

돼지고기 급여가 납에 중독된 흰쥐의 해독과정에 미치는 영향

노정해 · 한찬규

한국식품연구원

Effects of Pork on Feeding on Detoxification Process in Rats Intoxicated with Lead

J. H. Rho and C. K. Han

Korea Food Research Institute, Seongnam, 463-746, Korea

ABSTRACT

To investigate the detoxification effect of pork on the lead toxicity, the comparison tests were performed, in which Sprague Dawley(SD) rats were clinically treated with lead during the first 7 weeks and observed the detoxification effects induced by pork feeding during the second 7 weeks. As results of lead intoxication, decreases of body weight, hemoglobin and hematocrit and the increases of weight and relative organ weight of liver and kidney were observed. Also the accumulation of lead in tibia, kidney and liver was recognized. In case of pork feeding at detoxification stage the feed efficiency was significantly increased in pork feeding group rats than the those of control rats. The pork feeding seemed to be a factor affecting relative organ weight of liver and kidney(p<0.05). It was shown that the factors affecting the accumulation of lead in liver included the lead intoxication(p<0.0005), pork feeding(p<0.0005) and interaction of above two(p<0.0005). It was observed that the content of DALAD in liver increased with significance in pork fed group compared with control group regardless of lead treatment levels. From this result, it was considered that pork feeding improved the detoxification process of SD rats intoxicated with lead.

(Key words : Pb, Pork, Lead accumulation, Intoxication)

I. 서 론

납 등의 중금속은 인체 내에서의 반감기가 14년 내지 30년이므로 체외 배설이 아주 느린 반면, 중금속 섭취를 줄일 수 있는 생활환경 관련 기술의 개발은 거의 이루어지지 않고 있다. 고도 산업화 사회에서 부수적으로 발생하는 환경 오염 물질인 카드뮴, 납 등의 중금속 상승으로 산업계에 근무하는 근로자들이 중금속에 오염될 확률이 높으며 또한 공단뿐만 아니라 대도시 주거자들은 매일 분출되는 자동차 매연 등의 공해축적으로 도시 주거환경은 날로

악화되고 있다. 최근에는 낚시에서 쓰여진 납 추의 방기로 인한 수질 오염과 그 먹이사슬을 통해 음식물을 통한 납 노출을 피하기 어려운 상황이다. 우리가 매일 먹고 마시는 공기, 물, 식품에서 오는 중금속의 체내 축적을 가능한 최소화함으로써 건강한 사회적 환경을 조성할 필요성이 있다(서 등, 1993). 우리나라에서 대중 음식 중 중금속 함량은 김 등(1989)이 조사 보고했는데, 그 결과 체중 kg당 섭취량에서 납이 평균 395 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 으로 FAO 최대 일일 허용치 수준인 428 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 에 근접함을 알 수 있다.

Corresponding author : Jeonghae Rho, Korea Food Research Institute BaekHyun-Dong 46-1 Bundang-Gu, SeongNam, Korea
Tel : 82-31-780-9060, Fax : 82-31-709-9876, E-mail : drno@kfri.re.kr

납의 독성에 관해서는 빈혈, 신경장애, 신장 기능 장애, 간 기능장애, 성장 장애, 위장염, 태아기형, 유산 등이 보고되고 있다. 납 중독이 발생하면 적혈구 수명이 감소하고, 적혈구막의 Na-K ATPase의 감소를 일으켜 세포막의 기능을 상실케 함으로서 용혈성 빈혈과 망상적혈구 증가가 나타나게 되고, 조혈인자의 저해로 세포수가 급격히 감소하게 된다(Waldron, 1980; Hansan와 Hernberg, 1967).

Myloie 등 (1977)은 식이 중 단백질 수준과 아미노산 첨가 시 혈액과 조직내 납 축적과의 관계를 연구하였는데 저단백질구는 정상단백질구 보다 심각한 중독현상을 보였고, methionine과 cystine의 첨가로 납 독성이 완화되는 것을 관찰하였다. 김과 김(1987)은 납과 지방수준을 달리한 식이로 사육한 흰쥐의 체내 대사에 관한 연구에서 지방섭취가 많으면 Pb 섭취가 증가된다고 보고했다. Donaldson(1991)은 납 중독 시 사료에 항산화제(ethoxyquin)를 첨가할 때 납 중독에 의한 성장억제를 완화할 수 있다고 보고했다. Hu와 Kies(1989)는 납 수준과 단백질 급원(대두단백질, 카제인)과의 비교시험에서 뇌 조직 중 납 함량은 대두단백질 급여시 보다도 카제인 급여 시에 유의하게 축적량이 높았다고 보고하였다.

Suzuki과 Yoshida(1979)은 쥐에의 납 중독 현상에다 철 400 ppm과 1%의 ascorbic acid를 첨가 시에 중독 증상이 완화됐다고 보고했다. 한편 Smith 등(1978)은 Vitamin D가 생체 내에서 납 흡수를 더 촉진시키는 것으로 나타났고 Cerklewski과 Forbes(1976)의 결과를 보면 7주간의 쥐 실험에서 사료의 아연수준이 증가할수록 납 중독 현상은 감소되었다. Blake과 Mann(1983)은 저 칼슘 식이를 섭취한 사람의 경우에 우유는 납 흡수를 감소시켰다고 보고하였다.

기능성 식품 등을 통한 납 중독 완화에 대한 시도가 우리나라에서 주로 이루어졌는데 이에 대한 연구로는 양파즙(서 등, 1993), 마늘즙(서와 서, 2005), 갈근 추출물(이 등, 1997), 인삼(김 등, 1986), 녹차, 감잎, 홍화 등의 전통차(김 등, 2003) 등이 보고되었다.

지금까지 중금속 중독 시 해독기작에 관한

연구는 그 관심에 비하여 초보적인 수준으로서 특히 전래적으로 중금속과 관련되어 널리 쓰여 오고 있는 돼지고기나 돼지기름 등 육류섭취시 중금속 해독관련 연구보고는 돼지고기와 카드뮴에 관한 보고(노 등, 2005)를 제외하고 거의 전무한 상태이다. 이에 이 연구에서는 돼지고기 섭취 시 우리 체내에 축적되는 납의 중독을 완화시킬 수 있는가를 살피고자 한다. 본 연구의 효과적인 수행을 위하여, 중금속을 납으로 이용하여, 흰쥐를 이용한 납의 임상적인 중독 현상을 유발시키고 돼지고기 투여에 의한 납 해독 효과를 비교하는 시험을 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험동물 및 사양관리

돼지고기가 납에 중독 된 쥐에서 해독 시에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 처음 7주 동안 식이에 납을 첨가하여 중독을 유발시켰고, 이 중 일부 쥐를 희생시켜 중독을 확인하였고 계속하여 7주 동안은 납 섭취를 중단시켜, 해독이 저절로 이루어지도록 하였다. 이 해독과정 동안 대조식이의 단백질 급원인 카제인을 돼지고기로 완전 대체시켜 돼지고기가 해독에 미치는 영향을 보고자 하였다. 실험배치는 Table 1과 같다.

실험동물의 경우 6주령된 수컷 흰쥐를 중앙 실험동물(주)로부터 구입한 후 평균체중이 168.97 ± 4.68 g 내외인 male Sprague-Dawley rats를 90수 공시하였다. 완전임의배치법에 의해 처리구 별로 체중이 균일하게 처리구당 18수씩 배치하여 2수씩 stainless steel 사육 cage에 넣고 1주간 주위 환경에 적응시킨 후 본 실험을 실시하였다. 처음 6주간은 납에 의한 중독을 유발시키고자 하여 Pb-acetate를 납 기준으로 0, 50, 100, 250, 500 ppm을 각각 첨가하여 사료를 제조하였다. 실험식은 다음의 Purified diet 배합표를 기준으로 하였고(Table 2) 식이와 증류수는 자유급여를 실시하였다.

7주후 납 중독 효과를 확인하기 위하여 각 처리구에서 임의로 6수씩을 희생시키고 생화학

Table 1. Experimental design to investigate the effect of pork on lead detoxification

Treatment	Intoxication (7 weeks)			Detoxification (7 weeks)		
	Lead	# of rats		Treatment	Protein source	
A	0 ppm	18	6	sacrificed	AC	casein diet
			6			
			6			
B	50 ppm	18	6	sacrificed	BC	casein diet
			6			
			6			
C	100 ppm	18	6	sacrificed	CC	casein diet
			6			
			6			
D	250 ppm	18	6	sacrificed	DC	casein diet
			6			
			6			
E	500 ppm	18	6	sacrificed	EC	casein diet
			6			
			6			

Table 2. Composition of experimental diets (%)

Ingredients	Contents(%)
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 3g, Vit. A 400,000 IU(Retiny acetate), Vit. E(dL- α -Tocoperyl 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 74g, 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.

적 측정을 실시하였다. 나머지 12수를 임의로 두 처리구씩으로 나누어 모두 10처리구로서 해독 시험을 7주간 행하였다. 해독 시험 동안에는 남은 더 이상 첨가하지 않았으며 실험식이의 단백질 급원은 카제인을 이용하거나 (AC, BC, CC, DC, EC) 돼지고기로 완전히 대체되었다(AP, BP, CP, DP, EP). 돼지고기는 카제인을 대체하기 위해 삶은 뒷다리 부위를 하루 저녁 실온에서 방치한 후 이용하였는데 그 첨가량은 casein을 사용하였을 때와 동일한 단백질 함량이 나오도록 고려하였다. 즉 삶은 돼지고기의 수분(50.79%) 및 단백질 함량(39.66%)을 고려하여 단백질 급원으로서의 카제인 20%를 모두 돼지고기로 대체한 사료에서는 삶은 돼지고기 50.0 g을 첨가하였으며, 이 때 사료의 pellet 제조를 위하여 첨가되는 수분 양은 삶은 돼지고기의 수분 함량 만큼을 보정하여 주었다.

2. 시료 채취

시험 종료 일에 쥐를 12시간 절식시킨 후 ethyl ether로 마취시켜 복부 대동맥으로부터 헤파린이 처리된 주사기로 채혈한 다음 헤모글로빈 함량과 헤마토크릿치 측정에 사용하였다.

장기의 채취는 간장과 신장을 적출 하여 0.9% 생리 식염수로 혈액을 씻어내고 장기의 무게를 측정 후 냉동 보관하였다. 납 대사 실험을 위한 뇨와 변의 채취는 실험 종료 전 3일간 stainless steel metabolic cage에서 실시하였다.

3. 헤모글로빈 함량과 헤마토크릿치 측정

헤모글로빈 측정은 Cyanmethemoglobin법으로 측정하였는데 cyanide solution 5 ml에 0.02 ml의 혈액을 가하고 잘 혼합한 다음 spectrophotometer (JASCO, Uvidec-610)를 사용하여 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.

4. 장기 및 배설물의 납 함량 측정

사료, 간장, 신장, 변 중의 납 함량은 시료를 회화시킨 후 1 N HNO₃ 10 ml를 가하여 hot plate에서 거의 마를 때까지 증발건조 시킨다. 이 과정을 반복한 후 냉각시킨 다음 1 N HNO₃로 적당부피까지 희석하여준다. 희석된 시료는 여과지를 이용하여 여과하고 원자흡광계(Atomic Absorption Spectrometer, Perkin-Elmer Co.)를 이용하여 283.3 nm에서 측정하였다.

5. DALAD(δ -aminolevulinic acid dehydratase) 활성 측정

혈중 δ -aminolevulinic acid dehydratase (DALAD) 활성은 Korsrud와 Meldrum의 방법(1988)을 응용하여 측정하였다. 즉, 혈액 0.25 ml와 Triton X-100 (0.2%) 1.25 ml를 넣어서 용혈시킨 후 기질용액(0.1 M Sodium phosphate buffer pH 6.8, 0.01 M δ -aminolevulinic acid, 0.01 M Dithiothreitol) 1 ml를 넣고 37 °C 수조에서 1시간 동안 반응시켰다. 여기에 0.05 M HgCl₂를 함유한 10% TCA용액 1 ml와 0.05 ml 포화 Cupric sulfate를 첨가하여 반응을 정지시킨 후 27,000

×g에서 10분간 원심분리시키고 상등액에 Ehrlich's reagent 1 ml를 넣어 15분간 방치 후 spectrophotometer (JASCO, Uvidec-610)를 사용하여 555 nm에서 측정하였다. 간의 DALAD 함량은 0.1 M Sodium phosphate buffer(pH 6.8)로 4% liver homogenate한 것을 사용하여 위와 동일한 방법으로 실시하였다.

6. 대사시험

실험종료 1주일 전 실험동물을 stainless steel로 된 대사 cage에 옮기고 물과 사료는 동일한 조건으로 공급하면서 72시간 동안 뇨와 변을 채취하였다. 이때 공급된 사료 양과 뇨와 변의 양, 또한 사료, 뇨, 변속의 납 함량을 측정하여 납의 대사를 관찰하였다.

* 납의 축적량(μ g) = Pb 섭취량(μ g) - 뇨와 변으로 배설된 Pb량(μ g)

* 납의 축적율(%) = $\frac{\text{Pb 축적량}(\mu\text{g})}{\text{Pb 섭취량}(\mu\text{g})} \times 100$

7. 통계처리

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

III. 결과 및 고찰

1. 납 중독 시험

(1) 체중, 사료 효율

실험 동물의 체중 변화는 Table 3과 같다. 실

Table 3. Body weights and feed efficiency ratio of lead-exposed rats

Treatment	Pb(ppm)	Initial weight	Final weight	Intake(g/7week)	FER(gain/feed)
A	0	164.50±2.61 ^{ns}	323.9±29.93 ^a	1.032.4±39.1 ^{ns}	0.329±0.040 ^a
B	50	166.15±7.09	304.9±35.52 ^{ab}	1.021.4±45.7	0.326±0.040 ^a
C	100	169.99±5.55	309.4± 5.98 ^{ab}	1.035.0±25.1	0.311±0.008 ^{ab}
D	250	173.89±2.00	279.8±19.58 ^{ac}	1.043.7±18.2	0.283±0.026 ^b
E	500	170.31±6.14	258.1±15.96 ^c	1.004.5±15.2	0.298±0.028 ^{ab}

ns : not significant

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

험 식이를 급여하기 전의 체중은 각 처리구당 유의적인 차이를 보이지 않았다. 7주 동안 납 중독용 실험 식이를 공급한 결과, 최종 체중은 투여된 납의 농도에 따라 각 처리구 간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 납 공급군은 대조구에 비해 점차적으로 체중 증가량이 감소되었다. 식이 효율 (Feed Efficiency Ratio = weight gain/feed)은 납의 투여가 높을수록 식이 효율이 낮아지는 경향을 볼 수 있었다. 납 투여에 의한 성장의 둔화 경향을 보인 실험 결과는 다른 연구에서도 보고되어졌다. 이 등(1997)은 납의 투여에 의해 식이 섭취량, 체중 증가량이 유의적으로 감소함을 보고하였고, 류와 김(1996)도 대조군에 비해 납 공급군에서 식이 섭취량, 체중 증가량 모두가 감소되었음을 보였다. 납은 식이섭취에 직접 영향을 주어 사료섭취를 감소시키거나, 납 급여로 인한 식욕감퇴와 성장장애 유발에 따른 식이 섭취량과 체중 증

가량의 감소현상이 나타나는 것으로 여겨진다.

(2) 헤모글로빈과 헤마토크릿

납 중독에 의해 헤모글로빈은 납 농도가 높아질수록 수치가 낮아지는 경향을 보였으나 유의적 차이는 나타나지 않았다(Table 4). 한편 헤마토크릿은 납 함량이 높아짐에 따라 유의적으로 감소하는 것을 관찰할 수 있었고 이러한 결과는 권 등(1992)의 연구에서도 보여졌다. 납 중독은 적혈구 수명을 감소시키고, 적혈구 막의 Na⁺-K ATPase의 감소를 일으켜 세포막의 기능을 상실케 함으로써 용혈성 빈혈과 망상적혈구 증가가 나타나게 되고 조혈인자의 저해로 세포수가 급격히 감소시킨다고 알려져 있다 (Waldron, 1980 ; Hansan 등, 1967).

(3) 조직의 무게

간의 장기무게(절대적 무게)는 납 투여 농도

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

Treatment	Pb (ppm)	Hb(g/dL)	Hct(%)
A	0	11.43±1.93 ^{ns}	36.25±1.75 ^a
B	50	11.38±1.08	33.90±3.15 ^{ab}
C	100	11.22±0.96	32.42±2.20 ^b
D	250	10.88±1.01	31.50±2.37 ^{bc}
E	500	9.74±1.15	28.25±2.94 ^c

ns : not significant

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

에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았고, 납의 투여에 의하여 체중 당 상대적 무게(relative organ weight)는 차이가 관찰되었다(Table 5). 신장의 경우, 납 투여 농도에 따른 무게변화를 관찰할 수 없었으나, 신장의 상대적 무게는 납 중독이 심해지면서 무게가 증가하여 처리구간에 유의적인 차이를 볼 수 있었다. 이 등(1997)은 납 급여시 흰쥐의 신장과 비장의 무게가 증가하였다는 보고를 한 바 있으며 Suzuki와 Yoshida (1979)도 신장의 비대를 촉진한다고 보고하였다.

(4) 조직 내 납 축적 농도

간, 신장, 대퇴골의 납 축적량은 Table 6과 같다. 간, 신장, 대퇴골 조직에서 납 섭취량이 높을수록 납 축적량은 통계적으로 유의적인 차이를 보였다. 각 조직에서의 축적 농도를 보면

대퇴골, 신장, 간 순서이며, 농도가 간에서의 축적 농도보다 신장은 약 2~3배, 대퇴골은 8배에서 최대 37배까지 평균 30배의 높은 농도를 보였다. 신장은 납을 배출하는 주요 장기로 납에 가장 민감한 표적기관이다. 납에 중독된 동물의 신장과 간의 미토콘드리아는 크기가 커지고 호흡과 인산화에 손상을 받는다. Conrad와 Barton(1989)은 흰쥐에 lead acetate를 정맥내 투여한 후 시간에 따른 장기 축적량을 살펴본 실험에서 신장, 적혈구, 간의 순서로 축적되었다고 한다. 납은 골격에 lead crystal salt로 침착한 후 유기 matrix와 점차적으로 결합 함으로써 불용성의 lead triphosphate 형태로 침착되어 골격에 축적된다. 일반적으로 골격은 체내 납의 90~95%가 비화산 형태의 납으로 존재하고 있는 주된 납 축적장소이다. 납 500 ppm을 투여한 처리구는 납을 투여하지 않은 처리구보다

Table 5. Organ weight and relative organ weight of SD rats fed the diets containing various levels of Pb for 7 weeks

Treatment	Pb (ppm)	Liver		Kidney	
		(g/100g bw)	(g)	(g/100g bw)	(g)
A	0	3.56±0.56 ^b	11.56±3.27 ^{ns}	0.72±0.05 ^c	0.72±0.05 ^{ns}
B	50	3.78±0.13 ^{ab}	11.70±1.37	0.83±0.04 ^{bc}	0.83±0.04
C	100	4.23±0.51 ^a	12.77±1.43	0.91±0.13 ^{ab}	0.91±0.13
D	250	3.79±0.21 ^{ab}	10.74±0.98	0.88±0.12 ^{ab}	0.88±0.12
E	500	3.82±0.31 ^{ab}	11.07±1.48	0.98±0.12 ^a	0.98±0.12

ns : not significant

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

Table 6. Lead accumulation in organs of SD rats fed the diets containing various levels of Pb for 7 weeks

Treatment	Pb (ppm)	(ppm)		
		Liver	Kidney	Tibia
A	0	1.98±2.17 ^c	1.85± 1.44 ^c	17.04± 4.86 ^c
B	50	5.53±2.58 ^{bc}	11.25± 4.06 ^c	121.75± 33.86 ^{bc}
C	100	4.49±1.63 ^c	17.10± 2.92 ^{bc}	185.67± 24.94 ^b
D	250	10.19±1.91 ^{ab}	28.55± 7.20 ^b	350.40± 95.04 ^a
E	500	13.88±7.51 ^a	50.36±23.91 ^a	480.82±190.27 ^a

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

간에서의 축적량이 약 7배(1.98 ppm, 13.88 ppm) 증가하는 것을 관찰할 수 있었으나 간과 대퇴골에서는 약 27~28배가 증가하는 것을 볼 수 있었다.

(5) DALAD(δ -aminolevulinic acid dehydratase) 활성

납 중독에 의해 헤마토크린은 납 투여 정도에 따라 감소되었으나 DALAD(δ -aminolevulinic acid dehydratase) 활성은 납 투여 정도에 따른 일관적인 변화는 찾기 힘들었다(Table 7). DALAD는 HEM 합성과정에서 δ -aminolevulinic acid (ALA)를 porphobilinogen으로 전환 시키는 데 이용되는 효소로, 납은 DALAD의 활성을 저해시킴으로서 HEM 생성에 지장을 주는 것으로 Wapnir 등(1977)은 보고했다. 활성(activated) DALAD / 비활성(non-activated) DALAD의 비율을 보면 Pb 수준이 0 ppm에서 0.75, 50 ppm에서 0.70으로 낮은 반면에 Pb 수준을 100 ppm 이상으로 첨가 시에는 활성 DALAD / 비활성 DALAD의 비율은 높아졌으며 특히 납 500 ppm 구에서는 1.13으로 활성 DALAD 함량 비율이 현저히 많아졌다. 그러나 납 중독시 활성 DALAD / 비활성 DALAD 비율은 Korsrud와 Meldrum(1988)의 보고와는 차이를 보이고 있다. 즉, 납 0 ppm 구에서 활성 DALAD 함량은 5.57로 본시험 결과와는 유사한 성적이지만, 그 활성 / 비활성 DALAD 비율에 있어서는 납 0

ppm 구에서는 1.11~1.12, 납 100 ppm 구에서는 5.60~7.10으로 납 중독시에 그 비율이 현저히 높아졌다고 보고했다.

(6) 대사 시험

납 중독 대사 시험 결과를 보면 납의 체내 보유율이 매우 높은 것으로 나타났다(Table 8). 납 50 ppm을 투여한 경우에도 보유율이 94%에 이르렀으며 250 ppm과 500 ppm 투여구에서는 98% 가량으로 나타났다. 이는 납이 카드뮴 등과 같은 다른 중금속보다 흡수가 잘 되고 대사되어 배출되는 속도가 느린 것으로 추정할 수 있다. 또한 카드뮴에서는 카드뮴의 배설이 주로 분에 의해서만 이루어진 반면, 납에서는 분 뿐만 아니라 뇨를 통한 배설량도 상당 부분을 차지하고 있음을 보였다. 김과 김(1987)의 보고와 이 등(1997)의 연구에서도 납의 섭취 증가에 따라 뇨와 변으로 Pb 배설이 증가하는 보고가 있었다.

2. 납 해독 시험

(1) 체중, 사료 효율

Table 9에서 보는 바와 같이 납 급여를 중단하고 난 후 체중회복이 급격히 이루어졌다. 돼지고기를 공급한 군은 종료체중이 모두 납에 노출되지 않았던 대조구보다 높았고, 카제인을 공급한 군은 납에 노출되지 않았던 대조구보다

Table 7. DALAD(δ -aminolevulinic acid dehydratase) activity in the liver and blood in SD rats fed the diets containing various levels of Pb for 7 weeks

Treat-ment	Pb (ppm)	Liver(μ mol PBG / g/min)			Blood(μ mol PBG/ml RBC/min)		
		activated DALAD(A)	non-activated DALAD(B)	Ratio A/B	activated DALAD(A)	non-activated DALAD(B)	Ratio A/B
A	0	4.93 \pm 1.17 ^b	6.59 \pm 1.18 ^{ab}	0.75	0.41 \pm 0.02 ^{ab}	0.09 \pm 0.06 ^{ns}	4.56
B	50	4.14 \pm 1.67 ^b	5.89 \pm 1.58 ^{ab}	0.70	0.39 \pm 0.06 ^b	0.09 \pm 0.07	4.33
C	100	5.33 \pm 0.86 ^{ab}	7.34 \pm 1.55 ^a	0.73	0.47 \pm 0.12 ^{ab}	0.07 \pm 0.06	6.71
D	250	6.83 \pm 1.82 ^a	6.91 \pm 1.18 ^{ab}	0.99	0.48 \pm 0.11 ^{ab}	0.12 \pm 0.13	4.00
E	500	5.88 \pm 0.58 ^{ab}	5.21 \pm 1.18 ^b	1.13	0.54 \pm 0.14 ^a	0.13 \pm 0.13	4.15

ns : not significant

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

Table 8. Metabolic trial of SD rats fed the diets containing various levels of Pb for 7 weeks

Items	Pb treatment (ppm)				
	A (0)	B (50)	C (100)	D (250)	E (500)
Initial weight (g)	311.5±27.1	317.9±20.5	302.9±27.0	294.0±32.3	260.1±22.2
Final weight (g)	313.4±35.2	336.2±15.1	310.0±33.6	310.1±29.7	285.8±21.5
Water intake (ml/head)	42.3±5.1	57.7±6.5	64.7±5.5	64.0±5.7	95.7±8.5
Feed intake (g)	76.0±4.3	108.45±8.5	92.5±7.7	112.8±7.5	100.5±9.1
Feed Pb concentration (ppm)	1.82±0.5	46.8±0.3	93.8±0.7	307.0±0.5	508.0±0.3
Pb intake (µg)	138±10.8	5,075±321	8,676± 851	34,629±225	51,054±542
Feces (g)	6.41±0.21	8.36±0.51	7.92±0.87	10.83±0.78	10.52±1.21
Fecal Pb concentration (ppm)	8.33±1.21	24.49±4.7	21.23±2.1	48.82±4.4	75.07±6.1
Fecal Pb excretion (µg)	53.4±8.1	204.7±15.2	168.1±11.0	528.7±16.5	789.7±25.1
Urine (g)	46.3±9.4	83.86±12.1	89.26±14.1	123.10±12.2	190.13±15.1
Urinary Pb concentration (µg)	0.69±0.05	1.22±0.02	2.83±0.03	1.51±0.07	2.06±0.05
Urinary Pb excretion (µg)	31.9±5.4	102.3±6.5	252.6±6.4	185.9±5.4	391.7±7.7
Total Pb excretion (µg)	85.3±7.7	307.0±21.1	420.7±25.4	714.6±57.5	1,181±79.1
Pb retention (µg)	53 ±12.2	4,768±295.1	8,255±353.4	33,914±246.2	49,873±853.5
Pb retention rate (%)	38.2±2.5	94.0±7.7	95.1±4.2	97.9±7.4	97.7±8.4

Table 9. Body weight and feed efficiency ratio in Pb-exposed SD rats fed the diets containing pork for 7 weeks

Treatment	Initial weight	Final weight	FER (gain/feed)
AC	330.88±61.57 ^a	453.42± 96.37 ^{ab}	0.11±0.04 ^d
AP	317.24±44.59 ^a	385.99±193.97 ^b	0.14±0.01 ^{bcd}
BC	303.12±35.74 ^{ab}	435.87± 41.03 ^{ab}	0.13±0.01 ^{cd}
BP	299.63±37.78 ^{ab}	457.23± 72.25 ^{ab}	0.15±0.05 ^{bcd}
CC	315.46±29.81 ^a	462.80± 45.83 ^{ab}	0.14±0.04 ^{bc}
CP	303.26±20.81 ^{ab}	492.80± 23.94 ^a	0.16±0.02 ^{bc}
DC	280.98±39.16 ^{abc}	443.35± 42.98 ^{ab}	0.16±0.03 ^{bc}
DP	291.08±41.52 ^{abc}	489.45± 25.16 ^{ab}	0.18±0.04 ^{ab}
EC	248.50±41.11 ^{bc}	416.65± 60.98 ^b	0.17±0.04 ^{bc}
EP	241.33±50.51 ^c	479.95± 61.03 ^{ab}	0.21±0.02 ^a
Significant factors	Pb***	Pork*	Pb***, Pork**

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

* significant at $P < 0.05$; ** significant at $P < 0.005$; *** significant at $P < 0.0005$.

비슷하거나 약간 낮았지만 정상체중을 나타냈다. 돼지고기를 급여한 쥐의 경우(BP, CP, DP, EP), AP를 제외하고 카제인을 급여한 쥐에 비해 평균체중이 높은 수치를 나타내었다. 그리하여 해독시험이 종료된 후의 체중에 영향을 주는 요인(significant factor)으로는 납 중독의 경력보다는 돼지고기에 의한 차이가 두드러지는 것으로 나타났다(pork, $p < 0.05$).

납 투여를 중단하면 정상체중으로 회복하기 위해 식이 효율이 매우 높아진다. 납 급여를 중단하고 난 후 납 투여율이 높았던 처리구일 수록 식이 효율이 높아짐을 알 수 있다. 또한 돼지고기를 공급한 쥐가 카제인을 공급한 쥐에 비해 약간 높은 수치를 나타내었다. 식이효율에 영향을 주는 요인은 납 중독 경력($p < 0.0005$)과 돼지고기 섭취여부($p < 0.005$)로 나타났다.

카드뮴을 8주동안 섭취시킨 후 돼지고기에 의한 해독작용을 살펴본 연구에서는 체중과 식이효율에 있어서 돼지고기의 효과가 뚜렷이 나타나지 않는 것을 볼 수 있었으나(노 등, 2005) 납 중독 시험에서는 돼지고기 섭취의 효과가 명확히 드러났다. 한편 한스(1994)는 식이 중의 Cys의 보충으로 Pb 공급군의 식이섭취량, 체중 증가량, 식이효율이 유의적으로 증가하지 않았다고 보고하였다.

(2) 헤모글로빈과 헤마토크릿

납이 더 이상 사료에 첨가되지 않으면서 납의 중독정도와 상관없이 모든 처리구에서 헤모글로빈은 거의 정상치와 같은 수준으로 회복되어 처리구간에 아무런 차이를 보이지 않았다. 이러한 경향은 카드뮴의 중독과 해독에서도 유사한 경향을 나타내는 것으로 나타났다.

해독 과정에서 납 급여가 중단되면서 헤마토크릿치도 정상과 비슷한 수준으로 상승되어 B, C 처리구는 대조구와 같은 수준을 이루었고, 납 중독이 관찰되었던 D, E 처리구는 대조구보다는 약간 낮은 수치이나 양호한 결과를 나타내었다. 해독 시험 후에도 헤마토크릿에서는 결과에 영향을 준 인자를 납이라고 지적하였다. 납 100 ppm을 7주 동안 투여한 후 해독과정을 거친 CC와 CP의 헤마토크릿수치에서는

Table 10. Hemoglobin content and hematocrit value in Pb-exposed SD rats fed the diets containing pork for 7 weeks

Treatments	Hb(g/100ml)	Hct(%)
AC	15.6±2.12 ^{ns}	36.76±0.90 ^{ab}
AP	15.2±3.52	37.17±3.37 ^{ab}
BC	16.5±3.16	37.20±2.06 ^{ab}
BP	17.0±1.98	36.02±1.37 ^{ab}
CC	15.3±2.29	35.51±2.25 ^b
CP	13.9±1.77	39.22±1.95 ^a
DC	16.1±2.54	33.83±2.76 ^b
DP	13.7±1.68	35.18±2.82 ^b
EC	15.6±2.97	33.83±1.66 ^b
EP	14.2±1.99	35.18±3.96 ^b
Significant factors		Pb*

ns : not significant
^{abc} Means with different superscript in the same column are significantly different at $P < 0.05$.
 Astericks indicate the significant difference by *t*-test.
 * significant at $P < 0.05$.

두 처리간의 *t*-test에서 차이를 확인할 수 있었다.

납과 양파즙을 동시에 투여하였을 때 납을 단독으로 투여한 군보다 헤모글로빈 수치가 개선되었다는 보고가 있으며(서 등, 1993) 또한 오리추출액이 혈액학적 성상의 피해를 경감한다는 보고가 있으나(박 등, 2005) 이 연구들은 납과 동시에 투여하였을 때의 결과이며 자연해독 시의 돼지고기 투여의 영향을 보고자 한 이 연구와는 차별되는 것이다. 한편으로 카드뮴 중독으로부터 해독 시 돼지고기의 영향을 살펴본 연구(노 등, 2005)에서는 돼지고기가 헤마토크릿치를 높인다고 나타났는데 이러한 현상은 납 중독의 해독 시에는 나타나지 않았다.

(3) 조직의 무게

해독 시험 후 장기 무게변화를 보면 간 무게는 CC, CP 처리구가 가장 높게 나왔고, EC 처리구가 가장 낮아 납 중독이 가장 심한 경우 무게가 감소되었으나 다른 경우에는 별 차이를 보이지 않았다. 상대적 간의 무게는 CP와 EC를 제외하고는 대조군과의 유의적인 차이를 보

Table 11. Organ weight and relative organ weight in Pb-exposed SD rats fed the diets containing pork for 7 weeks

Treatments	Liver		Kidney	
	(g/100g bw)	(g)	(g/100g bw)	(g)
AC	3.42±0.24 ^{ns}	15.71±4.37 ^{ab}	0.61±0.03 ^d	2.78±0.62 ^{bc}
AP	3.62±0.38	17.04±1.95 ^{ab}	0.68±0.06 ^{bcd}	3.20±0.23 ^{abc}
BC	3.46±0.30	15.15±2.29 ^{ab}	0.62±0.02 ^d	2.73±0.28 ^c
BP	3.31±0.53	15.10±3.41 ^{ab}	0.67±0.03 ^{bcd}	3.06±0.42 ^{abc}
CC	3.48±0.37	16.22±3.14 ^{ab}	0.65±0.03 ^{cd}	3.01±0.24 ^{abc}
CP	3.67±0.30	18.13±1.98 ^a	0.68±0.04 ^{bcd}	3.36±0.11 ^a
DC	3.24±0.31	14.43±2.36 ^{ab}	0.73±0.06 ^{ab}	3.27±0.40 ^{ab}
DP	3.33±0.22	16.34±1.50 ^{ab}	0.68±0.08 ^{abcd}	3.37±0.39 ^a
EC	3.22±0.28	13.54±2.82 ^b	0.75±0.08 ^a	3.13±0.37 ^{abc}
EP	3.28±0.25	15.84±2.67 ^{ab}	0.70±0.02 ^{abc}	3.40±0.48 ^a
Significant factors		Pork*	Pb** Pb*Pork*	Pb* Pork**

ns : not significant

^{abcd} Means with different superscript in the same column are significantly different at P<0.05.

* significant at P<0.05 ; ** significant at P<0.005 ; *** significant at P<0.0005.

이지 않았다. 그러나 간의 무게에 영향을 주는 인자로는 돼지고기 섭취여부(p<0.05)가 있음을 보여주었다. 즉, 돼지고기를 섭취한 경우 간이 더 커졌음을 보여주었다.

신장의 경우는 납 투여군이 대조군보다 무게가 더 많이 나가 신장이 비대해졌음을 알 수 있었고, 납 투여가 높을수록 상대적 신장의 무게가 커져 E 군이 가장 높은 값을 나타냈다. 그리하여 신장 무게에 영향을 주는 인자는 납 중독 여부(p<0.05), 돼지고기 섭취여부(p<0.05)가 나타났으며 상대적 신장무게에 영향을 주는 인자는 납 중독(p<0.05)과 돼지고기 섭취의 상호작용(Pb*Pork, p<0.05)가 있음을 보였다.

(4) 조직 내 납 축적 농도

납 중독 후 해독 시 전반적으로 조직 내 납 함량이 매우 감소된 것을 볼 수 있다. 간의 경우 카제인 공급군에서는 약 3배, 돼지고기 공급군에서는 최대 6배의 납 감소율을 보였으며, 특히 돼지고기 공급군에서의 해독율은 매우 높아 처음 중독 시 대조군의 수준까지 낮아졌고

통계적으로 유의하게 차이를 나타냈다. 그리하여 간에서의 납 축적에 영향을 미치는 요인으로는 납 중독 여부(p<0.0005), 돼지고기 섭취(p<0.0005), 납과 돼지고기 섭취의 상호작용(p<0.0005)이 모두 작용하는 것으로 나타났다.

신장에서는 큰 차이를 보이지는 않았으나 중독에 비하여 (Table 6) 감소 경향은 보였으며 E 군(500 ppm)서만 오히려 납이 증가한 결과를 나타내었다. 즉, 간에서 축적되었던 납이 해독되는 과정에서 서서히 이동되는 납이 신장에 축적됨을 보여주었다. 또한 돼지고기에 의해서 신장 내 납의 축적량이 낮아지는 경향을 보였으나 통계적 유의성은 나타나지 않았다.

대퇴골은 약 1.3~2배의 감소율을 보였고 유의적인 차이를 나타내었다. 이로서 중금속 제거 속도가 간에서 가장 빠르고 신장에서는 납 제거율이 매우 낮아 대퇴골보다 느림을 알 수 있다. 대퇴골에서의 납 함량은 돼지고기를 섭취한 경우 현격히 낮아져서, 요인분석 결과를 보면 납 급여 수준(p<0.0005)와 돼지고기 섭취 여부(p<0.005)가 대퇴골 납 함량에 영향을 미치

Table 12. Lead accumulation in organ of SD rats fed the diets containing various levels of Pb for 7 weeks

Treatment	Liver (µg/g)	Kidney (µg/g)	Tibia (µg/g)
AC	0.37±0.15 ^g	1.76± 0.61 ^b	18.83± 3.81 ^f
AP	0.40±0.17 ^g	0.96± 0.75 ^b	17.62± 4.01 ^f
BC	1.27±0.39 ^{ed}	5.84± 2.96 ^b	96.71±11.33 ^{de}
BP	0.61±0.21 ^{fg}	3.78± 1.23 ^b	79.69±15.50 ^e
CC	1.48±0.38 ^{cde}	6.03± 0.70 ^b	129.64±12.50 ^d
CP	1.03±0.52 ^{ef}	4.46± 0.76 ^b	98.70±13.36 ^{de}
DC	2.24±0.74 ^b	20.92±11.19 ^b	185.27±43.33 ^c
DP	1.91±0.71 ^{bc}	17.93±12.74 ^b	164.35±30.85 ^c
EC	24.14±0.31 ^a	78.13±32.56 ^a	285.78±37.89 ^a
EP	1.84±0.39 ^{bcd}	81.96±44.32 ^a	228.79±54.52 ^b
Significant factors	Pb ^{***} Pork ^{***} Pb*pork ^{***}	Pb ^{***}	Pb ^{***} Pork ^{**}

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

* signigicant at $P < 0.05$; ** signigicant at $P < 0.005$; *** signigicant at $P < 0.0005$.

는 중요 요인임을 보여주었다.

신장은 납을 배출하는 주요 장기로 납에 가장 민감한 표적기관이다. 납에 중독 된 동물의 신장과 간의 미토콘드리아는 크기가 커지고 호흡과 인산화에 손상을 받는다. Conrad와 Bartan (1978)은 흰쥐에 lead acetate를 정맥내 투여한 후 시간에 따른 장기 축적량을 살펴본 실험에서 신장, 적혈구, 간의 순서로 축적되었다고 한다. 납은 골격에 lead crystal salt로 침착한 후 유기 matrix와 점차적으로 결합 함으로써 불용성의 lead triphosphate 형태로 침착되어 골격에 축적되는데 골격은 체내 납의 90~95%가 비확산 형태의 납으로 존재하고 있는 주된 납 축적 장소이다. 카제인 공급군보다 돼지고기 공급군의 해독율이 훨씬 높아 조직 내 납 축적이 낮게 나타났으며 특히 간에서의 납 축적 농도에 영향을 미치는 인자로서 납뿐만 아니라 납과 돼지고기 섭취여부의 상호작용(Pb^{***}, Pb*Pork^{***}) 등이 나타났다. 즉, 돼지고기 공급군이 더 효과적으로 해독이 이루어졌음을 알 수 있어 단백질 종류에 따른 장기 납 농도 차이가 다름을 보여주었다.

(5) DALAD(δ-aminolevulinic acid dehydratase)

해독 과정에서 간과 혈액의 non-activated DALAD 활성은 중독 과정 시와 비교하였을 때 비교적 높게 나타났다(Table 13). 간에 있는 DALAD 함량은 대조구에 비해서 돼지고기 첨가구가 활성. 비활성 DALAD에 관계없이 또한 납 첨가 수준에 관계없이 유의적으로 높아졌음을 볼 수 있었다. 즉, 돼지고기 첨가에 의해 DALAD의 함량이 높아졌다는 것은 돼지고기가 납 중독에 대한 해독 효과가 있다는 의미로 사료된다.

간 중 활성 DALAD 함량은 납 0 ppm 구에서는 돼지고기 무첨가구와 돼지고기 첨가구와 비교 시 각각 4.58 에서 6.14로, 납 50 ppm구에서는 3.97에서 6.87로, 납 100 ppm 구에서는 4.26에서 7.09로, 납 250 ppm 구에서는 5.95에서 9.19로, 납 500 ppm 구에서는 5.52 에서 7.37로 현저하게 돼지고기 첨가에 의해서 활성 DALAD 함량이 증가되었다.($P < 0.005$). 비활성 DALAD 함량도 유사한 경향으로서 돼지고기 첨가구가 카제인 첨가구에 비해서 납중독 정도에 관계없이 DALAD 함량이 유의하게 증가됐음을 알 수 있다.

Table 13. Activated DALAD and non-activated DALAD in the liver and blood in Pb-exposed SD rats fed the diets containing pork for 7 weeks

Treatment	Liver				Blood					
	Activated DALAD(A)	t	Non-activated DALAD(B)	t	Ratio A/B	Activated DALAD(A)	t	Non-activated DALAD(B)	t	Ratio A/B
AC	4.58±2.12 ^{dc}	*	7.37±2.30 ^{de}		0.62	0.39±0.08 ^{ab}		0.21±0.07 ^a		1.86
AP	6.14±1.47 ^{abcd}		11.58±4.44 ^{bc}		0.58	0.44±0.03 ^a		0.23±0.03 ^a		1.91
BC	3.97±1.07 ^d		6.32±1.61 ^e	*	0.63	0.33±0.14 ^{bc}	*	0.11±0.02 ^b		3.00
BP	6.87±3.63 ^{abc}		10.67±5.07 ^{cd}		0.64	0.29±0.04 ^c		0.08±0.04 ^b		3.63
CC	4.26±1.96 ^{cd}		7.79±0.78 ^{de}	**	0.55	0.28±0.06 ^c		0.07±0.04 ^b		4.00
CP	7.09±2.50 ^{abc}		15.65±3.94 ^a		0.45	0.29±0.06 ^{bc}		0.08±0.04 ^b		3.63
DC	5.95±1.83 ^{bcd}		7.24±1.42 ^{de}		0.82	0.26±0.06 ^c		0.07±0.05 ^b		3.71
DP	9.19±1.79 ^{ab}		15.14±3.83 ^{abc}		0.61	0.31±0.08 ^{bc}		0.09±0.06 ^b		3.44
EC	5.52±2.27 ^{bcd}		7.17±1.52 ^{de}	*	0.77	0.35±0.07 ^{abc}		0.09±0.07 ^b		3.89
EP	7.37±3.97 ^a		13.25±1.68 ^{ab}		0.56	0.30±0.07 ^{bc}		0.11±0.06 ^b		2.73
Significant factors	Pb [*] Pork ^{***}		Pork ^{***}			Pb ^{**}		Pb ^{***}		

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

* signigicant at P < 0.05 ; ** signigicant at P < 0.005 ; *** signigicant at P < 0.0005.

또한 활성 DALAD / 비활성 DALAD 비율에 있어서도 돼지고기 첨가구는 비첨가구에 비해 그 비율이 낮게 평가됐다. 즉, 납 100 ppm 구는 비첨가구가 0.55, 첨가구가 0.45, 납 250 ppm 구는 돼지고기 비첨가구가 0.82, 첨가구가 0.61, 납 500 ppm 구는 돼지고기 비첨가구가 0.77, 돼지고기 첨가구가 0.56으로 나타났다. 즉, 돼지고기 첨가에 의해서 납 중독으로 야기된 DALAD의 감소 현상을 크게 완화시켜 납 해독이 증진된 것으로 해석된다.

납과 다른 식이를 동시에 투여하였을 때 DALAD 활성에 관한 연구 결과를 비교하여 보면, 이 등(1997)은 갈근추출물을 투여한 경우 납만 투여한 처리군보다 DALAD 활성을 증가시켰다고 보고하였으며 서와 서(2005)도 마늘즙으로 DALAD 활성이 증가된다고 보고하였고 김 등(2003)은 녹차 등이 DALAD 활성이 증가시킨다고 보고하였다.

(6) 대사 시험

7주간 lead acetate를 투여하여 납 중독된 흰 쥐에게 카제인 단백질 대신 돼지고기(pork)의

급여가 납의 해독에 미치는 효과를 조사하였다(Table 14). 앞서 실시한 7주간의 납 중독시험 종료일에 A~E의 6처리구에서 각 처리구별로 18수 중에서 6수씩 희생시킨 다음 납은 12수를 대상으로 6수씩 2군으로 나누어 일반식이와 돼지고기의 납 해독 효과를 비교하였다.

납 중독 처리구의 경우 축적되어 있던 납이 더 이상 납이 공급되지 않을 때 자연스럽게 배설되어 나오며 이는 납의 중독 정도가 높았던 경우에 배설되는 납의 함량도 월등히 높은 것을 볼 수 있었다. 또한 뇨에 의한 배설보다는 변에 의한 납의 배설량이 훨씬 더 높은 것을 볼 수 있었다. 또한 이 때 돼지고기의 투여에 의해 납의 배설량이 더욱 많아짐을 볼 수 있었다. 납은 배설이 뇨와 분에 의해 이루어지며, 돼지고기를 투여한 경우 특히 분으로의 배설을 촉진시켜 줌으로써 중금속 해독을 촉진시킬 수 있는 것으로 보여졌다.

이상의 연구 결과에 의하면 돼지고기의 섭취는 납 중독으로 발생하는 효소의 손상을 회복시켜 주고, 조직에서의 납 축적을 억제시켜 주는 것으로 나타나 돼지고기는 납 중독에 의한

Table 14. Metabolic trial of Pb-exposed SD rats fed the diets containing pork for 7 weeks

Items	Pb level (ppm)									
	A(0)		B(50)		C(100)		D (250)		E (500)	
Pork (%) ¹⁾	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100
Initial weight (g)	457.1 ±45.1	475.8 ±55.1	427.9 ±41.1	413.5 ±42.1	498.8 ±52.1	488.9 ±38.2	424.8 ±57.1	474.8 ±61.1	446.8 ±46.2	508.8 ±45.2
Final weight (g)	463.9 ±32.1	470.9 ±43.1	406.2 ±32.1	392.2 ±41.1	489.7 ±41.1	492.3 ±35.5	430.3 ±36.2	477.2 ±42.9	436.0 ±51.1	509.4 ±25.6
Water intake (ml/head)	64.6 ±5.7	58.4 ±6.9	58.8 ±8.4	43.4 ±4.5	50.9 ±6.1	99.2 ±6.6	57.5 ±4.5	53.8 ±6.9	87.1 ±5.6	92.1 ±6.7
Feed intake (g)	93.3 ±14.2	81.6 ±13.1	79.9 ±13.6	54.8 ±14.2	77.1 ±15.2	90.9 ±16.3	95.3 ±12.2	84.9 ±12.1	84.0 ±13.1	93.1 ±13.5
Feces (g)	12.8 ±1.2	12.4 ±2.1	9.64 ±1.1	5.77 ±0.8	10.9 ±1.5	14.1 ±1.2	10.7 ±0.8	11.6 ±0.9	11.4 ±1.3	13.0 ±2.1
Fecal Pb concentration (ppm)	5.67 ±0.21	5.83 ±0.34	8.37 ±0.24	11.23 ±0.85	8.57 ±0.76	9.76 ±0.84	13.7 ±1.2	14.1 ±1.2	17.4 ±1.4	17.2 ±1.4
Fecal Pb excretion (μg)	72.6 ±7.5	72.3 ±8.9	80.7 ±7.9	64.8 ±2.4	93.4 ±9.1	137.6 ±12.7	146.6 ±14.5	163.2 ±15.0	198.4 ±16.9	223.3 ±14.1
Urine (g)	45.9 ±10.2	46.2 ±12.1	52.1 ±11.2	31.2 ±8.1	47.0 ±14.0	60.8 ±15.2	69.8 ±16.2	50.0 ±14.2	103.8 ±18.2	110.9 ±21.2
Urinary Pb concentration (μg)	0.46 ±0.02	0.45 ±0.04	0.36 ±0.05	0.57 ±0.04	0.65 ±0.04	0.77 ±0.06	0.35 ±0.02	0.51 ±0.05	1.53 ±0.38	1.48 ±0.22
Urinary Pb excretion (μg)	20.9 ±2.2	20.8 ±3.1	18.5 ±2.1	17.8 ±1.2	30.6 ±1.8	46.8 ±1.4	24.1 ±2.8	25.3 ±2.9	158.8 ±12.5	164.5 ±15.6
Total Pb excretion (μg)	93.5 ±5.9	93.1 ±5.7	99.2 ±5.8	82.6 ±4.9	124.0 ±7.6	184.4 ±12.5	170.7 ±16.3	188.5 ±15.9	357.2 ±24.1	387.8 ±26.9

¹⁾ Pork substitution instead of casein in feed.

피해를 경감시켜줄 수 있는 해독 기능을 갖는 것으로 사료된다. 그러나 본 연구는 돼지고기의 유효성을 평가하기 위한 기초 자료 일환으로 동물실험 수준에서 평가된 연구이며, 향후 용량 설정에 대한 연구 및 임상단계에서 효능을 평가하기 위한 다각적인 연구가 더 필요할 것으로 여겨진다.

IV. 요약

돼지고기 섭취 시 우리 체내에 축적되는 납의 중독을 완화시킬 수 있는가를 살피고자 흰쥐에 7주동안 납의 임상적인 중독현상을 유발시키고 이어서 7주 동안 납을 중단하고 해독과정을 유발시키면서 돼지고기 투여에 의한 납해독 효과를 비교하는 시험을 실시하였다. 납중독에 의해 체중저하, 헤모글로빈과 헤마토크릿 저하, 상대적 간과 신장의 무게 증가, 대퇴골, 신장, 간에서의 납 축적 등을 확인하였다.

해독 시에 돼지고기를 섭취시킨 경우 유의적으로 식이 효율이 높아졌다. 또한 돼지고기 섭취가 상대적 간과 신장의 상대적 무게에 영향을 주는 인자인 것으로 나타났다($p<0.05$). 간에서의 납 축적에 영향을 미치는 요인으로는 납 중독 여부($p<0.0005$), 돼지고기 섭취($p<0.0005$), 납과 돼지고기 섭취의 상호작용($p<0.0005$)이 모두 작용하는 것으로 나타났다. 간에 있는 DALAD 함량은 대조구에 비해서 돼지고기 첨가구에서 납 첨가 수준에 관계없이 유의적으로 높아졌음을 볼 수 있었다. 이 결과로서 돼지고기가 납에 중독된 흰쥐에서 해독과정을 향상시킬 수 있는 것으로 사료되었다.

V. 인용 문헌

1. Blake, H. and Mann, M. 1983. Effect of calcium and phosphorus on the gastrointestinal absorption of ²⁰³Pb in man. Environmental Research. 30:88.

2. Cerklewski, F. I. and Forbes, R. M. 1976. Influence of dietary zinc on lead toxicity in the rat. *J. Nutr.* 106:689.
 3. Donaldson, W. E. 1991. Interactions of dietary lead with fish oil and antioxidant in chicks. *Biological Trace Element Research.* 31:215.
 4. Hasan, J. and Hernberg, S. 1967. Deficient red cell membrane Na-K ATPase in lead poisoning. *Arch Environ. Health.* 14:313.
 5. Hu, S. P. and Kies, C. 1989. Lead/ dietary protein interactions in rats. *Nutrition Reports International.* 39:81.
 6. Korsrud, G. O. and Meldrum, J. B. 1988. Effect of diet on the response in rats to lead acetate given orally or in the drinking water. *Biological Trace Element Research.* 17:167.
 7. Mylroie, A. A., Moore, L. and Erogbogbo, U. 1977. Influence of dietary factors on blood and tissue lead concentrations and lead toxicity. *Toxicology and Applied Pharmacology.* 41:361.
 8. Smith, C. M., DeLuca, H. F., Tanaka, Y. and Mahaffey, K. R. 1978. Stimulation of lead absorption by vitamin D administration. *J. Nutr.* 108:843.
 9. Suzuki, T. and Yoshida, A. 1979. Effectiveness of dietary iron ascorbic acid in the prevention and cure of moderately long-term lead toxicity in rats.
 10. Waldron, H. A. 1980. *Metals in the environment.* Academic press, New York.
 11. Wapnir, R. A., Exeni, R. A., Mcvicar, M. and Lifshitz, F. 1977. Experimental lead poisoning and intestinal transport of glucose, amino acid and sodium. *Pediat. Res.*, 11:153.
 12. Lee, J. S., Kim, M. J. and Park, E. M. 1997. Effects of extract of *Pueraria radix* on hematological properties and lead level of the tissues of the Pb-administered rats. *J. Korea soc Food Sci Nutr.* 26:488.
 13. Conrad, M. and Barton, J. C. 1989. Factors affecting the absorption of lead in the rat. *Gastroenterology.* 74:731.
 14. Sheo, H. J., Lim, H. J. and Jung, D. L. 1993. Effects of onion juice on toxicity of lead in rat. *J. Korea soc Food Sci Nutr.* 22:138.
 15. SAS. 1996. *SAS/STAT user's guide*, 8th ed. SAS Institute Inc. Cary NC USA.
 16. 김정숙, 김미경. 1987. 납과 지방수준을 달리한 식이로 사육한 성장기 흰쥐의 체내 대사 변화. *한국영양학회지.* 20:225.
 17. 이정숙, 김명주, 박은미. 1997. 갈근추출물이 납 중독된 흰쥐의 혈액성분 및 조직의 납 축적에 미치는 영향. *한국식품영양과학회지.* 26:488.
 18. 김정현, 조남준, 박성배. 1989. 대중음식중 중금속 함량. *영양식량학회지.* 18:316.
 19. 이남형, 한찬규, 노정해, 김영봉, 이복희. 1995. 돼지고기 섭취가 체내 중금속 대사에 미치는 영향에 관한 연구. *한국식품개발연구원 보고서.* E1325-0667.
 20. 노정해, 한찬규, 이남형, 정용기. 1997. 돼지고기를 단백질 급원으로 한 식이가 쥐의 체내 카드뮴 대사에 미치는 영향에 대한 연구. *한국축산학회지.* 39:605.
 21. 권오덕, 이현범, 이주목, 채준석. 1992. 산양의 실험실적 납중독에 관한 임상 병리학적 관찰. *대한수의학회지.* 32:127.
 22. 노정해, 한찬규, 성기승, 이남형. 2005. 돼지고기 급여가 흰쥐의 체내에 중독된 카드뮴의 해독과정에 미치는 영향. *한국축산식품학회.* 25:373.
 23. 박성해, 신연한, 박성진, 한종현. 2005. 한약재를 첨가한 오리부산물 추출액이 납과 수은에 노출된 흰쥐 혈청의 중금속 및 혈액 지표에 미치는 영향. *한국식품영양과학회지.* 34:478.
 24. 서화중, 서유석. 2005. 납 중독 흰쥐에서 식이 마늘즙의 해독효과에 관한 연구. *한국식품영양과학회지.* 34:342.
 25. 김명주, 조수열, 장수연, 박지윤, 박은미, 이미경, 김덕진. 2003. 납 투여한 흰쥐의 헴 합성과 적혈구 중의 항산화효소 활성에 미치는 녹차, 감잎, 홍화 열수추출물의 영향. *한국식품영양과학회지.* 32:191.
 26. 서화중, 임현지, 장두레. 1993. 양과즙 투여가 Rat의 납 독성이 미치는 영향. *한국영양식량학회지.* 22:138.
 27. 김휘배, 안영근, 김주영, 문재규. 1986. 납의 면역독성이 미치는 인삼의 영향 II. *한국환경독성학회지.* 1:37.
 28. 류경미, 김미경. 1996. 식이 내 Cystine 수준이 흰쥐의 카드뮴과 납 중독에 미치는 영향. *한국영양학회지.* 29:597.
 29. 이명희, 한스 쉐겔. 1994. 식이와 함께 섭취시킨 미량의 납 수준과 납 섭취기간이 납의 체내 및 분포에 미치는 영향. *한국영양학회.* 27:12.
 30. 권오덕, 이현범, 이주목. 1992. 산양의 실험적 납 중독에 관한 임상병리학적 관찰 I (증상, 혈액, 뇨). *대한수의학회지.* 3:127.
- (접수일자 : 2007. 2. 26. / 채택일자 : 2007. 6. 19.)