韓國營養學會誌 29(1) : 70~76, 1996

장기간 카드뮴에 중독된 흰쥐에서 카드뮴 축적에 대한 식이 구리와 철분의 효과*

김 애 정** · 승 정 자

혜전전문대학 식품영양과,** 숙명여자대학교 식품영양학과

The Effects of Dietary Cu and Fe on the Cd Accumulation in Long-Term Cd Poisoned Rats

Kim, Ae-Jung · Sung, Chung-Ja**

*Department of Food & Natrition,** Hyejeon Junior College, Chungchungnam-do, Korea*
Department of Food & Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study was undertaken to investigate the effect on the Cd accumulation in long-term Cd poisoned rats. 40 male weaning Sprague Dawley rats weighing 80 - 90g were divided into 4 groups (LCuLFeCd : low Cu, Fe and Cd group, ACuLFeCd : adequate Cu, low Fe and Cd group, LCuAFeCd : low Cu, aduquate Fe and Cd group, ACuAFeCd : adequate Cu, adequate Fe and Cd group) according to Cu and Fe levels (Cu 0.5ppm, 8.5ppm ; Fe 6ppm, 40ppm) for 12 weeks. There were no significant difference in water intake, feed intake, and body weight gain according to dietary Cu and Fe consumption. But the mean food intake and body weight gain of adequate Fe groups (LCuAFeCd, ACuAFeCd) were higher than those of deficient Fe groups (ACuLFeCd, LCuLFeCd) in long-term Cd poisoned rats. The mean Cd levels of serum, liver, kidney, and urine in ACuAFeCd group were lower than those of Cu and/or Fe deficient groups. But the mean fecal Cd excretion of ACuAFeCd group was higher than that of Cu and/or Fe deficient groups. And the mean Cd retention amount of ACuAFeCd group was lower than those of Cu and/or Fe deficient groups. In conclusion, these results provide an evidence that adequate Cu and Fe intakes can decrease Cd accumulation in rats. Therefore, in the point of increasing environmental Cd contamination, adequate Cu and Fe intakes must be suggested to prevent Cd accumulations. (*Korean J Nutrition* 29(1) : 70~76, 1996)

KEY WORDS : Cu · Fe · Cd.

서 론

최근 동식물의 대사와 영양에 관여하는 미량원소의 중요성이 강조되고 있으나 산업의 발달과 자동차 증가로 인한 대기오염과 공장폐수, 과다한 농약살포등을 통한 카드뮴, 납, 수은과 같은 중금속의 식수, 식품, 공기오염이 심각한 환경문제로 대두되고 있다[1)2)3)].

카드뮴(Cadmium, Cd)은 1817년 Strohmeyer에 의해 처음으로 분리되었으며, 인체에 미치는 영향은 1932년 Prodan이 처음으로 기술하였고[2)], 카드뮴 독성에 대한 관심은 1968년 일본에서 발생했던 Itai-Itai dis-ease에 의해 크게 대두되었다[4)5)]. 카드뮴이 산업용으

채택일 : 1995년 12월 20일
*본 연구는 1994년도 혜전전문대학 연구비 지원과제의 일부임.

로 쓰여진 것은 불과 50년 정도지만 형광등 제조, 합금제조, 축전지, 베어링, 용접, 도료 등 매우 다양하다. 따라서 이와 관련된 산업에 종사하는 사람들은 장기간의 카드뮴 흡입으로 그 중독이 더욱 심화되고 있는 실정이다.

카드뮴은 다른 중금속 화합물에 비해 적은 양으로도 큰 독성을 나타내므로 미량 존재하에서도 체중감소, 단백뇨, 위장장애, 빈혈, 고혈압, 심혈관 장해, 골연화증, 중추신경계이상 등의 중독증세를 일으킨다[6][7].

일반적으로 사람은 출생시에는 인체내에 카드뮴이 존재하지 않지만 연령이 증가함에 따라 점차적으로 체내에 축적되어 60년 정도를 사는 동안 약 20~30mg의 카드뮴이 인체내에 축적되고, 체내 총 카드뮴 축적량의 50~80%가 간장과 신장에 존재한다[8]. 신생아나 성장기 어린이의 경우 성인보다 카드뮴 흡수 및 보유능력이 높아 카드뮴중독에 더욱 예민한 것으로 나타나고 있다[9].

그러나 카드뮴의 체내 축적량이나 독성을 초기에 판단할 수 있는 방법이 아직 없어 카드뮴 중독을 초기에 발견하기 어렵기 때문에, 환경오염이 심화되고 있는 현대사회에서 카드뮴의 오염방지 및 중독예방에 관한 문제는 매우 중요한 실정이다. 특히 체내의 영양상태가 중금속의 임상적 중독현상이나 해독기구에 영향을 미칠수 있다는 보고들[10-12]을 미루어볼 때 중금속의 중독현상의 완화 등에 관한 연구는 매우 중요하다고 볼 수 있다. 따라서 카드뮴 중독의 예방 및 치료적 측면에서 단백질, 지방, 섬유질 등의 식이인자가 카드뮴의 흡수를 억제시키고 간장과 신장조직내의 카드뮴 축적을 감소시킨다는 연구[13-16]가 계속해서 이루어지고 있으며, 최근 구리, 철분, 아연 등의 미량무기질도 카드뮴과 체내 대사과정에서 상호작용을 함으로써 카드뮴 흡수를 억제시키고 조직중의 카드뮴 축적을 감소시키는 것으로 보고되고 있다[17-20].

동물실험결과 카드뮴과 구리간에 길항작용이 있음이 보고됨으로써[17][18] 구리가 카드뮴의 영향을 받을뿐만 아니라 카드뮴 중독을 완화시킬 수 있는 식이인자임을 제시하였으나 계속적인 연구부족으로 아직 정확한 결론을 내릴 수 없는 실정이다. 한편, 카드뮴과 철분과의 상호작용에 관한 연구로써 Banis등[19]은 암쥐와 숫쥐에게 300ppm의 철분을 공급해주었을때 체중을 감소시키고 헤모글로빈 농도를 감소시키는 카드뮴의 독성작용이 완화되었다고 하였으며, 그밖의 여러 연구[20-22]에서도 철분공급이 카드뮴 중독을 완화시키는 것으로 나타나고 있다. 그러나 지금까지의 연구들은 대부분 어느 한가지 특정 무기질과의 관계에 제한되어 있어, 구리와 철분처럼 장내흡수단계에서 카드뮴의 독성작용을 함께 경감시킬 수 있는 두가지 무기질의 상승작용을 규명한 연구는 거의 없는 실정이다. 한편, 카드뮴에 대한 중독은 어릴수록 심하게 나타나는데도 불구하고[9], 이유기부터 성장기를 거치는 카드뮴의 장기독성이 체내에 미치는 영향에 관한 연구가 매우 드물어 카드뮴의 영향을 정확히 규명하기 위해서는 오랜기간에 걸쳐 중독되는 중금속의 특성을 고려한 장기간의 실험이 필요하다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 이유기부터 성장후까지 50ppm의 카드뮴을 식수에 투여한 흰쥐를 대상으로 구리와 철분을 각각 부족한 수준(Cu : 0.5ppm, Fe : 6ppm)과 적정수준(Cu : 8.5ppm, Fe : 40ppm)으로 12주간 섭취시킨후 혈청, 간장, 신장의 카드뮴 함량 및 소변, 대변 중의 카드뮴 함량을 비교하여 적정수준의 구리와 철분 섭취가 카드뮴 중독을 경감시키는데 효과가 있는지를 밝혀냄으로써 최근 증가하고있는 중금속 오염으로 증가될 여러질병을 예방할 수 있는 식이인자를 제시하는 기초자료를 마련하고자 한다.

실험내용 및 방법

1. 실험 설계

본 연구에서는 구리, 철분 및 카드뮴의 섭취수준이 카드뮴중독에 미치는 영향을 알아보기 위하여 이유한 21일령 Sprague Dawley 숫컷 40마리를 사용하여 12주간 4군으로 나누어 Table 1과 같이 사육하였다. 실험실의 조건은 온도 24℃, 습도 55~60%를 항상 유지시켰으며 물은 탈이온수로 매일 급여시켰고 사료와 물은 자유급식시켰다.

무기질의 오염을 방지하기 위하여 사양에 필요한 모든 실험기구는 0.4%EDTA(ethylene diamine tetraacetic acid)용액에 24시간동안 담갔다가 2차 증류수로 3번 이상 세척후 건조기에서 건조시켜 사용하였다.

2. 실험 식이

실험식이는 AIN-76[23]을 참고로하여 Table 2와 같이 제조 공급하였다. 사료는 냉동보관하여 공급하였고 2주마다 새로 제조 공급하였다. 기본사료는 모든 군의 쥐에게 구리 0.5ppm, 철분 6ppm이 공급되도록 하였고, 이 기본사료에 구리는 8.0ppm을 첨가하므로써 적정수준의

Table 1. Experimental design for supplementation of Cu, Fe to basal diet and Cd in drinking water

Dietary groups[1)]	Cu	Fe	Cd
	— ppm in diet —		ppm in water
LCuLFeCd	0.5	6	50
ACuLFeCd	8.5	6	50
LCuAFeCd	0.5	40	50
ACuAFeCd	8.5	40	50

1) In the abbreviated names, L and A indicate low and adequate levels of copper and iron.

Table 2. Formulation of experimental diets and drinking water[1]

Ingredient	Basal diet	Fe-supplement diet
	g/kg	
Sucrose[2]	500.0	500.0
Corn starch[3]	150.0	150.0
Casein[4]	200.0	200.0
Cellulose[5]	50.0	50.0
Corn oil[6][7]	50.0	50.0
DL-methionine[8]	3.0	3.0
Choline bitartrate[9]	2.0	2.0
Vitamin mixture[10]	10.0	10.0
Mineral mixture[11]	35.0	35.0
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	–	0.1692
	Calculated value	
Crude protein, %	20.00	
Metabolizable energy, Kcal/g	3.34	

1) Drinking water : Cd 50ppm as $CdCl_2$
2) Sucrose : Sigma Chemical Co.
3) Corn starch : Junsei Chemical Co.
4) Casein : Junsei Chemical Co.
5) α-Cellulose : Sigma Chemical Co.
6) Corn oil : Doosan Co.
7) BHT as antioxidant was added 0.0125%/oil kg
8) DL-methionine : Hoong sung Co.
9) Choline bitartrate : Junsei Chemical Co.
10) Vitamin mixture : (The mixture provides per kg of diet) : Thiamine·HCl : 6mg, Riboflavin : 6mg, Pyridoxine·HCl : 7mg, Nicotinic acid : 30mg, D-Calcium pantothenate : 16mg, Folic acid : 2mg, D-Biotin : 0.2mg, Cyanocobalamin : 0.01mg, Retinyl acetate : 4,000I.U., dl-α-Tocopherol acetate : 50I.U., Cholecalciferol : 0.025mg, Menaquinone : 0.05mg
11) Mineral mixture(The mixture provides per kg of diet) : Calcium phosphate, dibasic : 17.5g, Sodium chloride : 2.59g, Potassium citrate, monohydrate : 7.7g, Potassium sulfate : 1.82g, Magnesium oxide : 0.84g, Manganous carbonate : 0.21g, Zinc carbonate : 56mg, Potassium iodate : 0.35mg, Sodium selenite : 0.35mg, Chromium potassium sulfate : 19.25mg, Cupric carbonate : 0.5mg, Ferrous sulfate : 29.

구리 섭취군이 되도록 하였으며, 철분은 34ppm을 첨가하므로써 적정수준이 되도록 하였다. 50ppm의 카드뮴 수준은 장기간 투여하여도 카드뮴 중독에 의한 실험동물의 갑작스러운 사망이 일어나지 않아 장기 카드뮴 중독에 의한 흰쥐의 체내 대사에 미치는 영향을 관찰할 수 있도록 설정하였다[7]. 카드뮴은 식수의 오염문제를 고려해서 식수에 첨가하여 공급하였으며 카드뮴이 투여된 비교군이 되도록 하여 식수 섭취량을 조사하여 카드뮴 섭취량을 계산하였다.

3. 시료 채취 및 분석

실험종료(12주후)전 12시간동안 실험 동물을 절식시킨 후 개체별로 체중을 측정하였고 ethyl ether로 마취시킨 후 복부 대동맥에서 혈액을 채취하였다. 혈청을 얻기 위하여 시험관에 받아 3,000rpm에서 20분간 원심분리하여 냉동보관하였다가 혈청 카드뮴 함량을 발광분광광도계(Inductively coupled plasma : lactum 8440 plasmalac)로 측정하였다[24].

간장과 신장은 복부를 개복한 다음 즉시 채취하여 0.15M 식염수로 씻어낸 후 가아제로 표면의 습기를 제거한 다음 무게를 측정하였고, −20℃에서 냉동보관하였다가 그 중 1g을 채취하여 임[25]의 습식분해법에 의거하여 혈청 카드뮴 함량을 발광분광광도계로 측정하였다[24].

대변과 소변은 12시간을 절식시킨 날을 제외한 사육종료 전 3일간 대사 케이지에서 채취하였다. 대변은 무게를 측정한 다음 젖은 상태로 −20℃에서 냉동보관하였으며, 소변은 총량을 측정한 다음 3,000rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액을 취해 냉동보관하였다. 냉동보관한 대변과 소변은 임[25]의 습식분해법에 의거하여 분해한 후 발광분광광도계를 이용하여 카드뮴 함량을 측정하였다[24].

4. 카드뮴 축적량

카드뮴의 축적량은 다음 식에 의해 산출하였다.

카드뮴 축적량(g)=카드뮴 섭취량(g) − 대변과 소변으로의 카드뮴 배설량(g)

5. 자료의 통계 처리

실험에서 얻어진 모든 자료는 SAS Program을 이용하여 평균과 표준편차를 구하였으며, 구리, 철분과 카드뮴의 섭취수준에 따른 각 요인간의 작용을 알아보기 위해 2-way 분산분석(2×2)을 하였다. 각 군의 평균치간의 비교는 Duncan's multiple range test[26]로 분석하였으며, 유의성 검정은 $p < 0.05$에서 행하였다.

결과 및 고찰

장기간 카드뮴에 중독된 흰쥐에서 카드뮴 독성작용에 대한 식이 구리와 철분의 경감효과를 알아보기 위하여 12주간 40마리의 흰쥐를 4군으로 나누어 50ppm의 카드뮴을 식수에 첨가하였고, 여기에 구리와 철분을 각각 부족한 수준(Cu : 0.5ppm, Fe : 6ppm)과 적정수준(Cu : 8.5ppm, Fe : 40ppm)으로 섭취시켰다. 실험 종료후 사료와 식수 섭취량, 체중 증가량, 혈청, 간장, 신장의 카드뮴 함량 및 소변, 대변의 카드뮴 배설량을 비교 관찰한 결과 및 고찰은 다음과 같다.

1. 사료, 식수 섭취량 및 체중 증가량

본 연구 결과 장기간 카드뮴 공급시 구리와 철분의 섭

Table 3. Food intake, water intake and body weight gain in rats

Cu	Fe	Cd	Food intake	Water intake	Body weight gain
— ppm —			g/day	*ml*/day	g/day
0.5	6	50(LCuLFeCd)	14.82±2.31 NS[2)]	25.2±2.5 NS	1.93±0.58 NS
8.5	6	50(ACuLFeCd)	14.60±0.47	23.2±2.1	1.70±0.48
0.5	40	50(LCuAFeCd)	16.11±1.20	26.0±1.7	2.38±0.43
8.5	40	50(ACuAFeCd)	16.36±2.20	24.0±1.9	2.28±0.44
ANOVA		Cu(A)	0.00	3.16	0.35
Term[3)]		Fe(B)	2.19	0.40	3.37
		A×B	0.07	0.00	0.05

1) Mean±S.D.
2) Not significance
3) F-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance(ANOVA).

Table 4. Contents of serum, feces, urine, liver, and kidney of Cd in rats

Cu	Fe	Cd	Serum Cd	Liver Cd	Kidney Cd	Urinary Cd	Fecal Cd
ppm			*μg/dl*	*μg/ml*		μg/wet weight	
0.5	6	50	2.12±0.01[1)a]	37.72±7.78[a]	16.16±3.06[a]	13.20±1.09[a]	60.40±0.89[d]
8.5	6	50	2.08±0.01[b]	18.34±2.23[b]	7.57±2.55[b]	8.90±1.20[b]	140.61±0.88[c]
0.5	40	50	1.36±0.08[bc]	29.14±14.0[ab]	7.33±1.77[ab]	2.00±0.10[c]	204.94±0.88[b]
8.5	40	50	0.05±0.01[c]	14.53±3.44[b]	3.45±0.77[b]	2.20±0.09[c]	400.85±0.78[a]
ANOVA[3)]		Cu(A)	13.10***	12.69**	23.81**	17.79***	551.90**
Term		Fe(B)	39.44***	1.68	25.68***	297.16***	999.94***
		A×B	1.37	0.25	3.40	21.11*	1361.61***

1) Mean±S.D.
2) Means with different letters(a,b,c) within a column are significantly different from each other at P<0.05 as determined Duncan's multiple-range test(a > b > c).
3) F-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance (ANOVA).
*p < 0.05 **p < 0.01 ***p < 0.001

취수준에 따른 식수, 사료 섭취량 및 체중 증가량은 유의적인 차이가 없었다(Table 1). Richard등[27]은 새(Japanese Quail)에게 2주간 카드뮴을 1,020μg/kg 투여하면서 구리를 5mg/kg과 10mg/kg을 급여시켰을때 체중 증가량, 사료 섭취량 및 사료효율에 있어서 두 군간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다고 하여 본 연구결과와 일치하였으나, Hill등[18]은 식이내 구리의 보충이 카드뮴 독성에 의한 성장지연을 감소시킨다고 하였고 Cousins등[28]은 4주간 생쥐에게 100ppm의 카드뮴을 섭취시키면서 구리를 급여하지 않은 군과 10ppm의 구리를 급여시킨 군의 체중 증가량을 비교해 볼때 100ppm 구리군의 체중 증가량은 5.1g으로 10ppm 구리군의 10.4g에 비해 유의적으로 낮았다고 보고하여 본 연구결과와 다른 경향을 보였다.

철분의 영향에 대한 연구에서 Hill등[18]은 100ppm의 철분 공급시보다 500ppm의 철분 공급시 카드뮴에 의한 체중 감소작용이 완화되었다고 하였으며, Banis등[19]도 이유기 쥐에 있어 300ppm의 철분 공급이 사료 섭취량을 감소시켜 성장을 지연시키는 카드뮴의 독성작용을 현저히 감소시켰다고 하였다. 본 연구에서도 철분이 적정수준인 군의 평균 사료 섭취량과 체중 증가량이 철분이 부족한 군에 비해 높은 경향을 보여 위의 연구결과들과 유사하였으나, 철분섭취수준에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않은것은 12주라는 장기간의 사육에 따른 적응현상때문인 것으로 사료된다.

2. 혈청, 간장, 신장의 카드뮴 함량 및 소변과 대변의 카드뮴 배설량

본 연구결과 장기간 카드뮴 투여시 혈청 카드뮴 함량은 구리와 철분 부족군이 구리와/또는 철분 적정군보다 유의적으로 높게 나타났다(Table 4). Hill등[18]은 카드뮴에 노출된 상태에서 구리섭취부족은 헤모글로빈 함량감소등 카드뮴 중독이 심화되었다고 보고하였고, Bunn등[29]은 100ppm의 카드뮴을 투여하면서 0ppm, 10ppm의 구리를 공급했을때 혈청중 카드뮴 함량은 구리공급군에서 낮았다고 하여 본 연구결과와 일치하였다.

일반적으로 사람은 출생시에는 인체내에 카드뮴이 존재하지 않지만 연령이 증가함에 따라 점차적으로 체내에 축적되어 60년정도를 사는동안 약 20~30mg의 카드뮴이 인체에 축적되고 체내 카드뮴 총 축적량이 50~80%가 간장과 신장에 존재한다고 알려져 있다[8]. 본 연구에서 간장과 신장의 카드뮴 함량은 구리와 철분부족군이 구리와/또는 철분이 적정수준으로 공급된 군보다 유의적으로 높게 나타났다. 카드뮴은 흡수과정을 통한 효율

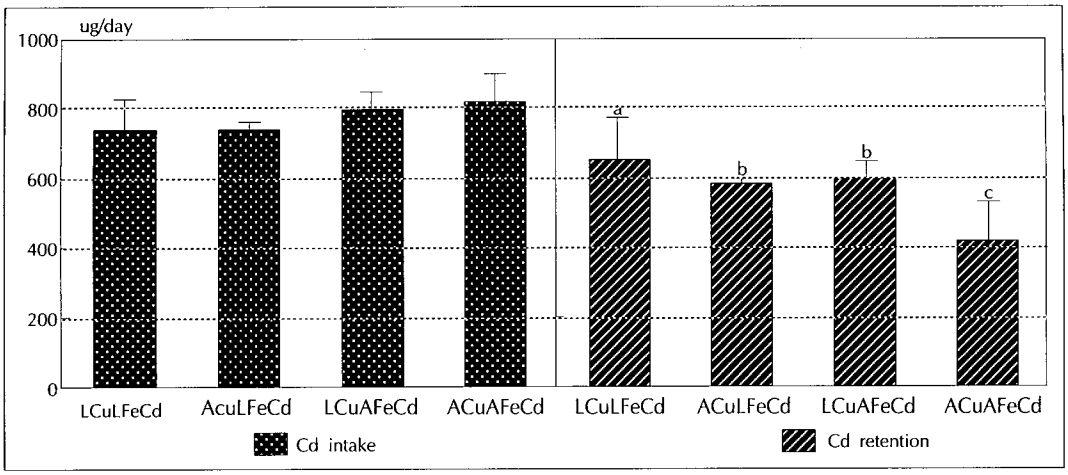

Fig. 1. The Cd intake and Cd retention in Cd poisoned rats.

적인 항상성 조절기작이 없이 식이를 통해 과량의 카드뮴이 공급될 경우에는 체내에 계속 축적된다고 하며[30], 특히 신장의 카드뮴 축적이 부위에 변성을 일으키고 원위세뇨관과 사구체에도 병변을 초래하여 신장기능장해를 일으키기 때문에 체내 카드뮴 축적이 더욱 심화된다고 한다[8]. 본 연구에서 적정수준의 구리와 철분의 섭취는 간장과 신장의 카드뮴 축적을 감소시키는데 효과적인 것으로 나타남으로써 카드뮴중독을 경감시키는 식이인자일 가능성이 높은 것으로 사료된다.

카드뮴 중독의 중요한 판정지표는 뇨중 카드뮴양의 측정으로 과량의 카드뮴에 노출되었을때 metallothionein이 포화되어 뇨중 카드뮴배설이 증가하나 카드뮴에 노출되지 않았을 경우에는 뇨중 카드뮴 배설이 소량(1~2㎍/day)으로 일정하다고 한다[9]. 한편, 대변중 카드뮴 배설량은 카드뮴에 의해 소화되지 못한 단백질 분해물질이 카드뮴과 결합된 채로 체외로 배설되거나 장세포에서 합성된 metallothionein이 카드뮴과 결합하고 있다가 장세포 교체시 함께 배설됨으로써 카드뮴 흡수를 억제시켜준다는 보고가 있다[31]. 본 연구결과 뇨중 카드뮴 배설량은 철분부족군이 철분적정군에 비해 유의하게 높았는데, 이는 카드뮴에 노출되었을때 철분이 적정수준일때 체내 카드뮴의 흡수가 감소[17-19]된 것으로 사료되며, 대변중 카드뮴 배설량은 구리와 철분 적정군이 구리와/또는 철분적정군보다 유의하게 높게 나타났다. 이는 구리와 철분이 장내흡수단계에서 카드뮴의 흡수를 함께 경감시키는 상승작용[20-22]을 한것으로 사료된다.

3. 카드뮴 섭취량과 축적량

카드뮴 투여시 구리와 철분의 섭취수준에 따른 카드뮴 섭취량에는 유의적인 차이가 없었으나 축적량은 구리, 철분적정군이 구리와/또는 철분부족군에 비해 유의적으로 낮게 나타남으로써(Fig. 1) Bunn등[29]이 구리부족은 카드뮴 흡수를 상승시키나 구리보충은 카드뮴 흡수를 방해한다는 보고와 일치하였다. Van Campen[32]과 Campbell등[17]은 카드뮴과 구리의 상호작용은 주로 흡수도중에 일어나며, 특히 적은 양의 구리가 흡수되는 동안 뚜렷하게 나타난다고 지적하였다. 즉, 구리의 섭취가 충분할때 카드뮴에 의한 영향이 적은 반면, 식이중 구리의 양이 낮을때는 카드뮴 투여에 의한 영향을 많이 받는다고 하였다. 본 연구의 카드뮴 축적량은 카드뮴 섭취량과 배설량을 통한 계산에 의한 결과로 구리 및 철분의 상호작용을 정확히 설명할 수는 없으나 적정수준의 구리와 철분 공급은 체내 카드뮴 축적을 감소시키는 것으로 보여지며, 앞으로 좀 더 다양한 구리와 철분 공급수준에 따른 카드뮴의 독성작용을 살펴보는 연구가 요구된다.

이상의 결과를 종합해볼때 카드뮴 중독은 식품 중의 카드뮴 함량외에 다른 식이 인자의 영향을 크게 받는데, 특히 구리나 철분 등의 무기질이 체내 대사과정에서 상호작용을 함으로써 카드뮴 흡수를 억제시키는데 효과적인 것으로 나타났다. 이러한 무기질의 낮은 섭취는 카드뮴 중독의 피해를 더욱 증가시키게 되므로, 중금속 오염이 날로 증가되는 환경에서는 식이로의 충분한 구리와 철분의 영양상태가 고려되어야 할 것으로 사료된다.

요약 및 결론

카드뮴 독성작용에 대한 구리와 철분의 경감효과를 알아보기 위하여 12주간 40마리의 흰쥐를 4군으로 나누어 실험한 결과에 대한 요약 및 결론은 다음과 같다.

1) 구리와 철분 섭취수준에 따른 사료와 식수 섭취량

및 체중 증가량은 유의적인 차이가 없었으나, 평균 사료 섭취량과 체중 증가량에 있어서 철분 적정군들(ACuAFeCd, LCuAFeCd)이 철분 부족군들(LCuLFeCd, ACuLFeCd)에 비해 높은 경향을 보였다.

2) 적정수준의 구리, 철분군의 혈청, 간장, 신장의 카드뮴 함량 및 소변중 카드뮴 배설량은 구리와/또는 철분 부족군에 비해 낮게 나타났으나, 대변중 카드뮴 배설량은 구리와 철분 적정군(ACuAFeCd)에서 가장 높았다.

3) 카드뮴 섭취량은 구리와 철분 섭취수준에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 계산에 의한 카드뮴 축적량은 구리와 철분 적정군(ACuAFeCd)이 구리와/또는 철분 부족군들(ACuLFeCd, LCuAFeCd, LCuLFeCd)에 비해 유의적으로 낮았다.

이상을 요약해보면 적정수준의 구리와 철분 섭취는 구리와/또는 철분적정섭취시에 비해 변으로의 카드뮴 배설을 증가시킴으로써 혈청, 간장과 신장의 카드뮴 함량을 경감시켰다. 그러므로 카드뮴오염이 심각해지고 있는 현 시점에서 체내 카드뮴 축적을 예방하기 위해 적정수준의 구리와 철분의 섭취가 제안되야 한다.

Literature Cited

1) 국립보건원, 식품중의 미량금속에 관한 조사연구, 29(2) : 365-377, 1992
2) 이용욱. 수질오염, 대기오염, 토양오염에 의한 식품오염. 국민영양(10) pp.23-26, 1986
3) Settle DM and Patterson CC. Lead in albocore : Guide to lead pollution. *Americans Science* 207 : 1167-1176, 1980
4) Friberg L, Piscater M. Cadmium in the environment. 2nd. CRC Press Cleveland in Ohio, 1974
5) Murzkami M, Cain K, Webb M. Cd-metallothionein induced nephropathy : A merphological and autoradiographical study of Cd distribution, the development of tubulat damage and subsquent cell regeneration. *J Appl Toxicol* 5 : 237, 1983
6) Bernard AL, Foulkes EC. Cadmium. Springer-Varlag Berlin Heidelberg, Germany. 1986
7) Lucile E. Chronic toxicity studies I. Cadmium administrated in drinking water to rats. *AMA Archives of Industrial Health* 18 : 228, 1958
8) Kostial K. Cadmium. In : Mertz W, ed. Trace elements in human and animal nutrition(Vol 2), p.319, Academic press, New York, 1986
9) Bremer I. Cadmium toxicity-nutritional influence and the role of metallothionein world. *Rev Nutr Diet* 32 : 165, 1978
10) Thomas AG, John CS. Interaction of cadmium and selenium in rat plasma in vivo and vitro. *Biochim et Biophys Acta* 428 : 113-122, 1976
11) 이순재. 식이 selenium이 납중독된 흰쥐 간장의 항산화적 해독기구에 미치는 영향. 한국노화학회지 1(2) : 125-130, 1991
12) Mahaffey KR. Nutritional factors in lead poisoning. *Nutr Rev* 39 : 353-362, 1981
13) Omori M, Muto Y. Effects of dietary protein, Ca, P, fiber on renal accumulation of exogenous Cd in young rats. *J Nutr Sci Vitamminol* 23 : 361-366, 1978
14) Revis NW, Osborne TR. Dietary protein effects on Cd and metallothionein accumulation in the liver and kidney of rats. *Environ Health Perspect* 54 : 83-92, 1984
15) 김미경 · 이혜영. 식이내 Cd과 단백질 수준이 흰쥐의 체내 단백질 대사 및 Cd 중독에 미치는 영향. 한국영양학회지 21 : 410, 1988
16) 김미경 · 설은영. Chitin과 Chitosan이 흰쥐의 Cadmium중독과 지방대사에 미치는 영향. 한국영양학회지 27(10) : 996-1006, 1994
17) Campbell JK and Mills CF. Effects of dietary cadmium and zinc on rats maintained on diets low in copper. *Proc Nutr Soc* 33, 15A, 1974
18) Hill CH, Matrone G, Payne WL, Barber CW. In vivo interaction of cadmium with copper, zinc and iron. *J Nutr* 80 : 277, 1963
19) Banis RJ, Pond WG, Walter EF, O'Connor JR. Dietary cadmium, iron, and zinc interactions in the growing rat. *Proc Soc Exp Biol Med* 130 : 802-806, 1969
20) Pond WG and Walter EF. Cadmium-induced anemia in growing rats : prevention by oral or parenteral iron. *Nutr Reports Inter* 5(6) : 365-371, 1972
21) Ragon HA. Effects of iron deficiency on the absorption and distribution of lead and cadmium in rats. *J Lab Clin Med* 90(4) : 700-705, 1977
22) Sansi KAO and Pond WG. Pathology of dietary cadmium toxicity in growing rats and preventive effect of injected iron. *Nutr Reports Inter* 9(6) : 407-414, 1974
23) AIN Standards for nutrition studies report. *J Nutr* 107 : 1234-1346, 1977
24) Fitzhugh OG and Meiller FH. Chronic toxicity of cadmium. *J Phamacol & Expert Therap* 72 : 15, 1941
25) 임정남. 식품의 무기성분 분석. 식품과 영양. 농촌진흥청 7(1) : 42-46, 1986
26) Steel RGD and Torrie JH. Principles procedures of statistics. MaGrow-Hill Book Co, New York 1, 1980
27) Richard M, Jacobs ANNO, Lee J, Spivey Fox MR, Bert E and Fry JR. Retention of dietary cadmium and the ameliorative effect of zinc, copper and manganese in Japanese Quail. *J Nutr* 108 : 22-32, 1978
28) Cousins RJ, Barber AK, Trout JR. Cadmium toxicity in growing swine. *J Nutr* 103 : 964-972, 1973

29) Bunn CR and Matrone G. In vivo interactions of Cd, Cu, Zn, and Fe in the mouse and rat. *J Nutr* 90 : 395-399, 1966
30) 승정자. 극미량원소의 영양. 민음사 pp.32-95, 1984
31) Kojima S. Effects of three proteins on absorption of Ca in rats. *Toxicology* 34 : 161, 1985
32) Van Campen DR. Effects of zinc, cadmium, silver and mercury in the absorption and distribution in copper-64 in rats. *J Nutr* 88 : 125, 1966