09±1.43 ^c	1.12±0.16 ^b	1.14±0.25 ^c	1.01±0.48 ^a	1.17±0.84 ^b

^{NS} : Not significant.

^{a-d} Means with different superscript in the same column are significantly differ at $p < 0.05$.

간과 신장 조직 중의 카드뮴 함량은 Table 6과 같다. 카드뮴 섭취량이 높을수록 신장에서의 축적량은 통계적으로 유의하게 차이가 있었다. 그러나 간의 경우 25 ppm이나 50 ppm을 8주 동안 먹인 처리구까지는 대조구에 비해 높은 카드뮴 함량을 보였지만 대조구와 통계적인 유의차는 없었다. 각 조직에서의 축적 농도를 보면 신장에서의 축적 농도가 간에서의 축적 농도의 약 2배 가량이 되는 것으로 보여졌다. 그러나 250 ppm 처리구(E)의 경우 신장과 간에서의 축적 농도가 비슷한 수준으로 나타났다.

5) 간 내 metallothionein 함량

중금속에 대한 metallothionein (MT)의 기작은 동물실험 결과(Norberg *et al.*, 1975) 체내로 중금속이 흡수되면 주로 간장과 신장에서 MT 합성이 크게 증가되고 이 MT가 조직내에서 독성이 강한 유리 중금속과 결합하여 무독화 상태로 전환시킬 뿐 아니라 간장 조직에서 신장 조직으로 운반 및 뇨를 통한 배설을 돕는 등으로 유독성 중금속 이온의 체내 대사에 관여하는 것으로 알려져 있다(Garvey, 1984 ; Hidalgo *et al.*, 1986). 그러나 카드뮴에 장기간 노출되거나 높은 농도로 노출될 경우 간 및 신장 조직에서 Cd·MT 농도가 증가되고 Cd·MT 량이 너무 증가하게 되면 다시 독성이 강한 유리 카드뮴이 방출되어 세포내의 여러 효소의 작용을 방해하고 증가된 Cd·MT 자체가 다른 단백질과 결합하여 세포막을 손

상시키는 등의 카드뮴 중독현상을 유발시키는 것으로 밝혀졌다(Stowe and Wilson, 1972). 실험 결과를 보면 중독시에 MT는 카드뮴의 섭취량이 늘어남에 따라 증가하였다. 이는 MT가 카드뮴에 의한 중독을 완화시키기 위한 길항작용으로 생각된다(Table 7).

해독 시험

1) 사료, 체중, 사료효율

해독용 사료의 화학적 조성은 Table 8과 같다. 돼지고기 첨가량은 카제인을 사용하였을 때와 동일한 단백질 함량이 나오도록 고려하여 삶은 돼지고기 55.7 g을 첨가하였고 이를 건물 기준(DM basis)으로 환산하면 사료 B의 삶은 돼지고기 중량은 24.5 g이 된다. 이와 같은 산출물 조성된 사료는 조단백이 각각 18% 내외로 차이가 없었으며 열량도 3,900 cal 내외로 차이가 없었다. 카제인 사료와 돼지고기의 두 사료간에 회분, 지방, 수분 등에서 유의적인 차이는 없었다.

해독에 의한 체중 변화는 Table 9와 같다. 카드뮴 급여를 중단하고 난 후 체중 회복이 급격히 이루어졌다. 돼지고기를 급여한 쥐의 경우(AP, BP, CP, EP) DP를 제외하고 카제인을 급여한 쥐에 비해 평균 체중이 약간 높은 수치를 나타내었으나, 유의적인 차이는 어디서도 나타나지 않았다. 이전 8주 동안 25 ppm 카드뮴으로 중독되었던 B처리구 중 돼지고기의

Table 6. Cadmium accumulation in liver and kidney

Treatments	Cd (ppm)	Liver	Kidney
A	0	0.11±0.06 ^{a 1}	0.22± 0.15 ^a
B	25	10.1±2.37 ^a	18.2 ± 4.45 ^b
C	50	15.5±5.30 ^a	31.1 ±11.2 ^c
D	100	37.5±9.81 ^b	52.1 ± 9.17 ^d
E	250	91.3±31.8 ^c	95.6 ±19.1 ^e

^{a-e} Means with different superscript in the same column are significantly differ at $p < 0.05$.

Table 7. Methallothionein contents in liver of experimental rats

Treatments	Cd (ppm)	Methallothionein
A	0	23.3± 14.1 ^{a 1}
B	25	51.6± 40.0 ^a
C	50	57.3± 45.9 ^a
D	100	88.5± 39.5 ^a
E	250	182.0±131.9 ^b

^{ab} Means with different superscript in the same column are significantly differ at $p < 0.05$.

Table 8. Chemical composition of detoxifying diets

Diets	Moisture(%)	Ash(%)	Protein(%)	Lipid(%)	Calorie
Casein diet (AC, BC, CC, DC, EC)	8.86±0.02	2.52±0.06	17.96±0.13	4.49±0.07	3891±150
Pork diet (AP, BP, CP, DP, EP)	8.61±0.00	2.71±0.09	18.96±0.05	5.47±0.15	3910±190

Table 9. Body weight, and feed efficiency ratio of detoxifying rats

Treatments	Initial weight	t-test	Final weight	t-test	FER gain/feed	t-test
AC	405.7±49.9 ^a	-	517.4±61.2 ^{ab}	-	0.09±0.02 ^d	-
AP	403.4±18.3 ^a	-	520.0±45.3 ^a	-	0.09±0.02 ^d	-
BC	368.3±36.0 ^a	-	501.3±45.3 ^{ab}	-	0.11±0.02 ^d	* 2
BP	354.7±42.6 ^{ab}	-	525.8±54.7 ^a	-	0.14±0.07 ^{cd}	-
CC	312.5±40.5 ^b	-	477.2±96.4 ^{abc}	-	0.13±0.06 ^{cd}	-
CP	306.8±20.3 ^b	-	483.4±53.2 ^{abc}	-	0.14±0.03 ^{cd}	-
DC	249.0±76.3 ^c	-	469.1±56.6 ^{abc}	-	0.18±0.03 ^{abc}	-
DP	246.6±35.5 ^c	-	442.4±39.3 ^{bc}	-	0.16±0.04 ^{bc}	-
EC	172.0±54.6 ^d	-	363.5±39.7 ^d	-	0.19±0.04 ^{ab}	-
EP	154.2±17.3 ^d	-	415.5±46.8 ^{cd}	-	0.23±0.04 ^a	-
Significant factors	Cd***		Cd***		Cd***	

^{a-d} Means with different superscript in the same column are significantly differ at P<0.05.

Asterisks indicate the significant difference by t-test.

* significant at p<0.05.

경우(BP-525.8 g)에는 해독과정에서의 체중이 카드뮴에 노출되지 않았던 A처리구(AP-517.4 g, AC-520.0 g)보다 높아졌다. 카드뮴 급여를 중단하고 난 후 카드뮴에 의한 중독이 심각했던 D 처리구와 E 처리구에 있어서는 식이 효율이 매우 높았다. 식이 효율의 경우에서도 돼지고기를 급여한 쥐의 경우 DP를 제외하고 카제인을 급여한 쥐에 비해 약간 높은 수치를 나타내었으나, 다른 처리구에서는 유의적인 차이를 보이지 않았고, BP와 BC에서만 t-test 결과에서 유의적인 차이를 보였다(p<0.05).

전반적인 경향을 종합하여 보면 일단 카드뮴에 의해 중독된 쥐는 카드뮴을 더 이상 섭취하지 않으면 일단 체중 회복을 하였다. 즉 25 ppm 카드뮴에 의해 8주간 중독되었던 쥐는 카드뮴 섭취를 중단하면 8주 후에 정상체중을 회복하나 그 이상의 높은 농도로 중독되었던 쥐는 카드뮴 섭취를 중단하면 정상 체중을 회복하기 위해 식이 효율은 매우 높으나 정상상태만큼의 체중으로는 회복되기 힘들었다. 또한 회복기간 동안 돼지고기를 단백질 급원으로 한 쥐는 카제인 급원의 쥐보다 체중 증가가 더 높은 경향을 보였다. 이는 아마도 돼지고기 급여로 카드뮴이 배설되어 대사 성장 장애를 조금이나마 해소 때문이 아닐까 여겨진다. Kim and Soe(1996)의 연구에서는 식이 내 단백질 수준 증가에 의해 카드뮴에 의한 성장 저하가 완화된 것을 보였으나 단백질 종류에 따라서는 체중 증가와 식이효율의 차이를 볼 수 없다고 하였다. Fox등(1980)

도 casein-gelatin식을 먹인 군과 I.S.P.를 먹인 군간에 체중 증가의 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. Kim and Park(1996)의 연구에서는 Cys를 첨가한 군의 체중증가량이 높아 식이 효율이 높은 것으로 나타났다.

2) 헤모글로빈과 헤마토크릿

카드뮴이 더 이상 사료에 첨가되지 않으면서 카드뮴의 중독 정도와 상관없이 모든 처리구에서 헤모글로빈은 완전히 정상치와 같은 수준으로 회복되어 처리구간에 아무런 차이를 보이지 않았다. 이는 장기내에서 철분과 카드뮴이 장내 흡수단계에서 서로 경쟁적으로 작용하여 체내 Fe 보유량이 감소한다는 설명과 일치하는 것으로 더 이상 카드뮴에 의한 철분 흡수 저해가 없어지면서 헤모글로빈이 정상수치를 회복한 것으로 볼 수 있다.

헤마토크릿도 마찬가지로 카드뮴 중독 시에는 36.6~13.0에 이르는 넓은 범위를 이루었으나, 해독 시에는 39.2~33.2까지 모든 처리구에서 양호하게 나타났다(Table 10). 헤마토크릿은 다른 실험 항목들과는 달리 해독 후에 중독에 의한 영향이 전혀 나타나지 않았다. 즉, 해독 시험 후에도 다른 시험 항목들에서는 결과에 영향을 준 인자(significant factor)를 카드뮴이라고 지적하였지만 헤마토크릿에서는 아무리 심한 중독이 과거에 있었다 하더라도 일단 카드뮴의 섭취가 없어지면 헤마토크릿에는 전혀 영향을 미치지 않는 것으로 나

Table 10. Hemoglobin content and hematocrit value of detoxifying rats

Treatments	Hb	t-test	Hct	t-test
AC	15.6±4.97 ^{NS 1}	-	34.8±4.91 ^{abc 2}	-
AP	15.2±7.15	-	39.2±3.42 ^a	-
BC	16.8±5.16	-	33.2±4.01 ^c	-
BP	17.4±2.89	-	38.2±2.18 ^{ab}	-
CC	15.4±4.29	-	34.4±3.65 ^{ab}	-
CP	14.8±3.77	-	37.0±3.52 ^{abc}	-
DC	17.1±3.45	-	34.8±4.27 ^{abc}	-
DP	13.8±2.68	-	34.1±2.01 ^{bc}	-
EC	13.8±2.96	-	33.7±1.55 ^{bc}	-
EP	16.2±2.99	-	36.3±1.92 ^{abc}	-
Significant factors (P<0.05)			Pork*	

^{NS} : Not significant.

^{a-c} Means with different superscript in the same column are significantly differ at $p<0.05$.

타냈다. 카제인 처리구(AC, BC, CC, DC, EC)에서 보다 돼지고기에 의해(AP, BP, CP, DP, EP) 헤마토크릿이 유의적으로 높아진 것으로 나타났다.

3) 해독 시험 후 조직의 무게

장기 무게를 체중으로 나눈 수치는 카드뮴에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(Table 11). 간의 경우 체중 100 g 당 간의 무게는 250 ppm 처리구(EP, EC)에서 높게 나왔으며

특히 250 ppm 카드뮴 중독 후 해독 시 돼지고기를 섭취한 EP 처리구에서 가장 높게 나왔다. 신장의 경우도 마찬가지로 체중 100 g당 신장의 무게는 250 ppm 처리구(EP, EC)에서 다른 처리구에 비해 높게 나왔다.

4) 조직 내 카드뮴 축적 농도

해독시의 간과 신장 중의 카드뮴 함량은 중독에 비해서는 많이 수치가 많이 낮아짐을 보였다. 특히 간에서의 축적 농도가 신장에서의 축적 농도보다 절반에 훨씬 못 미치는 것으로 간에서의 중금속 제거 속도가 신장에서의 제거 속도보다 빠른 것으로 보여졌다. Kim and Soe(1996)는 단백질 섭취가 부족하지 않은 상태에서는 식이 단백질 수준이나 종류에 따른 영향이 나타나지 않는 것으로 보인다고 하였으나 본 시험의 결과는 다소 다른 결과를 보였다. 즉 카제인을 섭취한 처리군보다 돼지고기를 섭취한 군이 카드뮴의 축적이 낮았으며 특히 신장에서의 카드뮴 축적 농도에 영향을 미치는 인자로서 카드뮴뿐만 아니라 카드뮴과 돼지고기 섭취 여부의 교호작용(Cd($p<0.001$), Cd*Pork($p<0.00$)) 등이 나타났다. 즉, 해독시에 신장에서의 해독은 돼지고기 섭취 처리군에서 더 효과적으로 이루어짐을 알 수 있었다.

혈액으로 흡수된 카드뮴은 일단 간으로 운반되어 축적되고 시간이 지남에 따라 신장으로 운반되어 축적된다. 따라서 중독 초기에는 “간 중 카드뮴 농도 : 신장 중 카드뮴 농도”의 비율이 높다가 점점 감소하게 된다. 본 연구에서는 카드뮴 중독 후 8주를 경과하여 해독과정을 거쳐 신장에서의 카드뮴 농도가 더 높을 것을 관찰할 수 있었다. Kim and Park(1996)

Table 11. Organ weight of detoxified rats

Teatments	Liver		Kidney		Testis							
	(g/100g bw)	t-test	(g)	t-test	(g/100g bw)	t-test	(g)	t-test				
AC	3.30±0.20 ^{bc 1}	-	17.06±2.02 ^a	-	0.59±0.05 ^{bc}	-	3.01±0.23 ^{NS 2}	-	0.34±0.03 ^{bc}	-	1.75±0.16 ^{NS}	-
AP	3.15±0.15 ^{bc}	-	16.43±2.17 ^{ab}	-	0.55±0.10 ^c	-	2.87±0.50	-	0.37±0.10 ^{bc}	*	1.91±0.49	*
BC	3.08±0.26 ^c	-	15.45±2.02 ^{abc}	-	0.57±0.03 ^c	-	2.84±0.30	-	0.35±0.01 ^{bc}	*	1.78±0.19	-
BP	3.17±0.21 ^{bc}	-	16.74±2.66 ^{ab}	-	0.56±0.02 ^c	-	2.91±0.34	-	0.33±0.04 ^c	*	1.70±0.13	-
CC	3.30±0.25 ^{bc}	-	15.77±3.55 ^{ab}	-	0.61±0.05 ^{bc}	-	2.87±0.42	-	0.37±0.06 ^{bc}	-	1.69±0.12	-
CP	3.15±0.15 ^{bc}	-	15.27±2.01 ^{abc}	-	0.60±0.03 ^{bc}	-	2.88±0.28	-	0.35±0.05 ^{bc}	-	1.67±0.24	-
DC	3.32±0.25 ^{bc}	-	15.46±1.15 ^{abc}	-	0.63±0.07 ^{bc}	-	2.90±0.22	-	0.36±0.04 ^{bc}	-	1.68±0.22	-
DP	3.30±0.39 ^{bc}	-	13.86±2.07 ^{bc}	-	0.66±0.04 ^{ab}	-	2.90±0.22	-	0.41±0.04 ^{ab}	-	1.82±0.16	-
EC	3.46±0.23 ^b	-	12.58±1.48 ^c	-	0.71±0.05 ^a	-	2.57±0.12	-	0.46±0.08 ^a	-	1.65±0.22	-
EP	3.80±0.33 ^a	-	15.75±2.28 ^{ab}	-	0.72±0.07 ^a	-	2.97±0.24	-	0.42±0.05 ^{ab}	-	1.72±0.81	-
Significant factors Cd*			Cd*			Cd**						

^{a-c} Means with different superscript in the same column are significantly differ at $P<0.05$.

^{NS} : Not significant.

Asterisks indicate the signigicant difference by *t*-test.

* Significant at $p<0.05$.

Table 12. Cadmium accumulation in liver and kidney of detoxifying rats

Treatments	Liver	t-test	Kidney	t-test
AC	0.04±0.04 ^{f 1}	-	0.14±0.09 ^e	** 2
AP	0.05±0.06 ^f	-	0.32±0.55 ^e	
BC	6.64±1.27 ^{dc}	-	14.41±1.66 ^{ef}	-
BP	4.83±1.01 ^c	-	10.60±1.83 ^f	-
CC	9.39±2.48 ^d	-	21.32±7.37 ^{cd}	*
CP	7.75±2.21 ^{dc}	-	16.37±2.33 ^{dc}	
DC	13.00±2.22 ^c	-	30.40±6.51 ^b	*
DP	16.14±3.10 ^b	-	25.04±1.99 ^c	
EC	19.51±5.07 ^a	-	40.36±6.64 ^a	-
EP	20.89±4.24 ^a	-	30.88±5.33 ^b	
Significant factors (P<0.05)	Cd***		Cd***, Cd*Pork**	

^{a-f} Means with different superscript in the same column are significantly differ at $p<0.05$.

Astericks indicate the signigicant difference by t -test.

* significant at $p<0.05$.

** significant at $p<0.005$.

Table 13. Methallothionein contents in liver of detoxifying rats

Treatments	Methallothionein	t-test
AC	25.04±10.59 ^{f 1}	-
AP	21.27± 8.66 ^f	
BC	64.73±17.51 ^{dc}	* 2
BP	60.68± 6.12 ^o	
CC	85.57±31.71 ^{cdc}	**
CP	87.84± 6.24 ^{cd}	
DC	90.58±41.52 ^{bcd}	-
DP	106.76±15.83 ^{bc}	
EC	150.82± 6.33 ^a	-
EP	115.38±18.55 ^b	
Significant factors (P<0.05)	Cd***	

1. ^{abcdef} Means with different superscript in the same column are significantly differ at $p<0.05$.

2. Astericks indicate the signigicant difference by t -test.

* significant at $p<0.05$.

** significant at $p<0.005$.

은 간에서의 카드뮴 농도가 단백질 수준에 의한 차이를 보이지 않았고 신장 중의 카드뮴은 식이 단백질 수준이 낮은 군에서 높게 나타났다. 또한 Cys을 공급한 군에서는 간과 신장에서의 카드뮴 농도가 모두 높은 것으로 보고하였다. 이와 Kim(1988)도 식이 단백질 수준이 높을수록 카드뮴의 신장 내 축적량이 낮은 것으로 보고하였다. 카드뮴 공급 시 체내

질소 흡수율과 단백질 효율의 저하, 혈청 및 간 내 단백질 함량의 감소 등 체내 단백질 대사에 영향을 주었다고 하였으며 또한 단백질 수준이 높은 경우 단백질에 의한 카드뮴 흡수 억제 및 뇨를 통한 카드뮴 배설이 늘었다고 보고하였다. 이렇듯 단백질 수준이 카드뮴 해독에 영향을 미치는 것에 대한 보고는 있으나 단백질 종류에 따른 해독 영향에 대한 보고는 없었으며 본 연구에서는 단백질 급원에 따라 장기 내 카드뮴 축적 농도가 차이가 있음을 보여주었다.

5) 간 내 Metallothionein 함량

해독시의 결과를 보면, 카드뮴 25와 50 ppm으로 중독되었던 쥐의 경우 각각의 t -test 결과에서 카제인과 돼지고기에 의한 차이가 있는 것으로 나타났으나 일관성이 없는 결과였다. 그리하여 전체적으로 보면 돼지고기는 MT 합성에 영향을 주는 것으로 보기는 어려웠다.

요 약

돼지고기 섭취가 카드뮴에 중독된 쥐의 대사에 어떻게 영향을 주는가를 규명하고자 이 연구를 수행하였다. 카드뮴(0, 25, 50, 100, 250 ppm)을 사료에 섞어 8주 동안 급여하여 일 단 중독을 유발시킨 후 또 다시 8주 동안 돼지고기에 의한 해독 효과를 대조구와 비교하였다. 8주 동안 카드뮴 중독용 실험 식이를 급여한 결과, 카드뮴 중독 현상이 나타났다. 해독기간 중 돼지고기를 급여한 경우 체중 회복이 빠른 경향을 보였으나 유의적 차이는 없었다. 해독에 의해 헤모글로빈과 헤마토크릿은 완전히 정상치와 같은 수준으로 향상되었다.

체중 100 g 당 간의 무게는 250 ppm 카드뮴 중독 후 해독 시 돼지고기를 섭취한 처리군에서 가장 높게 나왔다. 카제인을 섭취한 처리군보다 돼지고기를 섭취한 처리군에서 카드뮴의 축적이 더 낮게 나타났으며 특히 신장에서의 카드뮴 축적 농도에 영향을 미치는 인자로서 카드뮴뿐만 아니라 카드뮴과 돼지고기 섭취 여부의 교호작용(Cd***, Cd*Pork**) 등이 나타났다. 해독시 metallothionein(MT) 합성은 돼지고기에 의해 영향을 받지 않는 것으로 보여졌다.

감사의 글

This research was supported by grants from R&D Promotion Center for Agriculture and Forestry in Korea.

참고문헌

- Bae, K. H. and Kim, M. K. (1997a) Effect of chitosan and N,O-carboxymethyl chitosan of different sources and molecular weights on cadmium toxicity. *Korean J. Nutr.* **30(7)**, 751-769.
- Bae, K. H. and Kim, M. K. (1997b) Effect of chitosan and N,O-carboxymethyl chitosan of different sources and molecular weights on cadmium toxicity. *Korean J. Nutr.* **30(7)**, 770-780.
- Cho, S. Y., Kim, M. J., and Lee, M. K. (1994) The effect of zinc levels on free radical generating system in cadmium treated rats. *J. Korean Soc. Food Nutr.* **23(5)**, 725-730.
- Choi, M. K., Kim, A. J., Jun, Y. S., Kim, H. N., Rho, S. N., and Sung, C. J. (1994) Effect of dietary iron levels on the cadmium accumulation in cadmium poisoned rats. *Korean J. Nutr.* **27(7)**, 709-716.
- Eaton, D. L. and Toal, B. F. (1982) Evaluation of the Cd/hemoglobin affinity assay for the rapid determination of metallothionein in biological tissues. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* **66**, 134-142.
- Fox, M. R. S., Jacobs, R. M., Jones, A. O. L., Fry, B. E. Jr., and Stone, C. L. (1980) Effects of vitamin C and iron on cadmium metabolism. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **355**, 249-291.
- Garvey, J. S. (1984) Metallothionein: Structure/antigenicity and detection/quantitation in normal physiological fluids. *Environ. Health Perspect.* **54**, 117-127.
- Hamilton, D. L. and Valberg, L. S. (1974) Relationship between Cd and Fe absorption. *Am. J. Physiol.* **227**, 1033-1037.
- Hidalgo, J., Armario, A., Flos, R., and Garvey, J. S. (1986) Restraint stress induced changes in rat liver and serum metallothionein in Zn metabolism. *Experientia* **42**, 1006-1010.
- Jun, S. Y. and Rhee, S. J. (1993) Accumulation of metallothionein in rat liver and kidney by cadmium administration. *Korean J. Nutr.* **26(2)**, 156-163.
- Kim, J. H., Chough, N. J., and Park, S. B. (1989) Studies on the heavy metals of common restaurant meals. *J. Korean Soc. Food Nutr.* **18(3)**, 316-320.
- Kim, M. K. and Chung, H. S. (1997) Effects of dietary fibers isolated from tangerine peels on lipid and cadmium metabolism in the rat. *Korean J. Nutr.* **30(3)**, 229-243.
- Kim, M. K. and Paek, J. E. (1997) Effect of dietary fibers in rice and barley on lipid and cadmium metabolism in the rat. *Korean J. Nutr.* **30(3)**, 252-265.
- Kim, M. K. and Park, J. Y. (1996) Effect of dietary protein and cysteine levels on cadmium toxicity in rats. *Korean J. Nutr.* **29(5)**, 461-471.
- Kim, M. K. and Soe, M. S. (1996) Effect of dietary protein level and source on cadmium intoxicification in rats. *Korean J. Nutr.* **29(6)**, 578-589.
- Kim, M. K. and Seol, E. Y. (1994) Effect of dietary chitin and chitosan on cadmium toxicity and lipid metabolism in rats. *Korean J. Nutr.* **27(10)**, 996-1006.
- Kim, U. S., Lee, C. H., Kim, S. J., Lee, J. D., Moon, K. H., and Baek, S. H. (1995) Effect of the aloe arborescens added-diet on the cadmium toxicity in rat. *Korean J. Food Sci. Technol.* **27(4)**, 555-563.
- Kwan, O. R. and Kim, M. K. (1992) The effect of dietary protein and calcium levels on metallothionein and histopathological changes during cadmium intoxication in rats. *Korean J. Nutr.* **25(5)**, 360-378.
- Lee, H. Y. and Kim, M. K. (1988) Effects of dietary cadmium and protein levels on the body protein metabolism and cadmium toxicity in growing rats. *Korean J. Nutr.* **21(6)**, 410-420.
- Lee, Y. O. and Cha, C. W. (1986) A study on the effect of garlic, D-penicillamine and N-acetyl-DL-penicillamine against cadmium poisoning in rat. *Korea University.* **23(3)**, 43-51.
- Mahaffey, K. R. (1981) Nutritional factors in lead poi-

- soning. *Nutr. Rev.* **39**, 353-362.
22. Norberg, G. F., Goyer, M., and Norberg, M. (1975) Comparative toxicity of cadmium-metallothionein and cadmium chloride on mouse kidney. *Arch. Pathol.* **99**, 192-197.
 23. Onosaka, S. and Cherian, M. G. (1982) Comparison of metallothionein determination by polarographic and cadmium-saturation methods. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* **63**, 270-274.
 24. Page, A. L. and Chang, A. C. (1986) Cadmium, Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. pp.33.
 25. Rhee, S. J. and Jun, S. Y. (1993) Effect of dietary selenium of metallothionein synthesis and antioxidative detoxification mechanism in cadmium administered rats. *Korean J. Nutr.* **26(3)**, 286-298.
 26. Rho, J. H., Han, C. K., Lee, N. H., and Chung, Y. K. (1997) Effect of pork as a protein source on cadmium toxicity in rats. *Korean J. Anim. Sci.* **39(5)**, 605-616.
 27. Song, M. R. and Lee, S. R. (1986) Assessment of total dietary intake of some heavy metals from common restaurant meals in Seoul area. *Korean J. Food Sci. Technol.* **18(6)**, 458-467.
 28. Suzuki, T. K. (1984) Studies of cadmium and metabolism by the kidney. *Environ. Health Perspect.* **54**, 21-30.
 29. Stowe, H. D. and Wilson, M. (1972) Clinical and morphological effects of oral Cd toxicity in rabbits. *Arch. Pathol.* **94**, 389-405.
 30. Valverg, L. S., Sorbe, D. L., and Hamilton, D. L. (1976) Gastrointestinal metabolism of Cd experimental iron deficiency. *Am. J. Physiol.* **231**, 462-467.
 31. Yoon, Y. H. and Rhee, S. J. (1994) Effects of Korean green tea, oolong tea and black tea beverage on the antioxidative detoxification in rat poisoned with cadmium. *Korean J. Nutr.* **27(10)**, 1007-1017.
-
- (2005. 3. 16. 접수 ; 2005. 10. 28. 채택)