

알로에 첨가식이가 흰쥐의 카드뮴 독성에 미치는 영향

김운성·이철호*·김성조**·이주돈·문광현**·백승화**

한국식품위생연구원, *고려대학교 자연자원대학 식품공학과, **원광대학교 농과대학 농화학과

Effect of the *Aloe arborescens* Added-Diet on the Cadmium Toxicity in Rat

Un-Sung Kim, Cherl-Ho Lee*, Seong-Jo Kim**, Joo-Don Lee,
Kwang-Hyun Moon** and Seung-Hwa Baek**

Korea Institute of Food Hygiene

*Department of Food Technology, Korea University

**Department of Agricultural Chemistry, Wonkwang University

Abstract

This study was performed to investigate the effect of *Aloe arborescens* on the cadmium toxicity in rats. Thirty male Sprague-Dawley strains were divided into five groups consisting of a control group, a cadmium treatment group and 3 aloe(0.5%, 0.75%, 1%) treatment groups and observed for 9 weeks. The weight increment of the cadmium and 0.75% aloe group was higher than that of the cadmium treatment group($p<0.01$). The food intake did not show the consistency rule among the experimental groups and the decrement tendency of food intake affected by cadmium feeding group. The decrement tendency of water intake affected by cadmium appeared to be suppressed by aloe treatment, especially cadmium and 0.75% aloe treatment group showed the remarkable increment of water intake. The diet efficiency of the control group was the highest among the experimental groups and that of cadmium and 0.75% aloe group was higher than other aloe treatment groups. The weight of each organ did not show consistency among the experimental groups but only the testicle of cadmium and 0.75% aloe treatment group was heavier than that of the control group. The cadmium accumulation was high in order of kidney>liver>spleen>heart>lung>testicle>brain. The cadmium content of the cadmium treatment group was more than that of cadmium and 0.5% aloe group, cadmium and 0.75% aloe group, cadmium and 1% aloe group. The cadmium content of cadmium and 0.75% aloe group was the lowest among other aloe treatment groups. Therefore, cadmium and 0.75% aloe is the most recommendable aloe treatment to eliminate the cadmium accumulated in organ.

Key words: *Aloe arborescens*, cadmium accumulation, cadmium toxicity, detoxification, tissue of rat

서 론

산업활동의 증대, 도시화로 인한 인구집중 현상 및 농작물 증산을 위하여 이용되는 각종 비료와 중금속을 함유한 농약 등에 의하여 농업용수, 도시하수 및 산업 폐수 그리고 매연에 함께 배출된 Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb 및 Zn 등이 하천 및 대기중의 농도를 증가시키는 원인이 되고 있다. 토양에 함유된 중금속은 산성비에 의하여 유용성이 증대되거나 때문에 식물독성 또는 식품연쇄를 통한 환경오염을 야기하는 원인이 되고 있다⁽¹⁾.

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives는 성인의 경우 식품의 형태로 섭취 가능한 cad-

mium의 허용 범위를 1인당 57~71 µg/day로 설정하였다⁽²⁾. 우리나라에서는 전국적인 cadmium의 식이 섭취량에 대한 보고가 아직 없으나 지역별 cadmium의 섭취 실태 조사^{(3) (4)}에 의하면 1인당 평균 55~84 µg/day로 보고되고 있다. 미국, 유럽, 뉴질랜드, 일본 등에서의 조사 보고에 따르면 cadmium의 식이 섭취량은 1인당 평균 25~75 µg/day로 추정되고 있는데 이는 주로 야채류, 감자, 곡류의 섭취에서 비롯된다고 한다⁽⁵⁾.

체내로 섭취된 cadmium은 쉽게 배설되지 않으며 생물학적 반감기도 약 16년으로 대단히 길므로 나이가 들수록 cadmium의 체내 축적은 증가하게 된다^(7,8). Gross 등은⁽⁹⁾ 사람의 연령이 높아 질수록 간, 신장, 머리카락에서 cadmium의 축적이 많아졌음을 보고하였다. 만성적으로 흡수된 cadmium은 금속을 필요로 하는 효소의 활성을 저해하거나 조직의 형태를 변화시킴으로써 독성 증세를 나타내며 cadmium은 질병의 이환율(morbidity)과 사망율(mortality)을 증가시켜 수명을 감소시키는 요인으로

Corresponding author: Seung-Hwa Baek, Department of Agricultural Chemistry Wonkwang University, 344-2 Shin-yong-Dong, Iksan, Chollabuk-Do 570-749, Korea

작용한다⁽¹⁰⁾.

Cadmium의 독성은 개체의 성별⁽¹¹⁾, 영양상태⁽¹²⁾, 연령⁽¹³⁾, 체내 침입 경로 그리고 cadmium의 형태 및 농도^(14,15) 등에 따라 다르다고 하였으며, 15 ppm의 cadmium이 음식물 및 음용수와 같이 투여되면 타액 분비의 과다 및 오심, 구토 등이 일어난다⁽¹⁶⁾. 보통 cadmium에 노출되면 간장과 신장 장해가 관찰되고⁽¹⁷⁾, 연동운동이 감소되며⁽¹⁸⁾, 분비기관인 갑상선, 타액선과 부신선에도 cadmium이 축적되며 체내 인슐린과 같은 호르몬 대사에도 악영향을 미치며⁽¹⁹⁾, 고환의 염증⁽²⁰⁾과 괴사 및 암⁽²¹⁾을 유발할 뿐만 아니라, 고혈압⁽²²⁾, 심장병⁽²³⁾, 성장저해⁽²⁴⁾, 골연화증⁽²⁵⁾ 및 'Itai itai' 병⁽²⁶⁾ 등을 일으키는 것으로 보고되어 있다.

Suzuki⁽²⁴⁾에 의하면 cadmium의 체외 배출 경로는 소변으로 인한 것과 담즙으로 인한 것이 있는데 1회의 1 mg Cd/kg 또는 그 이상 투여에서는 주로 담즙으로 cadmium이 배설되나, 오랜기간 투여에서는 cadmium이 metallothionein으로 합성되어 Cd의 유동적인 형태가 감소되므로 담즙을 통한 배출이 감소되고 소변으로 cadmium이 배설된다고 보고하였다⁽¹⁶⁾.

이러한 cadmium의 중독을 예방하고 치료하기 위한 식품을 이용한 사례를 보면 인⁽²⁷⁾은 부추, 정⁽²⁸⁾은 양파를 이용하여 독성완화에 끼친 영향에 대하여 실험하였다. 염 등⁽²⁹⁾, 이 등⁽³⁰⁾은 cadmium을 마늘과 여러가지 -SH기화합물을 동시 혹은 이후에 투여한 결과 BAL(British Anti Lewisite, 2,3-dimercapto-1-propanol)이나 DMSA(2,3-dimercaptosuccinic acid)를 투여한 군보다 마늘 투여군이 간, 신장 및 고환에서 적은 양의 cadmium이 축적되었음을 보고하여 식용 가능한 천연자원으로부터 독성완화 효과를 가지는 식품을 찾으려는 노력은 인류 역사를 통하여 오랫동안 이어져 왔다.

외국에서는 민간 약초로 질병치료에 오랫동안 aloe가 사용되었는데 이에 대한 첫 기록은 B.C. 1,500년전 Ebers papyrus에서 찾아볼 수 있으며 동서양의 많은 약학교서에서 다루고 있으며, 그 성분으로는 aloin⁽³¹⁾, anthraquinone⁽³²⁾, aloe ulcin⁽³³⁾, 고분자다당체, 당단백 및 아미노산과 미네랄 등 80여종의 성분들이 포함되어 있다고 알려져 있다⁽³⁴⁾. Aloe의 의학적 효능을 보면 육아조직 형성작용, 살균 및 소염작용⁽³⁵⁾, 항allergy 작용⁽³⁶⁾, 항균작용⁽³⁷⁾, 항종양작용⁽³⁸⁾ 등이 있는 것으로 밝혀지고 있으며 최근 우리나라에서는 그 용도가 화상용 연고, 세제, 피부를 부드럽게 하는 skin toner, 나이트 크림, 손이나 몸에 바르는 lotion, 다행도 크림, aloe vera 샴푸 등의 제조 등 여러분야에서 이용되고 있으며⁽³⁹⁾ 건강보조식품으로도 유용성이 인정되어 많이 시판되고 있다.

이와 같이 aloe에 대한 많은 연구가 보고되었으나 중금속 독성에 대한 aloe의 기능에 대하여 연구가 전혀 이루어지지 않은 점에 착안하여 중금속 독성의 와해를 위하여 이용 가능한지를 구명하고자 실험을 행하였다.

Table 1. The composition of experimental diets and cadmium given each group of male rat

Dietary groups	Treatment		Cd in water (ppm)
	Basal diet (%)	aloe (%)	
Basal Diet	100.00	0	0
B.D. + Cd	100.00	0	100
B.D. + Cd + 0.5% aloe	99.50	0.50	100
B.D. + Cd + 0.75% aloe	99.25	0.75	100
B.D. + Cd + 1% aloe	99.00	1.00	100

재료 및 방법

실험동물의 사육

Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐 30마리를 분양(원광대 학교 의과대학 동물사육실)받아 1주간 가루식이(제일사료 Co.)로 적응시킨 뒤 6마리씩(평균체중 : 197.5±16.09g) 대조군, cadmium 첨가군과 cadmium+0.50% aloe 첨가군, cadmium+0.75% aloe 첨가군, cadmium+1.00% aloe 첨가군 등 모두 5개 군으로 나누었다. 식이에 첨가한 *Aloe arborescens*(제주 백록농산)는 음건후 분말(70 mesh)로 만들어 Table 1과 같이 식이에 첨가하여 잘 섞어 가루 형태로 만들었으며, cadmium은 Cd(NO₃)₂로 Sigma 제품을 cadmium으로 환산하여 100 ppm 되게 3차 종류수에 녹여 자유롭게 섭취케 하였으며 매일 갈아주어 신선도가 유지되도록 하였다. 9주간 사육하는 동안 이용한 기구는 중금속 오염을 방지하기 위하여 10 mM EDTA 용액으로 세척한 후 탈이온 중류수로 행구어 사용하였다.

식이 섭취량 및 체중측정

매 5일마다 일정한 시간에 저울로 식이 섭취량과 체중을 측정하여 식이효율과 총체중 증가량, 평균 체중을 구하였다. 식이효율(Food Efficiency Ratio ; F.E.R.)은 실험 기간 동안 섭취한 사료량을 같은 기간 동안의 체중 증가량으로 나누어 100을 곱하여 구하였다.

각종 조직의 채취

9주 동안 사육한 흰쥐의 조직을 채취하기 위해 ethyl ether로 마취시켜 해부한 뒤 간, 신장, 허파, 비장, 심장, 고환 및 뇌 등을 적출하여 4°C 식염수로 세척하여 여과지로 물기를 제거한 후 무게를 측정한 뒤 냉동실(-20°C)에 보관하여 실험에 사용하였다. 시료채취에 사용한 모든 기구는 중금속 오염을 방지하기 위하여 10 mM EDTA 용액으로 처리후 사용하였다.

Aloe arborescens 분말의 성분분석

Aloe arborescens 분말의 수분, 회분, 조지방, 조단백질, 아미노산 및 안트라퀴논은 식품공전⁽⁴⁰⁾의 실험법에 준하였으며, 식이섬유는 A.O.A.C.법⁽⁴¹⁾에 준하여 분석하였다.

각 장기의 전처리 및 ICP분석조건

조직의 채취에서 얻어진 생체 시료의 cadmium 정량을 위해 시료 조직을 습식분해법⁽⁴²⁾으로 분해하였다. 즉, 동결된 생체시료 0.5g을 시험관에 취하고 $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4$ (v/v, 2 : 1)을 2 mL 가한 뒤 hot plate에서 서서히 가온하여 최종 온도는 70°C로 유지하여 분해 내용물이 무색이 되었을 때 분해를 종료하였다. 분해가 완료된 시료는 냉각한 후 3차 증류수를 가하여 20 mL로 정용하여 분석 시료로 하였으며 공시험(Blank test)을 하여 시험용액을 보정하였다.

Cadmium의 분석에 사용된 기기는 ICP(Inductively Coupled Plasma) Emission Spectro Analyzer(JY 38 Plus ISA, Jobin Yvon, France)로서, carrier gas로는 argon을 사용하였고, 표준용액은 mL당 cadmium을 1000 µg을 함유한 ICP분석용 표준용액(spex plasma standard solution)을 사용하였으며 기기분석 조건은 wavelength spectrum 214.38 nm, gas pressure 70 psi, coolant gas flow rate 12 l/min, Nebulizer(sample gas pressure 40 psi, carrier gas flow rate 0.4 l/min, pump rate 1.5 l/min), integration period 10 sec로 하여 Cd를 분석 하였다.

통계처리

실험군별 SAS package를 이용하여 평균치와 표준편차를 계산하고 분산분석을 한 후 $p < 0.05$ 및 $p < 0.01$ 수준에서 Duncan's multiple range test를 행하여 각 군별 평균값 사이의 유의성을 Pearson's 방법을 이용하여 요인들간의 상관관계를 검증하였다⁽⁴³⁾.

결과 및 고찰

Aloe arborescens 분말의 구성성분

식이에 사용한 *Aloe arborescens* 분말의 성분 및 분석 결과는 Table 2과 같다.

식이 섭취량과 체중 증가율, 식이효율, 물 섭취량, cadmium 섭취량 및 성장률

식이 섭취량과 체중 증가율, 식이효율, 물 섭취량, cadmium 섭취량 및 성장율은 Table 3와 같다.

Table 3에서 보는 바와 같이 식이 섭취량은 0.75% aloe, 1% aloe 첨가군에서 비교적 높았으며 cadmium 첨가군에서 가장 낮은 경향을 보였는데 안⁽²⁷⁾이 부추를 첨가하여 10주간 사육하였던 결과와는 차이가 있었다.

체중 증가량과 식이효율(F.E.R)은 대조군에서 가장 높았으며 cadmium + 0.5% aloe 첨가군 및 cadmium + 1% aloe 첨가군보다 cadmium + 0.75% aloe 첨가군에서 비교적 높았으나 안⁽²⁷⁾의 부추 첨가량이 증가함에 따라 체중 감소가 일어났던 결과와는 차이가 있었다.

물 섭취량은 대조군을 제외한 다른 군에 비해 cadmium + 0.75% aloe 첨가군에서 높았는데 이는 Zenick⁽¹⁵⁾가 흰쥐에 cadmium을 투여할 경우 대조군에 비해 물

Table 2. Chemical compositions of *Aloe arborescens* powder dried in the shade

Ingredient	Contents
Proximate composition	(%)
Moisture	4.2
Anthraquinone	0.7
Fiber	42.8
Ash	15.1
Protein	7.1
Lipid	2.3
Amino acid composition	(µg/g)
Aspartic acid	27.5
Threonine	17.6
Serine	19.7
Glutamic acid	33.3
Proline	15.6
Glycine	30.6
Alanine	19.9
Cystine	7.9
Valine	18.1
Methionine	2.4
Isoleucine	14.6
Leucine	25.2
Tyrosine	9.8
Phenylalanine	6.1
Lysine	7.1
Histidine	5.6
Arginine	9.0

섭취량이 감소한다고 보고한 내용과 일치하였다.

실험군간 Cadmium 섭취량은 0.75% aloe 첨가군이 2.84 µg/day로 다른 실험군에 비하여 가장 많이 섭취하는 사실을 알 수 있었다.

성장율도 마찬가지로 대조군에서 84.8%로 가장 높았으며 다른 군에 비해 cadmium + 0.75% aloe 첨가군에서 약 12% 가량 높은 성장을 보였다. 전체적으로는 cadmium 투여에 의하여 성장이 둔화되는 경향을 보였는데, 이는 Suzuki⁽²⁴⁾, 김⁽⁴⁴⁾ 등의 cadmium을 투여하면 성장이 나빠진다는 결과와 비슷하였다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 전 실험기간 동안 체중의 증가 경향을 보면 대조군 > cadmium + 0.75% aloe 첨가군 > cadmium 첨가군 > cadmium + 0.5% aloe 첨가군 > cadmium + 1% aloe 첨가군순으로 나타나 cadmium만을 먹었던 cadmium 첨가군 보다도 cadmium + 0.75% aloe 첨가군의 체중 증가량이 높았다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 실험기간 동안 실험군들간의 식이 섭취량은 일정한 경향을 인정할 수 없었으나 실험 중반 이후부터 cadmium + 0.75% aloe 첨가군 ≥ cadmium + 1% aloe 첨가군 > 대조군 ≥ cadmium + 0.5% aloe 첨가군 > cadmium 첨가군 순을 보여 cadmium에 의한 식이량의 감소 경향이 나타났다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 실험기간 동안 흰쥐의 물 섭취량은 대조군 > cadmium + 0.75% aloe 첨가군 > cad-

Table 3. Effect of experimental diets on body weight gain, food intake, cadmium intake, water intake, food efficiency ratio of rat fed 9 weeks

Group	Body weight (g)		Weight gain (g/day)	Growth rate (%)	Food intake (g/day)	Cadmium intake ($\mu\text{g}/\text{day}$)	Water intake (ml/day)	F.E.R (feed/gain)
	initial	final						
Basal Diet	¹⁾ 197.5 ± 13.3 ^{ns}	365.0 ± 29.7 ^{a2)}	2.6 ± 0.0 ^a	84.8 ± 5.0 ^a (100.00)	23.9	0.0	36.2	9.01
B.D.+ Cd	197.5 ± 14.0 ^{ns}	295.0 ± 22.0 ^b	1.5 ± 0.0 ^c	49.7 ± 7.6 ^b (58.67)	20.1	2.3	23.1	13.04
B.D.+ Cd + 0.5% aloe	197.5 ± 12.1 ^{ns}	284.2 ± 12.0 ^c	1.3 ± 0.0 ^c	44.6 ± 7.9 ^c (52.64)	20.4	2.4	24.3	14.88
B.D.+ Cd + 0.75% aloe	197.5 ± 18.6 ^{ns}	311.7 ± 25.8 ^b	1.8 ± 0.0 ^b	58.4 ± 4.5 ^b (68.92)	24.6	2.8	28.4	13.59
B.D.+ Cd + 1% aloe	198.3 ± 22.2 ^{ns}	284.2 ± 13.3 ^c	1.3 ± 0.0 ^c	43.6 ± 5.7 ^c (51.50)	24.4	2.6	26.3	17.89

ns: not significantly different

¹⁾Mean ± SD

²⁾Means with the same letters in the same column are not significantly different at the 1% level by Duncan's multiple range test.

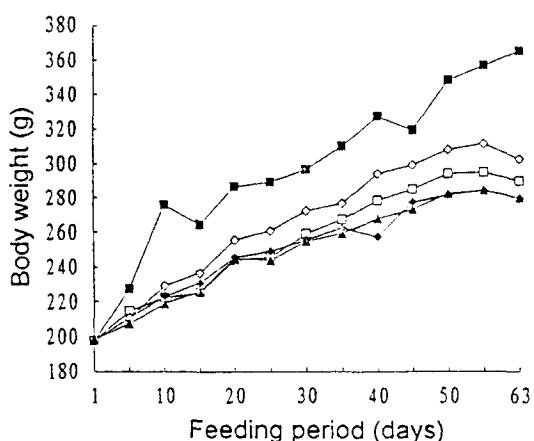


Fig. 1. Mean body weight of male rats fed with experimental diets.

■—■; Control, □—□; Cd 100 ppm, ◆—◆; Cd 100 ppm + 0.5% aloe powder, ○—○; Cd 100 ppm + 0.75% aloe powder, ▲—▲; Cd 100 ppm + 1.00% aloe powder

mium + 1% aloe 첨가군 > cadmium + 0.5% aloe 첨가군 > cadmium 첨가군 순으로 cadmium 첨가에 의한 물 섭취량 감소 현상을 볼 수 있었고 cadmium 첨가군에 비하여 aloe 첨가군에서 물 섭취량이 증가하는 경향이 나타나고 있으며 그 중 cadmium + 0.75% aloe 첨가군에서 뚜렷한 증가를 보이고 있음을 알 수 있었다.

한편 Fig. 2 식이섭취량과 Fig. 3 물섭취량이 40일 이전까지 변동이 심하였던 이유는 식이 및 물의 섭취량 조절능력의 적응 과정으로 생각되며 식이 섭취량이 많으면 물의 섭취량이 감소되고 물의 섭취량이 많으면 사료섭취량이 감소되는 상호보완적 관계를 나타냈으나 40일 이후는 양자 모두 섭취량이 균형을 이루어 변동폭이 완만하게 된 것으로 생각되었다.

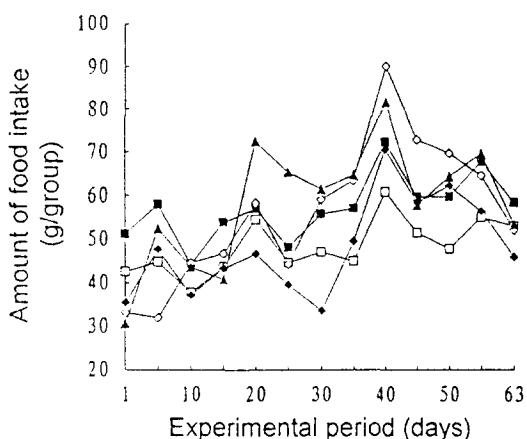


Fig. 2. Variation of food intake during experimental period by male rats.

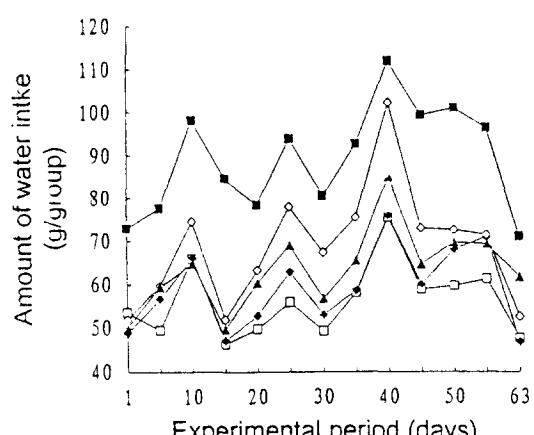


Fig. 3. Variation of water intake during experimental period by male rats.

Table 4. Effect of experimental diets on weight of each organs in rat (unit: g)

Group	Brain	Lung	Heart	Liver	Kidney	Testicle	Spleen
Basal Diet	¹⁾ 1.75±0.15 ^{ns}	2.11±0.34 ^{a2)}	1.18±0.15 ^a	9.37±1.30 ^a	2.43±0.62 ^{ns}	2.40±0.52 ^{ab}	0.92±0.21 ^a
B.D.+ Cd	1.63±0.17 ^{ns}	1.34±0.15 ^b	0.87±0.12 ^b	8.37±0.99 ^{ab}	2.33±0.19 ^{ns}	2.34±0.24 ^{ab}	0.74±0.15 ^{ab}
B.D.+ Cd + 0.5% aloe	1.51±0.21 ^{ns}	1.64±0.21 ^{ab}	0.84±0.10 ^b	7.67±0.99 ^b	2.24±0.25 ^{ns}	2.12±0.34 ^b	0.71±0.11 ^{ab}
B.D.+ Cd + 0.75% aloe	1.66±0.19 ^{ns}	1.73±0.19 ^{ab}	0.95±0.12 ^b	8.80±0.98 ^{ab}	2.41±0.22 ^{ns}	2.63±0.34 ^a	0.77±0.18 ^{ab}
B.D.+ Cd + 1% aloe	1.62±0.18 ^{ns}	1.76±0.56 ^{ab}	0.81±0.03 ^b	7.89±0.70 ^{ab}	2.37±0.20 ^{ns}	2.38±0.21 ^{ab}	0.62±0.12 ^b

ns: not significantly different

¹⁾Mean± SD²⁾Means with the same letters in the same column are not significantly different at the 1% level by Duncan's multiple range test.**Table 5. Relative weight of brain, lung, heart, liver, spleen, testicle, kidney in rat (g/100g body weight)**

Group	Brain	Lung	Heart	Liver	Spleen	Testicle	Kidney
Basal Diet	¹⁾ 0.49±0.04 ^{ns}	0.60±0.11 ^{ab2)}	0.33±0.03 ^a	2.64±0.19 ^{ab}	0.26±0.05 ^{ns}	0.67±0.10 ^b	0.68±0.15 ^b
B.D.+ Cd	0.56±0.10 ^{ns}	0.46±0.04 ^b	0.29±0.02 ^{ab}	2.86±0.10 ^a	0.25±0.05 ^{ns}	0.80±0.03 ^{ab}	0.80±0.06 ^{ab}
B.D.+ Cd + 0.5% aloe	0.49±0.07 ^{ns}	0.54±0.10 ^{ab}	0.28±0.04 ^b	2.53±0.41 ^b	0.23±0.05 ^{ns}	0.69±0.08 ^b	0.74±0.11 ^{ab}
B.D.+ Cd + 0.75% aloe	0.55±0.08 ^{ns}	0.57±0.08 ^{ab}	0.31±0.02 ^{ab}	2.91±0.21 ^a	0.25±0.04 ^{ns}	0.87±0.09 ^a	0.79±0.07 ^{ab}
B.D.+ Cd + 1% aloe	0.58±0.04 ^{ns}	0.63±0.19 ^a	0.29±0.02 ^{ab}	2.84±0.14 ^a	0.22±0.03 ^{ns}	0.86±0.09 ^a	0.86±0.08 ^a

Relative weight: weight of organs in rats calculated in terms of 100g of rat weight

ns: not significantly different

¹⁾Mean± SD²⁾Means with the same letters in the same column are not significantly different at the 1% level by Duncan's multiple range test.

조직별 무게변화

동물의 회생 직후 측정한 뇌, 간, 비장, 심장, 허파, 신장 및 고환의 무게는 Table 4와 같다.

Table 4에서 보는 바와 같이 뇌, 간 무게의 경우 대조군>cadmium+0.75% aloe 첨가군>cadmium 첨가군>cadmium+1% aloe 첨가군>cadmium+0.5% aloe 첨가군 순이어서 안⁽³⁵⁾의 부추 첨가량 증가에 따른 간의 무게가 증가하였던 결과는 본 aloe 첨가의 경우와 차이가 있었고 또 Pharikal 등⁽⁴⁵⁾은 카드뮴을 첨가하면 대조군보다 간의 무게가 증가하였다고 한 보고와 상반된 결과를 보였다.

허파 무게의 경우 대조군>cadmium+1.0% aloe 첨가군>cadmium+0.75% aloe 첨가군>cadmium+0.5% aloe 첨가군>cadmium 첨가군 순이었고, 심장과 비장 무게의 경우 대조군>cadmium+0.75% aloe 첨가군>cadmium 첨가군>cadmium+0.5% aloe 첨가군>cadmium+1% aloe 첨가군 순으로 나타나 Jamall⁽²³⁾의 경우 cadmium 투여군에서 심장의 무게가 증가하였다고 한 결과와 달랐고, 신장 무게의 경우도 Pharikal 등⁽⁴⁵⁾은 cadmium 투여로 증가하였다고 하였으나 본 연구의 결과는 대조군>cadmium+0.75% aloe 첨가군>cadmium+0.5%

aloe 첨가군>cadmium+1% aloe 첨가군>cadmium 첨가군 순이었고, 고환 무게의 경우 cadmium+0.75% aloe 첨가군>대조군>cadmium+1% aloe 첨가군>cadmium 첨가군>cadmium+0.5% aloe 첨가군 순으로 나타났으며 고환의 경우만 대조군에 비하여 특이하게 cadmium+0.75% aloe 첨가군에서 높았는데 이는 Niewenhuis와 Prozialeck⁽⁴⁶⁾가 보고하였던 결과와 유사하였는데 다른 조직에서는 모두 무게가 감소하는 경향을 보였던 결과와는 상이하여 깊이있는 연구가 앞으로 진행되어야 하겠다.

흰쥐의 체중을 100g으로 환산하였을 때 각 조직들의 상대적인 무게를 구한 결과는 Table 5와 같다.

Table 5에서 보는 바와 같이 실험군들간 분산분석과 다중검정을 행한 결과 뇌와 비장은 실험군간에 유의성을 인정할 수 없었으나, 뇌 무게의 경우 대조군보다 cadmium을 음용한 모든 실험군에서 미약한 증가를 보였고, 비장의 경우는 뇌와 정반대의 결과를 나타내어 대조군이 약간 높았다. 허파의 무게는 cadmium+1% aloe 첨가군이 그 외의 cadmium 및 aloe 첨가군보다 높았고, 심장의 무게는 대조군이 cadmium 및 cadmium+aloe 첨가군보다 약간 높았고, 간의 무게는 대조군과 cadmium

Table 6. Effect of experimental diets on cadmium contents in organs of rats (unit: ppm)

Group	Brain	Lung	Heart	Liver	Spleen	Testicle	Kidney
Basal Diet	¹⁾ 0.27±0.00 ^c	0.34±0.01 ^d	0.29±0.02 ^e	0.76±0.01 ^d	0.84±0.01 ^c	0.33±0.02 ^{g2)}	1.03±0.03 ^e
B.D.+Cd	0.76±0.01 ^a	1.60±0.02 ^a	2.07±0.05 ^a	56.12±0.88 ^a	5.03±0.10 ^a	1.11±0.03 ^a	60.35±0.28 ^a
B.D.+Cd +0.5% aloe	0.53±0.01 ^c	1.30±0.01 ^c	1.74±0.05 ^c	51.95±1.16 ^b	4.61±0.15 ^b	0.99±0.02 ^b	53.73±0.51 ^c
B.D.+Cd +0.75% aloe	0.50±0.01 ^d	1.27±0.01 ^c	1.64±0.02 ^d	45.33±0.99 ^c	4.60±0.29 ^b	0.85±0.04 ^c	51.85±0.36 ^d
B.D.+Cd +1% aloe	0.56±0.01 ^b	1.38±0.01 ^b	1.99±0.03 ^b	54.83±0.68 ^a	4.86±0.18 ^{ab}	1.02±0.03 ^b	58.07±1.41 ^b

ns: not significantly different

¹⁾Mean± SD²⁾Means with the same letters in the same column are not significantly different at the 1% level by Duncan's multiple range test.**Table 7. Effect of experimental diets on the total accumulated cadmium amounts in organs of rat (unit: µg)**

Group	Brain	Lung	Heart	Liver	Spleen	Testicle	Kidney
Basal Diet	¹⁾ 0.48±0.04 ^c	0.74±0.12 ^b	0.34±0.04 ^c	7.14±0.81 ^b	0.78±0.18 ^b	0.80±0.17 ^{c2)}	2.51±0.66 ^c
B.D.+Cd	1.24±0.15 ^a	2.15±0.26 ^a	1.82±0.26 ^a	470.24±60.50 ^a	3.69±0.68 ^a	2.62±0.31 ^a	141.06±11.59 ^a
B.D.+Cd +0.5% aloe	0.81±0.12 ^b	2.14±0.28 ^a	1.47±0.16 ^b	398.06±47.17 ^a	3.30±0.54 ^a	2.04±0.41 ^b	120.45±13.28 ^b
B.D.+Cd +0.75% aloe	0.82±0.10 ^b	2.22±0.24 ^a	1.56±0.21 ^{ab}	399.63±51.92 ^a	3.53±0.86 ^a	2.24±0.36 ^{ab}	124.90±12.26 ^{ab}
B.D.+Cd +1% aloe	0.92±0.11 ^b	2.44±0.75 ^a	1.61±0.07 ^{ab}	431.25±35.50 ^a	3.02±0.53 ^a	2.43±0.26 ^{ab}	138.31±13.89 ^{ab}

ns: not significantly different

¹⁾Mean± SD²⁾Means with the same letters in the same column are not significantly different at the 1% level by Duncan's multiple range test.

및 cadmium + 0.5% aloe 첨가군이 그 외의 군보다 낮았고, 고환과 신장 무게는 cadmium 및 cadmium + aloe 첨가군이 대조군보다 높았는데 그 중 cadmium + 0.5% aloe 첨가군이 대조군 무게에 가까운 결과를 보였다. 모든 조직의 경우 실험군간에 5% 수준에서 유의성이 인정되었으나, 특히 aloe 첨가군들 사이에는 cadmium + 0.5% aloe 첨가군의 간과 고환의 무게증가량이 낮았다.

각 조직의 cadmium 함량

각 조직의 cadmium 함량을 분석한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6에서 보는 바와 같이 조직 총 cadmium의 함량은 신장>간>비장>심장>허파>고환>뇌 순이었고, 경구 섭취된 식이의 분해, 흡수 및 배설에 관여하는 조직인 비장, 간, 신장에서 cadmium의 축적 함량이 비교적 높았다. cadmium + 0.5% aloe, cadmium + 0.75% aloe 및 cadmium + 1% aloe를 첨가한 식이를 주었던 실험군들의 모든 조직에서 cadmium 첨가군보다 cadmium의 함량이 낮아 aloe 섭취가 cadmium의 조직 내 축적을 억제하는 것으로 나타났고, 특히 cadmium + 0.75% aloe 첨가군의 뇌, 허파, 심장, 간, 비장, 고환 및 신장에서 cadmium

함량을 기준하여 대조군과 비교하여 본 바 각각 1.8, 3.6, 5.8, 59.4, 5.3, 2.5, 50.1배로 나타나 다른 실험 군보다도 Cd 축적량이 낮았음을 알 수 있었다. 한편 cadmium의 조직 내 축적은 Suzuki 등⁽²⁴⁾의 보고에 의하면 신장, 간 및 고환에 많이 축적된다고 하였으나 본 연구의 결과는 신장, 간 및 비장에 cadmium의 함량이 높아 신장과 간의 경우는 일치하였으나 고환보다 비장이 더 많이 축적되는 경향을 보였다. 또 aloe 첨가군의 모든 조직에서 cadmium의 축적이 cadmium 첨가군보다 낮았던 것은 aloe의 성분 중 무기물, 섬유질, 다당류, 단백질, 비타민 및 함황 아미노산 등과 결합하여 의하여 서서히 체외로 배출되었기 때문으로 Koyozumi⁽⁴⁷⁾와 이 등⁽³⁰⁾의 보고에 의하여 추측할 수 있었다. 실험식이에 첨가한 aloe의 효과를 검정하기 위하여 Duncan 다중검정을 행한 바 실험군들간에 1% 수준에서 유의성이 인정되었다.

각 조직들의 cadmium 함량을 각 조직의 무게로 곱하여 얻은 총 cadmium 함량은 Table 7과 같다.

Table 7에서 보는 바와 같이 각 조직에 존재하는 총 cadmium 함량을 보면 간>신장>비장>고환>허파>심장>뇌의 순으로 나타나 간과 신장에 cadmium이 제일 많이 존재하는 것으로 나타났다. 허파, 간 및 비장의

Table 8. Correlation coefficients among various components in rat

	W bra.	W lun.	W hea.	W liv.	W spl.	W kid.	W tes.	Cd br.	Cd lu.	Cd he.	Cd sp.	Cd li.	Cd ki.	Cd te.	We ga.	Cd in.	Al in.
Weight brain	—																
Weight lung	0.010	—															
Weight heart	0.007	0.252	—														
Weight liver	0.284	0.283	0.402*	—													
Weight spleen	0.009	0.238	0.339	0.255	—												
Weight kidney	0.182	0.319	0.107	0.570**	0.044	—											
Weight testicle	0.365**	0.317	0.012	0.457**	0.123	0.660***	—										
Cd in brain	0.525**	—	0.410*	—	0.397*	0.256	—0.093	0.205	0.364*	—							
Cd in lung	0.122	0.287	—	0.358*	0.246	0.021	0.429*	0.545**	0.516**	—							
Cd in heart	0.171	—0.227	—	0.327	0.270	—0.139	0.390*	0.461**	0.768**	0.794**	—						
Cd in spleen	0.171	—0.192	—	0.423*	0.312	—0.132	0.416*	0.438*	0.746**	0.811**	0.977**	—					
Cd in liver	0.109	—0.145	—	0.410*	0.221	0.252	0.253	0.450*	0.655**	0.786**	0.861**	0.880**	—				
Cd in kidney	0.205	—0.148	—	0.411*	0.304	—0.161	0.495**	0.484**	0.725**	0.830**	0.967**	0.984**	0.852**	—			
Cd in testicle	0.232	—0.116	—	0.358*	0.264	—0.052	0.381*	0.630**	0.787**	0.803**	0.931**	0.911**	0.849**	0.907**	—		
Weight gain	—0.450*	—0.061	0.454*	—0.113	0.041	—0.341	—0.281	—0.500**	—0.599**	—0.534**	—0.606**	—0.558**	—0.634**	—0.471**	—		
Cd intake	0.286	—0.086	—	0.423*	0.257	—0.149	0.432*	0.524**	0.631**	0.825**	0.904**	0.930**	0.847**	0.947**	0.836**	—0.684**	—
Aloe intake	0.239	0.302	—0.213	0.203	—0.208	0.374*	0.495**	0.044	0.563**	0.412*	0.454*	0.349	0.507**	0.404*	—0.395*	0.653**	—

*p<0.05, **p<0.01

조직에 함유된 총 cadmium 농도는 cadmium+aloe 첨가군들이 cadmium 첨가군보다 낮아지는 경향을 보이고 있으나 cadmium+aloe 첨가군들 사이에 유의성을 인정할 수 없었다. 뇌의 경우 cadmium 첨가군에 비하여 cadmium+aloe 첨가군이 조직 중 cadmium 함량을 유의하게 감소시키고 있음을 알 수 있었으며, 특히 cadmium+0.5% aloe 첨가군에서 제일 낮았다.

심장, 고환 및 신장의 경우 모두 cadmium 첨가군보다 cadmium+aloe 첨가군이 모두 감소하는 경향을 보이고 있으며 cadmium+0.5% aloe 첨가군에서 뚜렷한 함량 차이를 인정할 수 있었다. 각 조직 중에 함유된 cadmium 추정량은 위의 결과로부터 0.5% aloe 첨가수준이 효과적으로 감소시키고 있는 것으로 나타나 조직 중 cadmium 농도(Table 6)와 조직의 무게와 조직 중 cadmium 함량으로 곱하여 계산된 cadmium 농도(Table 7) 중 어느 결과가 효과적으로 독성 완화에 영향을 끼치는지를 구명하기 위하여 보다 깊이 있는 연구가 요구된다 하겠으나 Table 3의 1일 cadmium 섭취량과 Table 6, 7의 결과로 미루어 독성 완화 효과를 나타내는 aloe 첨가수준은 0.75%인 것으로 생각되었다.

연구된 모든 자료들 사이의 상관 관계 분석을 행한 결과는 Table 8와 같다.

Table 8에서 보는 바와 같이 각 조직의 Cd 함량들 사이에 유의성 있는 정상관을 나타내 특정조직에 축적량 증가는 다른 조직에서도 축적량이 증가되었고, 체중 증가와의 관계는 유의성 있는 부의 상관을 나타내고 있어 축적량이 증가할수록 체중감소가 이루어졌으며 Cd 섭취량 증가에 따라 축적량은 유의성 있는 정상관이 나타남을 알 수 있었다. Aloe의 0.5, 0.75, 1% 수준 섭취로 Cd 섭취구보다 축적량(Table 6, 7)이 감소됨을 알 수 있었으나, aloe의 섭취량 증가는 Cd 축적 억제능력을 감소시키는 유의성 있는 정상관을 나타내었다.

요 약

Aloe 첨가식이가 흰쥐의 cadmium 독성에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다. 실험 동물로 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐 30마리를 사용했으며 대조군과 cadmium 첨가군 및 3개의 Aloe arborescens 첨가군으로 나누었다. 각 실험군을 6마리로 나누어 9주간 실험을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

체중의 증가 경향은 cadmium 첨가군보다 cadmium+0.75% aloe 첨가군이 높았다($p<0.01$). 식이 섭취량은 실험군들간에 일정한 경향을 인정할 수 없었으며 cadmium 섭취에 의한 식이량은 감소되었다. 물 섭취량은 대조군>cadmium+0.75% aloe 첨가군>cadmium+1% aloe 첨가군>cadmium+0.5% aloe 첨가군>cadmium 첨가군의 순으로 cadmium 섭취에 의한 물 섭취량 감소를 나타냈으며 cadmium 첨가군에 비하여 aloe 첨가군, 특히 cadmium+0.75% aloe 첨가군에서 뚜렷한 증가를

보였다. 식이 효율은 대조군에서 가장 높았으며 cadmium+aloe 첨가군들중, 특히 cadmium+0.75% aloe 첨가군에서 비교적 높았다. 각 장기들의 무게는 실험군들간에 일정한 경향을 보이지 않았으나 고환의 경우에만 대조군에 비하여 cadmium+0.75% aloe 첨가군에서 높았다. 조직 중의 cadmium 함량은 신장>간>비장>심장>하파>고환>뇌의 순으로 높았다. Cadmium 첨가군에 비하여 cadmium+0.5% aloe, cadmium+0.75% aloe, cadmium+1% aloe 첨가군에서 낮았고, 특히 cadmium+0.75% aloe 첨가군이 다른 aloe 첨가군에 비하여 낮은 함량을 보여 cadmium 축적 억제를 위한 적당한 수준임을 알 수 있었다.

문 헌

1. 김성조, 백승화, 국중화: 식이내 cadmium 수준차이에 따른 생쥐 체내에서의 cadmium 축적에 관한 연구. 한국환경농학회지, 10, 77 (1991)
2. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives: Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, lead and cadmium. WHO Tech. Rep. Ser., 505, 20 (1972)
3. 염용태, 배은상, 윤배중: 농작물중 중금속 오염도와 1일 섭취량 및 허용기준 설정에 대한 연구. 대한예방의학회지, 13, 3 (1980)
4. 송미란, 이서래: 서울시내 대중식사로부터 중금속의 총 섭취량 평가. 한국식품과학회지, 18, 458 (1986)
5. 김정현, 조남준, 박성배: 대중음식 중 중금속 함량. 한국영양식량학회지, 18, 316 (1990)
6. Scheuhammer, A.M.: The dose-dependant of cadmium into organs of Japanese quail following oral administration. Toxicol. Appl. Pharmacol., 95, 153 (1988)
7. Webb, M.: Protection by zinc against cadmium toxicity. Biochem. Pharmacol., 21, 2751 (1972)
8. 장성길: 한국인 각 장기 조직중의 미량중금속 원소 분포. 중앙대학교 대학원 박사학위 논문 (1983)
9. Gross, S.B., Yeager, D.W. and Middendorf, M.S.: Cadmium in liver, kidney, and hair of humans, fetal through old age. J. Toxicol. Environ. Health, 2, 153 (1976)
10. Friberg, L.: Health hazards in the manufacture of alkaline accumulators with special reference to chronic cadmium poisoning. Acta. Med. Scand., 138, 1 (1950)
11. Kello, D., Dekanic, D. and Kostial, K.: Influence of sex and dietary calcium on intestinal cadmium absorption in rats. Arch. Environ. Health, 34, January, 30 (1979)
12. Muller, L. and Ohnesorge, F.K.: Different response of liver parenchymal cells from starved and fed rats to cadmium. Toxicology, 25, 141 (1982)
13. Wong, K.L. and Klassen, C.D.: Age difference in the susceptibility to cadmium induced testicular damage in rats. Toxicol. Appl. Pharmacol., 55, 456 (1980)
14. Cherian, M.G., Goyer, R.A. and Valberg, L.: Gastrointestinal absorption and organ distribution of oral cadmium chloride and cadmium-metallotionein in mice. J. Toxicol. Environ. Health, 4, 861 (1978)
15. Zenick, H., Hastings, L., Goldsmith, M. and Nieuwenhuis, R.J.: Chronic cadmium exposure: relation to

- male reproductive toxicity and subsequent fetal outcome. *J. Toxicol. Environ. Health.*, **9**, 187 (1982)
16. Andersen, O. and Nielsen, J.B.: Effects of diethyldithiocarbamate on the toxicokinetics of cadmium chloride in mice. *Toxicology*, **55**, 1 (1989)
 17. Berlin, M. and Ullberg, S.: The fate of Cd in the mouse. *Arch. Environ. Health*, **7**, 686 (1963)
 18. Andersen, O., Nielsen, J.B. and Svendsen, P.: Oral cadmium chloride intoxication in mice: effects of dose on tissue damage, intestinal absorption and relative organ distribution. *Toxicology*, **48**, 225 (1988)
 19. Ghafghazi, T. and Mennear, J.H.: Effects of acute and subacute cadmium administration on carbohydrate metabolism in mice. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **26**, 231 (1973)
 20. Niewenhuis, R.J. and Meineke, H.A.: Sensitivity of locally regenerated testicular vessels to cadmium. *Arch. Andol.*, **16**, 13 (1986)
 21. Koizumi, T. and Waalkes, M.P.: Effects of Zinc on the distribution and toxicity of cadmium in isolated interstitial cells of the rat testis. *Toxicology*, **56**, 137 (1989)
 22. Perry, H.M. Jr. and Erlanger, M.W.: Metal-induced hypertension following chronic feeding of low doses of cadmium and mercury. *J. Lab. Clin. Med.*, **83**, 541 (1974)
 23. Jamall, I.S. and Smith, J.C.: Effects of cadmium and glutathione peroxidase, superoxide dismutase, and lipid peroxidation in the rat heart, a possible mechanism of cadmium cardiotoxicity. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **80**, 33 (1985)
 24. Suzuki, Y.: Cadmium metabolism and toxicity in rats after long-term subcutaneous administration. *J. Toxicol. Environ. Health*, **6**, 469 (1980)
 25. Itokawa, Y.: Bone change in experimental chronic cadmium poisoning radiological and biochemical approaches. *Arch. Environ. Health*, **26**(5), 241 (1973)
 26. Nogawa, K., Ishizaki, A. and Kobayashi, E.: A comparison between health effects of cadmium and cadmium concentration in urine among inhabitants of the Itai-itai disease endemic district. *Environmental Research*, **18**, 397 (1979)
 27. 안영미: 흰쥐의 카드뮴 독성에 대한 부추(*Allium odorum L.*)의 방어효과에 관한 연구. 명지대학교 박사학위 논문 (1990)
 28. 정우일: Mouse의 간과 신장에 흡수되는 카드뮴에 대한 differential pluse stepping polarography 분석. 원광대학교 대학원 석사학위논문 (1989)
 29. 염순택, 송동빈, 차철환: 白鼠의 카드뮴 중독시 BAL 및 DMSA와 마늘의 방어효과에 대한 비교 연구. 고대의대 논문집, **23**, 109 (1986)
 30. 이영옥, 차철환: 白鼠의 카드뮴 중독시 마늘, D-penicilamine 및 N-acetyl-DL-penicillamine의 방어효과에 관한 연구. 고대의대 논문집, **23**, 43 (1986)
 31. Rosenthaler, L.: Ober die konsstitution der Aloine. *Arch. Pharm.*, **270**, 214 (1932)
 32. Yagi, A.: Studies on the constituents of *Aloe Saponaria* HAW IV. The structures of bianthraquinoid pigments. *Chem. Pharm. Bull.*, **26**, 1111 (1978)
 33. Yamamoto, I.: Aloe ulcin, a new principle of cape aloe and gastrointestinal function, especially experimental ulcer in rats. *J. Med. Soc. Toho.*, **20**, 31 August (1973)
 34. Klein, A.D. and Penneys, N.S.: Aloe vera. *J. Am. Acad. Derm.*, **18**, 714 (1988)
 35. Fujita, K.: Properties of a carboxypeptidase from aloe. *Biochemical Pharmacol.*, **28**, 1261 (1979).
 36. Yamamoto, I.: A new substance. Aloe ulcin, its chemical properties and inhibition on histamine synthetic enzyme. *J. Med. Soc. Toho.*, **17**, 3 August (1970)
 37. Soeda, M., Otomo, M., Ome, M. and Kawashima, K.: Studies on antibacterial and anti-fungal activities of Cape Aloe. *Jap. J. Bacteriol.*, **21**, 609 (1966)
 38. Winters, W.D., Benavides, R. and Clouse, W.J.: Effects of aloe extracts on human normal and tumor cell in vitro. *Economic Botany*, **35**, 89 (1981).
 39. Anonymous Promotional Literature, *Aloe vera, Nature's Own Medicine Plant Aloe Products*. Inc., Houston, Texas, p.7 (1966)
 40. 보건사회부, 식품공전, 한국식품공업협회, p.460(1994)
 41. A. O. A. C.: Official Methods of Analysis., 16th. ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. Chapter 32, 5 (1995)
 42. Ganje, T.J. and Page, A.L.: Rapid acid dissolution of plant tissue for cadmium determination by atomic absorption spectrophotometry. *At. Absorpt. Newslett.* **13**, 131 (1974)
 43. SAS: 'SAS series package', SAS Institute Inc., Cary, nc (1987)
 44. 김명두, 송동빈, 차철환: 백서의 카드뮴 중독시 마늘, dimercaptosuccinic acid 및 N-acetyl-DL-penicillamine 두여가 카드뮴 배설에 미치는 영향. 고대의대논문집, **24**, 223 (1987)
 45. Pharikal, K., Das, P.C., Dey, C.D. and Dasgupta, S.: Tissue ascorbate as a metabolic marker in cadmium toxicity. *Int. J. Vit. Nutr. Res.*, **58**, 306 (1988)
 46. Niewenhuis, R.J. and Prozialeck, W.C.: Calmodulin inhibitors protect against cadmium induced testicular damage in mice. *Bio. Rep.*, **37**, 127 (1987)
 47. Koyozumi, M., Mishima, M. and Sumiko, N.: Studies on poisonous metals. 4.: Effect of dietary fibers on absorption of cadmium in rats. *Chem. Pharm. Bull.*, **30**, 4494 (1982)