

## 동물실험에 의한 녹차음료의 카드뮴 및 납 제거효과

최성인 · 이정희 · 이서래  
이화여자대학교 식품영양학과

### Effect of Green Tea Beverage for the Removal of Cadmium and Lead by Animal Experiments

Sung-Inn Choi, Jung-Hi Lee and Su-Rae Lee  
Department of Food and Nutrition, Ewha Woman's University

#### Abstract

Animal experiments were conducted to confirm the suppressive effect of green tea on the intestinal absorption and tissue accumulation of toxic heavy metals in rats. When drinking water contaminated with 500 and 5000 times level of water quality standard for lead or cadmium was administrated to rats for 3 weeks, feed intake and body weight gain were not significantly different among all groups except for high cadmium group. In the relative weights of target organs, kidney and femur showed a significant difference by heavy metal administration and green tea did not influence on the weights. Green tea showed a suppressing effect on the accumulation of heavy metals in target organs, in which the reducing effect in femur was 25~45% for lead, and 42% for cadmium. As calcium content of femur decreased by heavy metal administration was increased in green tea group, it was concluded that heavy metal accumulation in femur was interrupted by tea beverage.

Key words: green tea, Cd & Pb, absorption suppression in rats

#### 서 론

최근 우리나라는 환경오염이 심화되어 우리가 상용하는 음료수나 식품에도 중금속의 오염이 크게 우려되고 있다<sup>(1)</sup>. 일단 체내에 들어온 중금속은 쉽게 배설되지 않아 생물학적 반감기도 대단히 길므로 나이가 들수록 그 축적량은 증가하게 된다. 이들 중금속이 체내에 축적되었을 때에는 체중감소, 빈혈, 장기의 생화학 및 형태학적 변화, 뇌 손상 등의 중독 현상을 일으키게 된다<sup>(2)</sup>. 또한 이들 중금속은 Ca, Fe, Zn, Se 등의 필수 무기 원소와 장내 흡수 단계에서 경쟁적으로 작용하여 조직내 함량을 감소시킨다는 보고가 있다<sup>(3-5)</sup>.

한편 카드뮴이나 납과 같은 유해성 중금속의 중독을 식생활 측면에서 해결하고자 하는 연구가 국내외에서 수행되고 있다. 즉 단백질, 칼슘, 지방, 섬유질 등의 식이인자들이 체내 중금속 대사에 영향을 미쳐 그 분포와 배설을 변화시키는 것으로 보고된 바 있으며<sup>(6,7)</sup> 그 밖에 2,3-dimercaptosuccinic acid, EDTA와 BAL(2,3-dimercaptopropanol)이 chelating agent로 작용해 중금속의 배설을 증가시키고 체내 중금속 함량을 감소시킨다는 보

고 발표되었다<sup>(8-10)</sup>. 한편 녹차엽을 열수침출한 음료를 음용하게 되면 인체 내에서 중금속 이온을 흡착함으로써 중금속에 대한 해독 작용을 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

따라서 본 연구는 막투과법에 의한 중금속 제거효과에 관한 前報<sup>(11)</sup>에 연속된 실험으로서 녹차음료를 음용하였을 때 음료수 및 식품에 오염된 중금속의 장내 흡수 억제와 같은 생리적 효과가 있는지 증명하기 위하여 수행되었다. 즉, 카드뮴 및 납이 오염된 음용수에 녹차음료를 첨가한 후 쥐를 이용한 동물 실험에 의하여 녹차의 중금속 *in vivo* 제거효과를 살펴보았다.

#### 재료 및 방법

##### 실험동물의 사육

생후 1개월된 Sprague-Dawley종의 수컷 흰 쥐 72마리를 실험 시작전 10일간 고형사료(삼양사료 주식회사)로 적응시킨 후 체중(151±29.1 g)에 따라 난괴법으로 8마리씩 9군으로 나누어 3주간 사육하였다(Table 1). 실험 동물은 전 사육기간 중 한 마리씩 분리하여 stainless steel cage에서 사육했으며 cage, 식이 그릇, 물병의 모든 기구는 무기질의 오염을 방지하기 위하여 0.4% EDTA(ethylene diamine tetracetic acid) 용액으로 세척한 다음 탈이온증류수로 헹구고 건조시킨 후 사용하였다. 동물

Corresponding author: Su-Rae Lee, Department of Food and Nutrition, Ewha Woman's University, Seodaemun-gu, Seoul 120-750, Korea

**Table 1. Classification of animal groups for heavy metal experiments**

Code	Experimental groups (metals-beverage)	Heavy metal levels in drinking water
CW	Control-water	0
CdWH	Cd-water	50 ppm Cd
CdTH	Cd-green tea	50 ppm Cd
CdWL	Cd-water	5 ppm Cd
CdTL	Cd-green tea	5 ppm Cd
PbWH	Pb-water	500 ppm Pb
PbTH	Pb-green tea	500 ppm Pb
PbWL	Pb-water	50 ppm Pb
PbTL	Pb-green tea	50 ppm Pb

CW: deionized water, without heavy metals

CdW: Cd chloride in deionized water

CdT: Cd chloride in green tea beverage

PbW: Pb acetate in deionized water

PbT: Pb acetate in green tea beverage

H or L: high or low level of heavy metals

식은 삼양사료주식회사의 고형사료를 제한 없이 먹도록 하였다.

#### 중금속의 투여방법

중금속의 투여는 음료를 통해 급여하였다. 즉, 중금속과 함께 녹차를 투여하는 군의 경우 녹차의 침출조건을 고려하여 90°C로 가열한 탈이온증류수 1l에 20g의 녹차를 넣고 교반한 후 10분간 방치하였다. 이것을 여과지로 여과한후 실온까지 냉각되었을 때 lead acetate [ $Pb(C_2H_3O_2)_2 \cdot 3H_2O$ ] 또는 cadmium chloride ( $CdCl_2 \cdot 2\frac{1}{2}H_2O$ )를 정해진 농도로 용해시켜 공급하였다. Cd용액은 투명하여 급수에 문제가 없었으나 Pb용액은 현탁물이 생겼으므로 충분히 혼든 후 물병에 20 ml씩 넣어주었고 모두 마시게 한 다음 다시 채워주었다. 음료수는 제한없이 마시도록 하였다. 모든 실험동물의 식이섭취량 및 체중은 매주 1회 측정하였고, 식이섭취로 인한 갑작스런 체중변화를 막기 위해 체중 측정 2시간 전에 식이그릇을 빼 주었다.

#### 실험동물에서 각종 장기의 채취

실험기간이 끝난 후 실험동물을 에틸 에테르로 마취시키고 단두(斷頭)로 희생시킨 다음 해부를 용이하게 하기 위해 채혈하였다. 그 후 곧 동물을 해부하여 간, 신장, 대퇴골을 떼어내고 무게를 측정 후 분석시까지 냉동보관하였다. 시료 채취에 사용된 모든 기구는 중금속 오염을 방지하기 위하여 0.4% EDTA용액으로 처리한 후 사용하였다.

#### 각종 장기의 금속함량 분석법

간, 신장, 대퇴골의 중금속 함량: 냉동보관하였던 간, 신장, 대퇴골을 105°C의 건조오븐에서 항량이 될 때까지 건조시킨 후 550°C 머플 전기로에서 24시간 동안 회화

시켜 진한 질산으로 녹인 후 1 N HCl을 넣고 회석하여 Yeager법<sup>(12)</sup>에 의하여 중금속 함량을 측정하였다. 즉, phenol red 지시약과 ammonium citrate buffer(pH 8.5) 5 ml를 넣은 후 ammonium hydroxide를 첨가하여 pH 8.5로 맞추었다. 여기에 10% KCN 1 ml, 2% APDC(ammonium pyrrolidine dithiocarbamate) 1 ml, 수포화 MIBK(methyl isobutyl ketone) 4 ml를 넣고 혼합하여 수분간 방치한 후 상층의 MIBK층이 메스플라스크의 목부분으로 올라올 때까지 벽면을 따라 증류수를 첨가하였다. 상층의 MIBK층을 AAS(atomic absorption spectrophotometer)에 의하여 Pb와 Cd의 농도를 각각 283.3 nm, 228.8 nm에서 측정하였다.

대퇴골의 Ca 함량: 냉동보관 했던 대퇴골을 건조오븐에서 항량이 될 때 까지 건조시킨 후 550°C 머플 전기로에서 24시간 동안 회화시킨 다음 진한 질산과 1 N HCl로 녹인 후 시료의 일정량을 취해 0.5%  $La_2O_3$ (lanthanum oxide) 용액으로 회석하여 AAS로 파장 422.7 nm에서 그 농도를 측정하였다.

## 결과 및 고찰

#### 실험동물의 식이 섭취량과 체중 변화

음료수를 통해 실험동물인 쥐에 투여한 중금속의 농도는 음용수 수질기준의 5,000배인 Pb 500 ppm과 Cd 50 ppm, 500배인 Pb 50 ppm과 Cd 5 ppm이었다. 고농도의 경우는 선행 연구<sup>(6,7)</sup>에 근거해 음료수 형태로 쥐에게 투여했을 때 이들 중금속의 증독 현상이 심하게 나타나는 투여량의 1/2수준이었고 저농도의 경우는 그 농도를 다시 1/10로 낮춘 수준이다. 그러나 본 실험이 진행되는 동안 고농도군의 쥐에서 증독 증상이 매우 심하게 나타나는 것으로 판단되어 사육기간을 초기에 계획하였던 4주에서 3주로 단축하였다. 실험동물의 식이섭취량 및 체중변화는 Table 2, 3과 같다.

식이섭취량은 Pb나 Cd의 투여에 의해 감소하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 다만 Cd을 50 ppm의 고농도로 투여했을 때는 섭취량이 정상군과 비교하여 40%수준 밖에 되지 않아 유의적인 차이를 나타냈다. 동물 발육상태의 종합 결과라고 볼 수 있는 체중증가량에 있어서도 저농도군 모두 중금속의 투여로 인해 큰 차이가 없었으며 Cd을 고농도로 투여한 경우에만 체중이 크게 감소해 정상군과 유의적인 차이를 나타내었다. Cd의 독성이 식이섭취와 체중증가에 영향을 주었음을 알 수 있다.

이러한 식이섭취량 및 체중증가량의 감소는 돼지, 흰 쥐, 닭, 일본메추라기(Japanese quail) 등에게 중금속을 경구 투여 또는 피하주사한 연구에서도 보고되어 있다. 여기에서 Jacob 등<sup>(13)</sup>은 Cd이 열량대사를 방해함으로써 직접적으로 성장저하를 가져온다고 하였으나 대부분의 학자들은<sup>(14,15)</sup> Cd에 의해 식이섭취량이 저하되고 이에 따른 2차적 결과로 체중증가율이 감소된다고 설명하고

**Table 2. Feed consumption and body weight gain of rats in Cd-fed groups**

Group	Feed intake (g/21 days) <sup>1)</sup>	Body weight gain (g/21 days) <sup>1)</sup>
CW	403.5 ± 58.1 <sup>b2)</sup>	110.8 ± 17.3 <sup>b</sup>
CdWH	168.8 ± 60.4 <sup>a</sup>	-23.9 ± 53.1 <sup>a</sup>
CdTH	166.1 ± 42.2 <sup>a</sup>	-24.8 ± 42.5 <sup>a</sup>
CdWL	452.4 ± 68.2 <sup>b</sup>	120.8 ± 18.1 <sup>b</sup>
CdTL	405.1 ± 63.4 <sup>b</sup>	100.4 ± 37.8 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Mean ± S.D.

<sup>2)</sup>Values with different alphabet within the same column are significantly different at α=0.05 by Scheffé test.

**Table 3. Feed consumption and body weight gain of rats in Pb-fed groups**

Group	Feed intake (g/21 days) <sup>1)</sup>	Body weight gain (g/21 days) <sup>1)</sup>
CW	403.5 ± 58.1 <sup>N.S.2)</sup>	110.8 ± 17.3 <sup>N.S.</sup>
PbWH	272.3 ± 46.0	62.4 ± 7.9
PbTH	260.4 ± 53.4	62.5 ± 26.4
PbWL	454.4 ± 57.3	127.9 ± 19.6
PbTL	436.5 ± 34.6	115.7 ± 23.5

<sup>1)</sup>Mean ± S.D.

<sup>2)</sup>Not significant at α=0.05 by Scheffé test.

있다.

두 가지 중금속의 투여군에서 증류수 대신 녹차를 공급한 경우 모든 군에서 유의적인 차이를 나타내지 않았으며 녹차가 중금속의 독성으로 인한 식이 섭취량이나 체중증가의 감소에는 영향을 미치지 못한 것으로 생각된다.

**표적 장기의 무게**

중금속과 녹차음료를 투여한 동물의 희생 직후 표적 장기(target organ)인 간, 신장, 대퇴골의 무게를 측정된 결과는 Table 4, 5와 같다. 여기에서 각종 장기의 무게는 체중에 대한 상대중량으로 표현하였으며 간의 경우 Pb나 Cd의 투여에 의해 장기무게가 약간 증가하는 경향을 보였으나 유의적 차이는 나타나지 않았다. 그러나 신장과 대퇴골에서는 Cd를 고농도인 50 ppm으로 공급한 경우 증류수 대신 녹차를 주었을 때 그 중량이 유의적으로 증가했음을 볼 수 있었다. 이는 신장이 체내 대사산물 또는 생체의 성분(xenobiotics)의 배설기관으로써 정상적 영양 성분이 아닌 polyphenol 등의 녹차성분을 배설하기 위해 기관비대(器官肥大) 현상이 일어난 것으로 생각된다.

납을 투여한 군에서 증류수와 녹차공급군을 비교해 보면 유의적인 차이를 보이지 않아 녹차가 장기무게에는 영향을 주지 않았음을 보여주었다.

**간, 신장, 대퇴골의 중금속 함량**

간, 신장, 대퇴골의 중금속 함량을 분석한 결과는 Table

**Table 4. Relative organ weights of rats in Cd-fed groups (g/100 g body weight<sup>1)</sup>)**

Group	Liver	Kidney	Femur
CW	3.68 ± 0.49 <sup>N.S.3)</sup>	0.83 ± 0.09 <sup>2)</sup>	0.87 ± 0.13 <sup>a</sup>
CdWH	3.83 ± 0.35	1.08 ± 0.21 <sup>a</sup>	1.55 ± 0.39 <sup>a</sup>
CdTH	4.26 ± 0.28	1.19 ± 0.25 <sup>b)</sup>	1.72 ± 0.52 <sup>b</sup>
CdWL	3.55 ± 0.29	0.83 ± 0.58 <sup>a</sup>	0.94 ± 0.34 <sup>a</sup>
CdTL	3.82 ± 0.49	0.87 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.97 ± 0.24 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Mean ± S.D.

<sup>2)</sup>Values with different alphabet within the same column are significantly different at α=0.05 by Scheffé test.

<sup>3)</sup>Not significant at α=0.05 by Scheffé test.

**Table 5. Relative organ weights of rats in Pb-fed groups (g/100 g body weight<sup>1)</sup>)**

Group	Liver	Kidney	Femur
CW	3.68 ± 0.49 <sup>N.S.2)</sup>	0.83 ± 0.09 <sup>N.S.</sup>	0.87 ± 0.13 <sup>N.S.</sup>
PbWH	3.78 ± 0.16	0.92 ± 0.04	0.98 ± 0.17
PbTH	4.33 ± 0.65	1.00 ± 0.18	0.99 ± 0.42
PbWL	3.79 ± 0.32	0.86 ± 0.05	0.89 ± 0.13
PbTL	3.49 ± 0.26	0.91 ± 0.11	0.85 ± 0.23

<sup>1)</sup>Mean ± S.D.

<sup>2)</sup>Not significant at α=0.05 by Scheffé test.

6, 7과 같다. 간에서는 Pb과 Cd를 투여한 군의 중금속 함량이 정상군보다 유의적으로 높게 나타났으며 Cd 고농도 투여군이 저농도 투여군보다 훨씬 높은 농도의 중금속함량을 나타내었다.

신장에서는 Cd를 저농도로 투여한 군을 제외한 전 군에서 중금속 투여에 의하여 Cd나 Pb의 함량이 유의적으로 증가하였다. 특히 Pb 투여시 저농도 투여군보다 고농도 투여군에서 중금속 투여로 인한 중금속 함량에 큰 차이를 나타내고 있으며 녹차투여로 인한 유의적인 중금속 감소효과는 나타나지 않았다.

대퇴골에서는 Pb와 Cd의 모든 군에서 중금속 투여로 인한 함량의 유의적 차이가 나타났으며 Cd 저농도 투여군을 제외한 Pb 고, 저농도 투여군과 Cd 고농도 투여군에서 녹차의 개선 효과를 보여주었다.

중금속 공급군들에서 각 표적장기에 유의적으로 높게 나타난 중금속 함량은 중금속이 여러 조직에 축적된다는 보고들<sup>(16,17)</sup>과 일치하였다. 또한 *in vitro* 실험<sup>(11)</sup>에서 보여준 바와 같은 녹차음용에 의한 중금속 흡수 억제는 실험동물의 각 표적장기에서 중금속의 축적량이 감소한다는 결과로 관찰할 수 있었으며 그 효과는 대퇴골에서 가장 뚜렷하게 나타났다. 따라서 체내 장막(腸膜)을 통한 중금속 흡수과정에서 녹차의 polyphenol 성분과 중금속 간의 chelation 생성기전에 대한 후속 연구가 수행되어야 할 것이다.

**대퇴골의 Ca 함량**

대퇴골에서의 Ca 함량을 분석한 결과는 Table 8과

**Table 6. Cadmium content in target organs of rats in Cd-fed groups** ( $\mu\text{g/g}$  fresh weight<sup>1)</sup>)

Group	Liver	Kidney	Femur
CW	3.29 ± 0.75 <sup>a2)</sup>	4.43 ± 1.39 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.15 <sup>a</sup>
CdWH	64.86 ± 14.50 <sup>c</sup>	21.78 ± 7.95 <sup>b</sup>	50.29 ± 12.30 <sup>c</sup>
CdTH	50.50 ± 15.01 <sup>c</sup>	25.74 ± 17.98 <sup>b</sup>	29.94 ± 7.00 <sup>b</sup>
CdWL	6.75 ± 0.72 <sup>b</sup>	5.18 ± 0.73 <sup>b</sup>	7.90 ± 0.73 <sup>b</sup>
CdTL	5.27 ± 0.87 <sup>b</sup>	4.67 ± 0.69 <sup>a</sup>	7.20 ± 1.27 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Mean ± S.D.<sup>2)</sup>Values with different alphabet within the same column are significantly different at  $\alpha=0.05$  by Scheffé test.**Table 7. Lead content in target organs of rats** ( $\mu\text{g/g}$  fresh weight<sup>1)</sup>)

Group	Liver	Kidney	Femur
CW	15.1 ± 2.6 <sup>a2)</sup>	21.3 ± 1.1 <sup>a</sup>	40.3 ± 3.3 <sup>a</sup>
PbWH	402.3 ± 171.2 <sup>c</sup>	526.1 ± 255.4 <sup>c</sup>	1113.2 ± 351.6 <sup>c</sup>
PbTH	214.2 ± 106.5 <sup>c</sup>	475.6 ± 209.2 <sup>c</sup>	611.8 ± 277.1 <sup>d</sup>
PbWL	79.1 ± 7.8 <sup>b</sup>	63.8 ± 12.6 <sup>b</sup>	122.6 ± 18.0 <sup>c</sup>
PbTL	73.2 ± 21.4 <sup>b</sup>	50.4 ± 7.6 <sup>b</sup>	91.9 ± 12.8 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Mean ± S.D.<sup>2)</sup>Values with different alphabet within the same column are significantly different at  $\alpha=0.05$  by Scheffé test.**Table 8. Calcium content in femur of rats fed on Pb or Cd** ( $\text{mg/g}$  fresh weight<sup>1)</sup>)

Group	Calcium content	Group	Calcium content
CW	194.33 ± 22.71 <sup>c2)</sup>	CW	194.33 ± 22.71 <sup>b</sup>
CdWH	77.61 ± 12.64 <sup>a</sup>	PbWH	77.61 ± 12.23 <sup>a</sup>
CdTH	126.74 ± 15.29 <sup>b</sup>	PbTH	108.02 ± 29.63 <sup>a</sup>
CdWL	93.53 ± 13.94 <sup>a</sup>	PbWL	128.95 ± 7.83 <sup>a</sup>
CdTL	130.92 ± 12.64 <sup>b</sup>	PbTL	152.29 ± 15.29 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Mean ± S.D.<sup>2)</sup>Values with different alphabet within the same column are significantly different at  $\alpha=0.05$  by Scheffé test.

같다. 중금속 투여군에 있어서는 중금속을 투여하지 않은 정상군에 비해 Ca 함량이 현저히 낮게 나타났다. 이는 Cd, Pb와 같은 중금속과 Ca이 흡수, 이동, 축적, 배설되는 과정에서 서로 결합적으로 작용하기 때문에 대퇴골내의 중금속과 Ca 함량이 역의 상관관계를 가진다는 보고<sup>16,17)</sup>로 미루어 볼 때 중금속이 Ca 대사에 장애를 일으켜 뼈의 성장이 방해될 받은 것으로 생각된다. Ca 흡수에 대한 Cd의 영향을 보면 Cd이 직접 장세포에서 1,25-dihydroxycholecalciferol의 작용을 방해하거나 Ca-binding protein의 합성을 억제하여 Ca 흡수를 감소시킨다는 보고가 있다<sup>18)</sup>.

Cd를 음료수로 투여했을 때는 증류수 대신 녹차를 준 경우에 Ca 함량이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 녹차의 polyphenol 성분이 Cd과 chelation을 형성해 대퇴골에 Cd의 축적을 방해하는 효과를 보인 것으로 판단된다.

## 요 약

녹차음료가 음용수나 식품에 오염된 중금속의 장내 흡수 및 체내 축적 억제와 같은 생리적 기능이 있는지를 조사하기 위해 동물실험을 실시하였다. 쥐에게 3주간 수질기준의 5,000배와 500배 수준으로 납과 카드뮴을 오염시킨 음료수를 투여했을 때 식이섭취량과 체중증가량은 카드뮴 고농도 투여군을 제외한 모든 군에서 중금속 투여로 인한 유의적 차이를 나타내지 않았다. 표적장기의 무게는 신장과 대퇴골에서 중금속 투여에 의한 유의적 차이를 나타냈으며 녹차 투여로 인한 장기무게에는 영향을 나타내지 않았다. 표적장기의 중금속 함량에 있어서는 녹차 음용에 의한 장기의 축적억제 효과를 나타냈는데 특히 대퇴골에서 납은 25~45%, 카드뮴은 고농도 투여군에서 42%의 뚜렷한 감소효과를 보였다. 대퇴골의 칼슘함량은 중금속 투여로 크게 낮아졌으나 녹차 투여군에서는 그 함량이 증가하였으므로 녹차 투여로 중금속의 축적이 방해되어 칼슘흡수가 증가했음을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 태평양장학문화재단 1994년도 연구비에 의하여 이루어진 것이며 이에 깊은 감사를 드리는 바이다.

## 문 헌

1. 이서래 : 식품의 안전성 연구. 이화여대 출판부, 제4장 (1993)
2. McDonell, L.R.: *Minerals in Animal and Human Nutrition*. Academic Press, Inc., p.359 (1992)
3. Michael, H.H. and Smith, J.L.: Effect of vitamin D and low dietary calcium on lead uptake and retention in rats. *J. Nutr.*, 111, 694 (1981)
4. Nordberg, M.: General aspects of cadmium: transport, uptake and metabolism by the kidney. *Environ. Health Persp.*, 54, 13 (1984)
5. Washko, P.W. and Cousins, R.J.: Role of dietary calcium and calcium binding protein in cadmium toxicity in rats. *J. Nutr.*, 107, 920 (1977)
6. 이혜영, 김미경 : 식이내 cadmium과 단백질 수준이 흰 쥐의 체내 단백질 대사 및 cadmium 중독에 미치는 영향. *한국영양학회지*, 21, 27 (1988)
7. 김미경, 이혜영 : 납 중독된 흰 쥐에서 식이 단백질 수준 및 재독기간에 따른 재독효과 비교연구. *한국영양학회지*, 22, 185 (1989)
8. Smith, D.R. and Fiegall, A.R.: Stable isotopic tracers of lead mobilized by DMSA chelation in low lead-exposed rats. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 116, 85 (1992)
9. Cantilena, L.R. and Klassen, C.D.: Decreased effectiveness of chelation therapy with time after acute cadmium poisoning. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 63, 173 (1982)

10. Kapur, S.C., Wielopolski, L., Graziano, J.H. and Lolaccono, N.: Influence of 2,3-dimercaptosuccinic acid on gastrointestinal lead absorption and whole body lead retention. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **97**, 525 (1989)
11. 최성인, 이정희, 이서래 : 막투과법에 의한 녹차음료의 카드뮴 및 납 제거효과. *한국식품과학회지*, **26**, 740 (1994)
12. Yeager, D.W., Cholak, J. and Henderson, E.W.: Determination of lead in biological and related materials by atomic absorption spectrophotometry. *Environ. Sci. Technol.*, **5**, 1020 (1971)
13. Jacobs, E.E., Tacob, M., Sandi, D.R. and Bradley, L.B.: Uncoupling of oxidative phosphorylation by cadmium ion. *J. Biol. Chem.*, **223**, 147 (1956)
14. Cousins, R.J., Barber, A.K. and Trout, J.R.: cadmium toxicity in growing swine. *J. Nutr.*, **103**, 964 (1973)
15. Torrason, M. and Foulkes, E.C.: Interaction between calcium and cadmium in the 1,25-dihydroxy vitamin D<sub>3</sub> stimulated rat duodenum. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **75**, 98 (1984)
16. Suzuki, K.T. and Yoshida, A.: Effect of dietary supplementation of iron and ascorbic acid on lead toxicity in rats. *J. Nutr.*, **109**, 982 (1979)
17. Revis, N.W. and Osborne, T.R.: Dietary protein effects on cadmium and metallothionein accumulation in the liver and kidney in rats. *Environ. Health Persp.*, **54**, 83 (1984)
18. Shimizu, M.: Inhibition of vitamin D-stimulated intestinal calcium transport in rats after continuous oral administration of cadmium. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **61**, 297 (1981)

---

(1994년 8월 17일 접수)