

단백질 급원과 수준을 달리한 식이가 흰쥐의 납축적에 미치는 영향

김옥경 · 서정숙* · 이명환

서울여자대학 식품과학과 · *서울보건 전문대학 식품영양과

Influence of Dietary Protein Source and Level on Lead Accumulation in Rat

Ok-Kyung Kim · Jeong-Sook Suh* · Myung-Whan Lee

Department of Food Science, Seoul Woman's University

**Department of Food Science, and Nutrition, Seoul Health Junior College*

= ABSTRACT =

In this experiment forty-eight Sprague Dawley male rats were chosen and used in order to measure the growth rates and to see the effects of lead accumulation in their organs resulting from variously controlled lead protein diet.

Protein sources were casein and isolated soyprotein(ISP), and each source was divided into three groups: 7% low protein(LP), 20% standard protein(SP) and 40% high protein(HP) groups. The six experimental groups were given lead acetate(25 mg/kg B.W.) and six control groups were given sodium chloride by oral administration 6 times a week for weeks.

The results from this experiment were summarized as following;

1) Food consumption, weight gain, organ weight and food efficiency: Lead acetate administration with protein source had no effects on food consumption, weight gain and organ weight. By their different levels of protein, food consumption of LP group was less than that of SP and HP groups after 3 weeks, weight gain of LP group was less than that of SP and HP groups after 1 week. The organ weight in LP group was significantly lower than SP and HP groups except teeth and adrenals. Effect of lead acetate administration on food efficiency have significantly lower in LP-ISP diet and HP-casein diet than other groups only first week. By their different levels LP group showed significantly lower than SP group until 3 weeks.

2) Hematopoietic effect: The hematopoietic effect was not influenced by lead acetate administration and protein source. But the LP group showed a significantly

lower hematopoietic effect than the SP, HP groups.

3) Accumulation of lead in the liver, kidney, teeth by protein source showed no significant differences. Accumulation of lead in blood, heart of LP group, spleen of LP and HP groups, femur of SP and HP groups fed with casein diet groups were significantly higher than fed with ISP diet groups. By their different levels LP group showed generally higher than SP and HP groups. But accumulation of lead in teeth of HP group was high also.

서 론

물질문명 발달과 경제수준이 향상됨에 따라 환경오염 및 제반원인에 의한 납, 수은, 비소, 카드뮴 등 중금속 화합물의 피해는 점차 사회문제¹⁾로 대두되고 있으며 이에 관하여는 최근에 Varma등²⁾, Goldberg등³⁾, Grandjean⁴⁾와 서등⁵⁾에 의해 보고된바 있다. 우리나라에서도 곡류, 야채류, 과일 등의 작물에서 중금속이 검출되었다는 보고^{6,7)}도 있고 그 검출량은 해를 거듭할수록 증가하고 있으며 특히 그 양이 미량일지라도 오랜 시일에 걸쳐 강물이나 토양속에 축적되면 이곳에서 생육하고 있는 어패류나 농작물에 축적된후 식품을 통해 인체내에 축적된다^{8,9)}. 인간을 비롯한 동물의 급·만성 납중독 및 축적에 관여하는 많은 연구보고¹⁰⁻²⁷⁾가 되어있다. 중금속 오염중 납오염 예방의 한 방법으로 환경 및 식품의 오염을 사전에 방지하는 것도 중요한 일의 하나일 것이나 현실에는 예기치 않는 오염도 가능하기 때문에 생체의 방어수단도 생각해야 할 것이며 영양상태의 차이에 따라 납에 대한 반응이 다르다는 것은 많은 학자들의 연구결과¹⁸⁻²³⁾로 밝혀졌다. 따라서 독성과 영양과의 상호관계를 연구검토하는 것은 매우 중요한 일이라 생각하며, 본 연구에서는 단백질 급원과 수준을 달리한 식이가 흰쥐의 각 조직의 납 축적에 미치는 영향을 알기 위해 단백질 급원을 casein, isolated soyprotein(ISP)으로하고 그 수준을 저단백질, 표준단백질, 고단백질로 한다음 납을 일정기간 경구 투여하였다.

실험재료 및 방법

1) 재 료

(1) 실험동물의 사육 :

평균체중이 79.0 ± 6.5 인 생후 21일된 Sprague-Dawley종 수컷 48마리를 20% casein 식이로 5일간 적응시

킨후 난괴법에 의해 각 군당 4마리씩 12군으로 나누어 실험식이로 4주간 사육하였고 모든군은 아침 7시부터 10시까지 절식시켜 체중을 측정후 실험군은 쥐의 몸무게 kg당 lead acetate 25mg을 탈이온수에 녹여 1cc씩을, 대조군은 lead acetate 대신 sodium chloride 용액을 각각 1주일에 6번씩 4주간 경구투여하였고 물(탈이온수)과 식이는 제한없이 먹게하였다.

(2) 실험동물의 식이 :

실험식이의 단백질수준은 7%(w/w) 저단백질(low protein:LP), 20% 표준단백질(standard protein:SF), 40% 고단백질(high protein:HP)로 각각 달리하였으며 실험 전 기간의 식이구성 성분은 Table 1과 같이하였다. 탄수화물 급원은 시판 옥수수전분(소료), 단백질 급원으로 Casein(New Zealand Dairy Basal)과 isolated soyprotein(ARDEX[®] F·Archer Daniels Midland company)을 사용하였으며 지방의 급원으로는 시판 대두유(해표)를 사용하였다.

2) 방 법

(1) 사료섭취량, 체중 및 사료효율 :

실험기간동안 사료섭취량과 체중을 매일 측정하였고 사료효율(F.E.R)은 이값으로 부터 산출하였다.

(2) 혈액, 각종장기의 채취 및 분석방법 :

혈액은 김등²⁸⁾의 방법과 같이하여 heparinized vial에 채혈하고, 간은 문맥을 통해 간조직내의 혈액에 남아있는 납을 탈이온수로 씻어내고 희생된 동물은 aluminium foil에 싸서 냉동시킨후 심장, 간장, 비장, 치아, 대퇴골, 부신을 적출한 다음 표면의 혈액을 여과지로 닦은후 무게를 측정하였고 분석할 때 까지 냉동 보관하였으며 이때 사용한 핀셋과 가위는 50% HNO₃ 용액과 50% HCl용액으로 씻은후 탈이온수로 행구워 사용하였다. 혈액(Whole blood)의 납량은 Dithizone법²⁹⁾으로 처리한 다음 Atomic Absorption Spectropho-

tometer (AAS, Fmstrumetal Laboratory Inc. Model 457)로 측정하였고 Hemoglobin(Hb)은 표준색판법(Hemometer), Hematocrit(Ht)는 모세관법³⁰⁾에 의해 각각 측정하였다. 한편 간, 심장, 비장, 치아, 대퇴골등의 기관은 Six등²⁰⁾의 습식분해법에 따라 시료를 만든 후 AAS로 측정하였다.

(3) 통계처리 :

모든 자료는 $\alpha=0.05$ 수준으로 Tukey test에 의해 각 식이군 평균치간의 유의성을 검정하였다.

실험결과 및 고찰

1) 사료섭취량, 체중증가량 및 사료효율

Table 2와 같이 단백질 급원별로 사료의 섭취를 살펴보면 Casein군보다 ISP군이 비교적 적었으며 수준별로는 Carein, ISP군 모두 3주부터 LP군에서 유의적으로 낮았고 남투여군과 비투여군 비교시는 유의적인 차이가 없었다. LP군에 있어서 사료섭취의 감소는 정동³⁰⁾의 식이내 단백질과 철분수준이 흰쥐의 Fe, Cu 및 Zn 대사

Table 1. Composition of experimental diet for animal feeding

Ingredients	7% low protein diet	20% standard protein diet	40% high protein diet
Corn starch (g)	850	720	520
Casein or isolatedsoyprotein (ISP) (g)	70	200	400
Soybean oil (g)	40	40	40
Salt mixture (g) ¹⁾	40	40	40
Vitamin A, D mixture (ml) ²⁾	1	1	1
Vitamin E, K mixture (ml) ³⁾	2	2	2
Water soluble vitamin (g) ⁴⁾	2.8	2.8	2.8
Vitamin B ₁₂ solution (ml) ⁵⁾	1	1	1
1) Salt mixture (g / kg)			
Calcium carbonate	300 g	2) Vitamin A, D mixture	
Potassium phosphate dibasic	322.5 g	Vitamin A	10 mg (85,000 IU)
Magnesium sulfate	102 g	Vitamin D	1 mg (8,500 IU)
Calcium phosphate monobasic	75 g	Corn oil	100 ml
Sodium chloride	167.5 g	3) Vitamin E, K mixture	
Ferric citrate	27.5 g	α -tocopherol acetate	
Potassium iodide	0.8 g	(vitamin E)	2.5g
Cupric sulfate	0.3 g	Menadion (vitamin K)	100 g
Zinc chloride	0.25g	Corn oil	100 ml
Manganese sulfate monohydrates	5 g	4) Water soluble vitamins	
Total	1000.85 g	Choline chloride	200 g
		Thiamin hydrochloride	1 g
		Riboflavin	2 g
		Nicotinic acid	12 g
		Pyridoxine	1 g
		Calcium pantothenate	10 g
		Biotin	5 mg
		Folic acid	400 mg
		Inositol	50 g
		Para- amino benzoic acid	10 mg
		Total	286.405 g
5) Vitamin B ₁₂ solution			
Vitamin B ₁₂	5 mg		
Deionized water	500 ml		

에 미치는 영향에서 LP(5% casein)이 SP(20% casein), HP(40% casein)에 비해 사료섭취량의 감소, Augusta 등³²의 100ppm 납용액의 물을 5주동안 공급받은 쥐의 혈액과 조직의 납농도와 독성에 대한 식이의 영향에서 LP(8% casein + 1% alanin)이 Normal protein(27% casein)에 비해 사료섭취량이 감소한 것과 비슷한 경향을 나타내었다.

체중은 casein군이 ISP군보다 전체적으로 약간 높은 증가가 있었으며 식이 단백질 수준별로는 casein, ISP군 모두가 실험시작 1주부터 LP군이 SP·HP군들보다 훨씬 적은 증가량을 보였으며 납투여군과 비투여군 간에는 유의적인 차이가 없었다.

단백질 급원별 영향은 박동³³의 20% ISP와 20% casein 식이의 비교, 양등³⁴의 14% 표준식이와 14% soybean 식이, 김등³⁵의 15% casein, soyprotein, gluten군 비교에서 soyprotein과 gluten군에서 낮은 체중 증가를 보인 것과 비슷하였다. 이결과는 단백질의 질적인 차이³⁶⁻³⁸에서 오는 현상이라 하겠으며 또한 Sissons³⁹의 보고와 같이 반추동물인 어린양에게 soyprotein을 공급시 rumen내의 면역학적인 과민성반응 때문에 설사, 식욕퇴화, 근육약화, 성장저하와 높은 사망율이 나타난 결과와도 연관되리라 생각된다.

사료효율은 1주에서만 SP·HP-casein군이 SP·HP-ISP군보다 높았고 실험초기에는 3주까지 LP군은 SP·HP군들보다 유의적으로 낮았으며 납투여군과 비투여군간의 사료효율은 1주에서만 LP ISP군과 HP-casein군에서 납투여군이 비투여군 보다 유의적으로 낮았다.

2) 각종 장기의 무게 및 hemoglobin과 hematocrit

각 장기 무게는 Table 3와 같이 단백질 급원별로는 유의적인 차이가 없었으며 단백질 수준별로는 치아와 부신만을 제외하고는 LP군이 SP·HP군들보다 유의적으로 낮았는데 이 결과는 저단백 식이 섭취로 인한 체중 증가의 저하 때문인 것으로 생각된다. 납투여군과 비투여군간의 비교에서는 심장, 치아, 대퇴골, 부신을 제외하고 납투여군의 간, 신장의 장기 무게가 유의적인 차이는 아니나 그 수치가 다소 높았다. 이들의 무게 증가는 권등⁴⁰의 Cellulose Ginseng 및 α -tocopheral의 쥐의 연중독 방어 효과에 관한 연구에서 간의 무게증가, Tadashi등⁴¹의 20% casein 식이와 500ppm의 납을 함유한 물을 19일간 쥐에게 투여시 신장의 무게증가, Stephen⁴²의 출생후 21일 동안 90mg/kg. B.W.의 납량을 투여시 부신과 신장의 무게증가, 또한 Dobbing등⁴³의 어미쥐에게 4% PbCO₃를 투여시 젖먹이 쥐의 비장과

간의 무게가 증가했다는 보고와 비슷한 경향을 나타내었으며 이는 납이 장기 비대에 영향을 준 결과로 사려된다.

조혈효과는 단백질 급원별로는 차이가 없었으나 수준별로는 LP군이 SP·HP군들보다 유의적으로 낮은 수치를 나타내었고 납투여군과 비투여군 간에는 유의적인 차이가 없었다. LP군이 SP·HP군들보다 조혈효과가 낮음은 Augusta등³²의 연구에서 LP(8% casein + 1% alanin) 식이를 섭취한군이 Normal protein(27% casein) 식이를 섭취한군보다 낮았 것과 같은 경향을 나타내었다. 그러나 단백질 급원별에서 Elsa등²⁷의 납 흡수에 대한 식이단백성분의 영향에서 20% casein군과 20% ISP군에 25mg pb/kg. B.W. 용액을 3주동안 투여시 Casein군에서 조혈효과가 유의적으로 낮았음을 보고함도 있었다. 특히 500ppm의 납을 함유한 물과 20% Casein 식이를 19일간 쥐에서 투여한 Tadashi등⁴¹의 실험 조건보다 납투여량이 훨씬 적은 본 실험에서 25mg pb/kg. B.W. 용액을 28일간 공급받은 LP-ISP군의 Hb가 10g 인 것과 같은 결과는 투여되는 납농도는 낮았지만 공급되는 단백질의 양과 질의 영향에 따른 결과로 생각된다.

3) 각 조직중 납함량

각 조직에 축적된 납함량은 Table 4와 같으며 혈액, 심장의 납량은 단백질 급원별로는 LP군에서만 Casein군이 ISP군보다 유의적으로 컸으며 수준별로는 혈액은 LP군이 SP·HP군들보다 유의적으로 컸으며 심장은 LP군중 Casein군이 SP·HP Casein군들보다 컸고 HP·SP의 큰 순서였다. 혈액의 LP군에서 납의 축적이 큼은 Augusta등³⁰의 보고와 Barltrop등²²의 납흡수에 대한 식이 인자의 영향에서 LP(5% Casein)와 CP(20% Casein) 식이에 0.075% PbCl₂를 섞어 48시간동안 사육후 혈액의 납함량이 식이의 저단백 상태로 인한 LP군이 CP군보다 더 큼을 보고함과 비슷한 경향을 나타내었다. 한편 Elsa등²⁷은 단백질 급원별에서 ISP군이 Casein군보다 혈액의 납함량이 유의적으로 낮았음을 보고한 바도 있다. 간, 신장, 치아의 납함량은 단백질 급원별로 볼 때 유의적인 차이가 없었으며 간, 신장은 그 수준별로는 LP군이 SP·HP군들보다 유의적으로 컸으며 치아는 LP와 HP군의 수치가 비슷하며 SP군보다 유의적으로 컸다. 비장의 납함량은 단백질 급원별로 볼 때 LP군과 HP군에서만 Casein군이 ISP군보다 유의적으로 컸고 단백질 수준별로는 LP군이 SP·HP군들보다 유의적으로 컸으며 HP·SP의 큰 순서였다. 이는 Augusta등³⁰의 LP군이 NP군에 비해 비장의 납함량이 유의적

Table 2. Food consumption, body weight gain and food efficiency ratios

Period	Group											
	Lp - Ca ⁺	Lp - Ca ⁻	Lp - soy ⁻	Lp - soy ⁺	Sp - Ca ⁻	Sp - Ca ⁺	Sp - soy ⁻	Sp - soy ⁺	Hp - Ca ⁻	Hp - Ca ⁺	Hp - soy ⁻	Hp - soy ⁺
	Food consumption (g / week)											
1. Week	107.60 ± 6.40 ^{ab**}	93.25 ± 8.14 ^{abc}	97.00 ± 8.12 ^{abc}	78.75 ± 11.09 ^c	107.00 ± 2.45 ^{ab}	110.00 ± 5.77 ^a	103.00 ± 8.12 ^{ab}	89.25 ± 11.87 ^{bc}	97.75 ± 9.00 ^{ab}	91.25 ± 4.79 ^{bc}	95.00 ± 3.74 ^{abc}	93.00 ± 4.97 ^{abc}
2. Week	92.50 ± 9.57 ^c	106.80 ± 6.90 ^{abc}	96.75 ± 3.30 ^{bc}	91.00 ± 5.03 ^c	118.50 ± 1.92 ^{ab}	125.80 ± 7.54 ^a	117.00 ± 12.75 ^{ab}	113.50 ± 12.82 ^{abc}	119.50 ± 11.79 ^{ab}	126.30 ± 15.35 ^a	120.50 ± 7.83 ^a	110.80 ± 6.85 ^{abc}
3. Week	79.50 ± 11.70 ^c	81.25 ± 18.23 ^c	76.75 ± 5.62 ^c	81.25 ± 8.98 ^c	123.81 ± 6.29 ^{ab}	133.04 ± 4.24 ^a	122.52 ± 11.79 ^{ab}	108.81 ± 4.19 ^b	130.00 ± 4.08 ^{ab}	130.00 ± 11.17 ^{ab}	120.81 ± 13.74 ^{ab}	121.84 ± 2.36 ^{ab}
4. Week	97.50 ± 11.70 ^{fe}	100.10 ± 11.69 ^{cd}	78.25 ± 6.30 ^e	77.75 ± 7.32 ^e	131.54 ± 7.51 ^{abcd}	156.02 ± 2.45 ^a	139.01 ± 4.24 ^{abc}	122.01 ± 8.29 ^{de}	134.01 ± 11.46 ^{abcd}	155.54 ± 3.00 ^{ab}	155.82 ± 0.50 ^{ab}	145.01 ± 16.83 ^{abc}
	Body weight gain (g / week)											
1. Week	3.75 ± 4.79 ^{fe}	7.75 ± 3.78 ^{efe}	5.25 ± 2.50 ^{fe}	-0.50 ± 4.98 ^e	47.50 ± 5.00 ^{ab}	41.75 ± 7.89 ^{ab}	20.00 ± 0.00 ^{de}	13.75 ± 4.19 ^{cd}	46.25 ± 4.79 ^{ab}	48.75 ± 9.46 ^{ab}	25.75 ± 4.35 ^{cd}	35.75 ± 4.35 ^{bc}
2. Week	15.00 ± 6.12 ^{bc}	12.75 ± 3.86 ^c	7.00 ± 1.63 ^c	7.00 ± 1.60 ^c	40.00 ± 11.17 ^a	34.05 ± 6.99 ^a	31.00 ± 4.69 ^{ab}	30.75 ± 8.46 ^{ab}	35.50 ± 13.30 ^a	45.50 ± 3.32 ^a	46.25 ± 10.18 ^a	41.25 ± 3.30 ^a
3. Week	23.50 ± 5.87 ^{cd}	13.00 ± 6.48 ^{de}	8.00 ± 1.16 ^c	6.00 ± 3.60 ^c	41.00 ± 2.58 ^{ab}	47.25 ± 2.22 ^{ab}	46.25 ± 9.85 ^{ab}	39.00 ± 3.46 ^b	49.00 ± 10.80 ^{ab}	54.50 ± 7.59 ^a	34.50 ± 9.29 ^{bc}	44.75 ± 0.52 ^{ab}
4. Week	17.25 ± 4.57 ^{de}	25.00 ± 8.91 ^{abcd}	8.00 ± 2.45 ^c	9.25 ± 1.50 ^c	37.50 ± 2.89 ^{abc}	35.00 ± 4.08 ^{abc}	38.75 ± 4.79 ^{ab}	39.50 ± 6.66 ^a	24.00 ± 7.62 ^{cd}	41.25 ± 10.31 ^a	33.25 ± 2.36 ^{abc}	35.00 ± 5.77 ^{abc}
	Food efficiency ratios											
1. Week	0.11 ± 0.14 ^{fs}	0.25 ± 0.09 ^{ef}	0.28 ± 0.01 ^{ef}	-0.32 ± 0.23 ^e	1.38 ± 0.21 ^{ab}	1.18 ± 0.02 ^{abc}	0.61 ± 0.01 ^{cd}	0.52 ± 0.23 ^{def}	1.55 ± 0.45 ^a	0.89 ± 0.33 ^{bcd}	0.74 ± 0.14 ^{cd}	1.04 ± 0.17 ^{abcd}
2. Week	0.47 ± 0.16 ^b	0.42 ± 0.14 ^b	0.33 ± 0.17 ^b	0.51 ± 0.35 ^b	1.35 ± 0.36 ^a	1.27 ± 0.34 ^a	1.28 ± 0.13 ^a	1.16 ± 0.21 ^a	1.35 ± 0.29 ^a	1.48 ± 0.11 ^a	1.21 ± 0.25 ^a	1.43 ± 0.17 ^a
3. Week	0.78 ± 0.30 ^{bc}	0.32 ± 0.09 ^c	0.48 ± 0.06 ^c	0.26 ± 0.03 ^c	1.47 ± 0.32 ^a	1.36 ± 0.18 ^{ab}	1.53 ± 0.21 ^a	1.33 ± 0.26 ^{ab}	1.67 ± 0.31 ^a	1.51 ± 0.25 ^a	1.35 ± 0.34 ^{ab}	1.53 ± 0.08 ^a
4. Week	0.72 ± 0.26 ^{abc}	0.48 ± 0.27 ^{bc}	0.63 ± 0.58 ^{abc}	0.31 ± 0.13 ^c	1.05 ± 0.08 ^{ab}	0.90 ± 0.11 ^{abc}	1.09 ± 0.16 ^a	1.16 ± 0.13 ^a	0.66 ± 0.24 ^{abc}	1.21 ± 0.24 ^a	1.22 ± 0.05 ^{ab}	0.93 ± 0.12 ^{ab}

* : Mean ± S. D

** : Values within a row not followed by the same letter are significantly different at $\alpha=0.05$ level by Tukey test.

LP Ca (low protein casein)

SP Ca (Standard protein casein)

HP Ca (High protein casein)

LP soy (low protein isolated soyprotein)

SP soy (Standard protein isolated soyprotein)

HP soy (High protein isolated soyprotein)

-(nontreatment group) + (lead acetate treatment group)

Table 3. Organ weights and hematopoietic effects of rats

Group	Lp - Ca ⁻	Lp - Ca ⁺	Lp - soy ⁻	Lp - soy ⁺	Sp - Ca ⁻	Sp - Ca ⁺	Sp - soy ⁻	Sp - soy ⁺	Hp - Ca ⁻	Hp - Ca ⁺	Hp - soy ⁻	Hp - soy ⁺
	Organ weight of rats (g)											
Heart	0.40 ± 0.08 ^{**d}	0.44 ± 0.02 ^d	0.42 ± 0.05 ^d	0.35 ± 0.01 ^d	0.73 ± 0.08 ^{ab}	0.72 ± 0.06 ^{abc}	0.64 ± 0.10 ^{bc}	0.60 ± 0.04 ^c	0.72 ± 0.02 ^{abc}	0.79 ± 0.05 ^a	0.71 ± 0.05 ^{abc}	0.67 ± 0.07 ^{abc}
Liver	3.43 ± 0.36 ^d	4.66 ± 0.20 ^d	3.98 ± 0.77 ^d	3.94 ± 0.74 ^d	7.80 ± 0.55 ^b	8.29 ± 0.50 ^b	6.26 ± 0.56 ^c	7.01 ± 0.47 ^{bc}	7.64 ± 0.84 ^{bc}	9.99 ± 0.70 ^a	6.89 ± 0.38 ^{bc}	7.30 ± 0.88 ^{bc}
Kidney	0.69 ± 0.44 ^d	0.85 ± 0.10 ^d	1.82 ± 0.04 ^d	0.72 ± 0.13 ^d	1.63 ± 0.22 ^{bc}	1.80 ± 0.13 ^{bc}	1.46 ± 0.16 ^c	1.61 ± 0.11 ^{bc}	1.77 ± 0.11 ^{bc}	2.22 ± 0.19 ^a	1.78 ± 0.20 ^{bc}	1.89 ± 0.07 ^a
Spleen	0.21 ± 0.07 ^d	0.22 ± 0.05 ^d	0.20 ± 0.05 ^d	0.23 ± 0.04 ^{cd}	0.44 ± 0.07 ^{ab}	0.53 ± 0.10 ^a	0.38 ± 0.01 ^{bc}	0.45 ± 0.04 ^{ab}	0.45 ± 0.08 ^{ab}	0.55 ± 0.06 ^a	0.45 ± 0.07 ^{ab}	0.46 ± 0.02 ^{ab}
Teeth	1.48 ± 0.27 ^a	1.18 ± 0.09 ^a	1.45 ± 0.57 ^a	1.31 ± 0.06 ^a	1.48 ± 0.07 ^a	1.52 ± 0.18 ^a	1.42 ± 0.15 ^a	1.48 ± 0.03 ^a	1.28 ± 0.10 ^a	1.14 ± 0.03 ^a	1.07 ± 0.04 ^a	1.08 ± 0.08 ^a
Femur	0.88 ± 0.16 ^d	1.20 ± 0.14 ^{dc}	1.02 ± 0.28 ^d	0.95 ± 0.05 ^d	1.90 ± 0.16 ^a	1.77 ± 0.15 ^{ab}	1.62 ± 0.17 ^{ab}	1.65 ± 0.06 ^{ab}	1.69 ± 0.17 ^{ab}	1.72 ± 0.05 ^{ab}	1.47 ± 0.25 ^{bc}	1.62 ± 0.01 ^{ab}
Adrenal gland	0.01 ± 0.00 ^{ab}	0.01 ± 0.00 ^{ab}	0.01 ± 0.00 ^{ab}	0.01 ± 0.00 ^{ab}	0.02 ± 0.01 ^{ab}	0.03 ± 0.01 ^a	0.02 ± 0.01 ^{ab}	0.02 ± 0.01 ^{ab}	0.02 ± 0.00 ^{ab}	0.02 ± 0.01 ^{ab}	0.02 ± 0.01 ^{ab}	0.02 ± 0.01 ^{ab}
Hematopoietic effect of rats (g/100ml)												
Hemoglobin	12.63 ± 0.48 ^{cd}	11.00 ± 1.16 ^{de}	11.25 ± 1.50 ^{de}	10.25 ± 0.50 ^e	15.40 ± 0.47 ^{ab}	14.75 ± 0.29 ^b	17.08 ± 0.30 ^a	14.50 ± 0.58 ^{bc}	16.33 ± 1.14 ^{ab}	15.50 ± 0.41 ^{ab}	16.00 ± 0.41 ^{ab}	15.13 ± 0.85 ^b
Hematocrit	37.00 ± 2.16 ^b	35.75 ± 0.96 ^b	34.50 ± 1.73 ^{bc}	31.75 ± 2.36 ^c	44.50 ± 0.58 ^a	44.83 ± 0.57 ^a	45.23 ± 0.21 ^a	43.80 ± 0.91 ^a	46.25 ± 0.31 ^a	44.63 ± 0.48 ^a	46.03 ± 0.78 ^a	45.65 ± 2.38 ^a

* : Mean ± S. D.

** : Values within a row not followed by the same letter are significantly different at $\alpha = 0.05$ level by Tukey test.

Table 4. Concentration of lead in blood and tissues

Organ	Group											
	Lp-Ca ⁻	Lp-Ca ⁺	Lp-soy ⁻	Lp-soy ⁺	Sp-Ca ⁻	Sp-Ca ⁺	Sp-soy ⁻	Sp-soy ⁺	Hp-Ca ⁻	Hp-Ca ⁺	Hp-soy ⁻	Hp-soy ⁺
Blood	5.23 ± 3.25 ^{a1,1*}	45.67 ± 4.11 ^a	4.26 ± 1.80 ^{a1,1*}	40.50 ± 3.32 ^b	0.15 ± 0.10 ^a	13.31 ± 5.11 ^{cd}	0.10 ± 0.08 ^a	12.46 ± 1.86 ^{cd,de}	5.75 ± 1.71 ^{e1,1*}	18.89 ± 3.18 ^e	5.73 ± 0.57 ^{1,1*}	17.58 ± 2.12 ^e
Heart	0.77 ± 0.25 ^e	13.62 ± 3.10 ^a	0.12 ± 0.05 ^e	0.53 ± 0.78 ^{bc}	1.49 ± 0.99 ^{de}	5.01 ± 1.32 ^{cd}	1.77 ± 0.89 ^{de}	7.01 ± 1.98 ^{bc}	1.38 ± 0.87 ^e	10.30 ± 1.68 ^b	1.00 ± 1.30 ^e	7.36 ± 1.69 ^{bc}
Liver	0.42 ± 0.06 ^d	7.47 ± 1.78 ^a	0.57 ± 0.29 ^d	5.34 ± 0.30 ^{ab}	0.68 ± 0.13 ^d	4.31 ± 0.36 ^b	1.46 ± 0.21 ^{1,cd}	3.76 ± 0.52 ^b	0.54 ± 0.43 ^d	3.81 ± 2.08 ^b	0.53 ± 0.41 ^d	3.31 ± 1.24 ^{bc}
Kidney	0.42 ± 0.14 ^f	19.89 ± 0.76 ^a	0.45 ± 0.10 ^f	17.28 ± 3.18 ^a	1.97 ± 0.79 ^{ef}	7.67 ± 1.64 ^{cd}	1.65 ± 0.99 ^{ef}	4.73 ± 0.87 ^{de}	1.96 ± 0.29 ^{ef}	11.94 ± 2.04 ^b	1.39 ± 1.14 ^{ef}	10.55 ± 1.59 ^{bc}
Spleen	2.52 ± 0.70 ^{de}	39.91 ± 7.73 ^a	2.31 ± 0.84 ^{de}	27.64 ± 0.93 ^b	1.15 ± 0.15 ^e	12.69 ± 3.88 ^e	0.29 ± 0.05 ^e	8.56 ± 1.94 ^{cd}	2.61 ± 0.68 ^{de}	20.89 ± 3.67 ^b	1.63 ± 0.54 ^{de}	13.64 ± 2.54 ^e
Teeth	7.23 ± 0.22 ^d	99.17 ± 31.53 ^{ab}	8.08 ± 1.24 ^d	89.97 ± 12.27 ^{ab}	7.19 ± 2.63 ^d	70.38 ± 10.80 ^e	7.32 ± 0.75 ^d	51.88 ± 11.07 ^e	12.37 ± 2.54 ^d	110.5 ± 6.79 ^a	3.69 ± 3.00 ^d	109.8 ± 13.40 ^a
Femur	8.47 ± 0.81 ^d	90.4 ± 10.50 ^{ab}	7.03 ± 1.64 ^d	81.67 ± 11.07 ^{ab}	9.10 ± 1.53 ^{ab}	73.02 ± 8.93 ^{ab}	7.02 ± 1.24 ^d	55.59 ± 5.42 ^e	11.26 ± 0.86 ^d	91.96 ± 8.72 ^a	10.80 ± 1.99 ^d	70.23 ± 22.27 ^{bc}

* : Mean ± S. D.

** : Values within a row not followed by the same letter are significantly different at $\alpha=0.05$ level by Tukey test.

Blood : $\mu\text{g} / \text{dl}$
all others : $\mu\text{g} / \text{g}$ wet tissue

으로 컸다는 보고와 비슷한 경향을 나타내었다. Mylroie 등²⁴⁾은 1,000ppm의 Pb를 물에 첨가하여 Purina Rat Chow (stock diet)와 NPT(Normal protein diet)로 쥐를 사육시 2배의 지방함량, 무섬유, 저무기질, 전분 대신 sucrose를 함유한 NPT diet이 chow diet보다 정제된 상태, 특히 무기질이 적기 때문에 납독성에 대한 민감성이 증가 되어 비장의 납함량이 큼을 보고하였다. 대퇴골의 납함량은 단백질 급원별로는 SP 군과 HP군에서 Casein군이 ISP군보다 높았고 그 수준별로는 LP·HP군들이 서로 비슷하였고 SP군은 아보다 낮은 수치를 나타내었다. Stanley등⁴⁰⁾의 보고에 따르면 인간 조직에 있어 Tibia의 납농도는 23.58ppm임을 보고하였고 특히 Tibia는 다른 연조직과는 달리 나이가 많아짐에 따라 많은 양이 축적되어 있음을 보고하였다. 본 실험에서도 다른조직보다 뼈에 납축적이 큼을 나타내었다. Milton등⁴⁵⁾의 납 중독된 어미에 의해 사육된 어린쥐의 납 분포 연구에서 납 투여후 대퇴골의 납 보유량이 다른 뼈보다 가장 컸음을 보고하였고 또한 뼈에 축적된 납 대사는 잘 이해할 수 없으나 Pb crystal salt로 침착하여 유기적 matrix와 점차적으로 binding하여 생기는 것으로 생각된다고 보고하였다. 또한 Goldberg³⁾도 뼈에 있는 납은 불용성의 lead triphosphate로 침착되어 있음을 보고하였다.

이상과 같이 단백질 급원에 따른 납투여시 체내 조직중의 납 축적 결과는 모든 조직은 아니지만 혈액과 심장의 LP군에서, 비장의 LP·HP군들에서 대퇴골의 SP·HP군들에서 Casein군이 ISP군보다 체내의 납 축적을 크게 하였다. 이 결과는 Elsa등²⁷⁾의 보고에서 Soybean meal에 있는 phytate는 Copper(II), Zinc(II), Calcium(II)과 같은 2가 이온과 강하게 결합하여 Casein군 보다 조직내의 납 흡수가 적게 된다는 보고가 뒷받침 하고있다. 한편 단백질 수준별로는 일반적으로 LP군이 체내의 납 축적을 크게 하였고 혈액, 심장, 신장, 비장, 대퇴골에서는 SP군보다 HP군에서 납 축적을 크게 하였다. 이는 Barenstein등⁴⁶⁾과 Milev등⁴⁷⁾의 고단백질과 저단백질 식이에서 납의 축적이 증가됐다는 보고와 비슷하였다. 납투여후 저, 고단백질 식이가 표준단백질보다 체내 일부 조직의 납축적이 더 컸던 것은 저단백질의 경우 Gontzea등⁴⁸⁾은 저단백 식이가 간에서의 납 해독능력을 감소시키므로 납 축적을 크게 한다는 가설과 Ca-binding-protein이 납의 흡수에 관여 한다는 Bartrop등⁴⁹⁾의 보고에 따라 고단백 식이가 납의 흡수를 촉진한 결과로 사려된다.

결 론

본 연구에서는 식이 단백질 급원을 Casein 또는 Isolated soyprotein(ISP)으로 하고 그 수준을 7% 저단백질(low protein·LP), 20% 표준단백질(standard protein·SP), 40% 고단백질(high protein·HP)로 나누어 4주동안 흰쥐를 사육하면서 1주일에 6번 납을 경구 투여하여 납투여군(25mg/10g B.W.)과 비투여군 쥐의 성장 및 조직의 축적된 납량을 측정된 결과는 다음과 같았다.

1) 사료섭취량, 체중증가량, 사료효율과 각장기무게: 사료섭취량과 체중증가량은 단백질 급원별에서 Casein군이 ISP군보다 비교적 컸으며 수준별로는 사료섭취량은 3주부터, 체중증가량은 1주부터 LP군이 SP·HP군들보다 낮았으며 납투여에 의한 사료섭취량, 체중증가량의 영향은 없었다.

사료효율은 단백질 급원별에서 1주에서 SP·HP·Casein군이 SP·HP·ISP군보다 높았고 수준별로는 3주까지 LP군이 SP군보다 유의적으로 낮았으며 납투여에 의한 영향은 1주에서만 LP·ISP군과 HP·casein군에서 영향을 받아 유의적으로 낮았다.

장기무게는 단백질 급원별로는 차이가 없었으며 수준별로는 치아와 부신만을 제외하고 LP군이 SP·HP군들보다 유의적으로 낮았고 납투여에 의한 장기무게는 유의적인 차이가 없었다.

2) 조절효과: 단백질 급원별에 따른 조절효과와 유의적인 차이가 없었으며 수준별로는 LP군이 SP·HP군들보다 유의적으로 낮았고 납투여에 의한 영향은 없었다.

3) 각 조직중 납함량: 간장, 신장, 치아에서는 단백질 급원별에 따른 유의적인 차이가 없었으나 혈액과 심장의 LP군, 비장의 LP·HP군들, 대퇴골의 SP·HP군들은 Casein군이ISP군보다 유의적으로 납축적이 컸고 수준별로는 일반적으로 LP군에서 납축적이 컸으며 특히 치아에서는 HP군에서도 납축적이 컸다.

REFERENCES

- 1) Clausen, J. and S.C. Rostog: *Heavy metal pollution among auto workers. J. Indus. Med., 34: 208-215, 1977.*

- 2) M.M. Varma, and K.T. Doty: *Environmental lead contamination. J. of Environ Health* 42(2): 68-71, 1979.
- 3) A. Goldberg: *Review of recent advances of lead in clinical research. J. Postgrad. Med.* 51: 747-750, 1975.
- 4) Grand Jean P.: *Widening perspectives of lead toxicity. Environ. Res.* 17:303-321, 1978.
- 5) 서정현: 공단 주민 건강 피해에 관한 조사. 국립환경 연구소보. 3:205-220, 1981.
- 6) 송 철: 식품중 유해성 미량금속에 대한 연구. 국립보건 연구원보. 13:249-255, 1976.
- 7) 김길생: 야채 및 과일류중의 미량금속의 분포에 관한 연구. 국립보건 연구원보. 18:363-367, 1981.
- 8) Dudas, M.J.P.: *Trace elements in sewage and metal uptake by plant grown rhudge amended soil*
- 9) Motto, H.L., R.H. Daines, D.M. Chipko and C.K. Motto: *Lead in soils and plants: its relationship to traffic volume and proximity to highways. Environ. Sci. Tech.* 4:231-237, 1970.
- 10) Environ Mental Protection Agency: *The environmental lead problem. EPA-570/9-79-003, U. S. Environmental Protection Agency. Washington D.C.* 1979.
- 11) Hernberg, S.: *Biochemical and clinical effects and response as indicated by blood concentration. In lead Toxicity. R.L. Singhol and J.A. Thomas(Eds), urban and schwarzenberg. Baltimore. MD. pp. 79-118, 1980.*
- 12) Tsuchiya, K.: *In handbook on the toxicology of metals. L. Friberg, G.F. Nordberg, and V.B. Vouk(Eds). Elsevier/North Holland Biochemical press. New York NY. pp. 451-484, 1979.*
- 13) Krigman, M.R., Bouldin, J.W. and Mushak. P.: *In Experimental and Clinical Neurotoxicology P.S. Spencer and H.H. Schaumburg(Eds). Williams and Wilkins Co. Baltimore MD. pp. 490-507, 1980.*
- 14) Hernberg, S.: *In Effects and Dose-Response Relationships of Toxic Metals, G. F. Nordberg(Ed). Elsevier/North Holland Biochemical Press. New York NY. pp. 404-415, 1976.*
- 15) Wilson, V.K. Thompson, M.L. and Dent, C.E.: *Amino aciduria in lead poisoning. Lancet* 2:66, 1953
- 16) Chilsolm, J.J. Hamison, H.C., Eberlein, W.R. and Harrison, H.E.: *Amino aciduria, hypophosphatemia, and rickets in lead poisoning. Am. J. Dis. Child.* 89:159-168, 1955.
- 17) Simon Karpatkin. M.D.: *Lead poisoning after taking Pb acetate with suicidal intent Arch. Environ. Health.* 2, 1961.
- 18) Mahatty, K.R.: *Nutritional factors and susceptibility to lead toxicity. Environ. Health. Perspect* 7:107-112, 1974.
- 19) Dillemar, L. Scifter. J. Kuehn A.D. and Ecker, E.E.: *Vitamin C in chronic lead poisoning. Am. J. Med. Sci.* 200. 322. 1940.
- 20) Six, K.M. and Goyer, R.M.: *The influence of iron deficiency on tissue content and toxicity of ingested lead in the rat. J. Lab. Clin. Med.,* 79:128-136, 1972.
- 21) Bartrop, D. and Khoo. H.E.: *The influence of dietary minerals and fat on the absorption of lead. Sci. Total Environ.* 6:265-273, 1976.
- 22) Bartrop, D. and Khoo. H.E.: *The influence of factors on lead and absorption. J. Postgrad. Med.* 51:797-800, 1975.
- 23) Sobel, A.E. Yuska, H. Peters, D.D. and Kramer, B.: *The biochemical behavior of Pb. J. Biol. Chem.* 132:239-265, 1940.
- 24) Mylroie, A.A. Moore, L. Olyai, B. and Anderson. M.: *Increased susceptibility to lead toxicity in rats fed semipurified diets. Environ. Res.* 15: 57-64, 1978.
- 25) Kello, D. and Kostial, K.: *The effect of milk diet on lead metabolism in rats. Environ. Res.* 6:355-360, 1973.
- 26) Kao, R.L. and R.N. Forbes: *Lead and vitamin effects on heme synthesis. Arch. Emiron. Health.* 27:31-35, 1973.
- 27) Elsa. Anders, C. Robert Bagnell Jr. Martin R. Krigman. and Paul Mushak: *Influence of dietary protein on lead Absorption in Rats. Bull. Environ. Contam. Toxicol* 28:61-67, 1982.

- 28) 김갑순·김미경 : 식이내 Cu의 수준과 지방의 종류를 달리 하였을때 흰쥐의 지방대사에 미치는 영향. 한국영양학회지, 17(3):185-192, 1984.
- 29) 多田治 : 鉛の測定法. 労働の科學, 22(4):32-35, 1967.
- 30) Mc Govern : *New England J. Med.* 253. 308 1955. Cited by 金井泉 臨床検査法提要.
- 31) 정해방·김미경 : 식이내 단백질과 철분 수준이 흰쥐의 Fe, Cu 및 Zn 대사에 미치는 영향. 한국영양학회지, 15(4):258-267, 1982.
- 32) Augusta A. Mylroie, Lornald Moore, and Uthman Erogbo : *Influence of Dietary Factors on Blood and Tissue lead Concentrations and lead Toxicity. Toxicol. Appl. Pharmacol.* 41: 361-367, 1977.
- 33) 박양자·한인규 : 대두단백질에 DL-Methionine의 보충이 흰쥐의 성장, 체내대사 및 체조성에 미치는 영향. 한국영양학회지, 17(2):94-100, 1984.
- 34) 양현곤·유종근 : 열처리 대두침가급식이 흰쥐의 영향에 미치는 영향. 고려대학 의학지, 10(3). 1973.
- 35) 김화영·정숙현 : 단백질급원의 변화와 열량제한 및 식이회복이 흰쥐의 성장발달에 미치는 영향. 한국영양학회지, 16(4):263-273, 1983.
- 36) 高橋己幸 : 豆類蛋白質の消化度に關する研究 I. II. 栄養と食糧, 12:198-203, 1959.
- 37) Pratt, G.V. and Delhmen, G. : *The absorption of amino acid mixture from the small intestine of the rats. J. Nutr.* 77. 53. 1962.
- 38) 吉田昭 芦田淳 : 米タンパク質中アゾ酸の吸收 栄養と食糧, 20:504, 1967.
- 39) J.W. Sissions : *Effects of soya-bean products on digestive process in the gastrointestinal tract of preruminant calves. Proc. Nutr. Soc.* 41. 53. 1982.
- 40) 권혁희·유정렬 : Cellulose, Ginseng 및 α -tocopherol의 쥐의 연중독 방어 효과에 관한연구. 한국영양학회지, 17(3):193-198, 1984.
- 41) Tadashi Suzuki and Akira Yoshida: *Effect of Dietary Supplementation of Iron and Ascorbic acid on lead toxicity in Rats J. Nutr.* 109:982-988, 1979.
- 42) Stephen, R. Overmann: *Behavioral effects of asymptomatic lead exposure during neonatal development in rats. Toxicol. Appl. Pharmacol.* 41: 459-471, 1971.
- 43) Ann Dobbins, D.R. Jhonson, P. Nathan: *Effect of exposure to lead on maturation of intestinal iron absorption of rats. J. Toxicol. Environ. Health.* 4:541-550, 1978.
- 44) Stanley B. Gross, Emil A. Pfitzer. David W. Yeager and Robert A. Kehoe : *Lead in human tissues. Toxicol. Appl. Pharmacol.* 32:638-651, 1975.
- 45) Milton R. Hejtmanick, Jr. Earl B. Dawson, Betty J. Williams : *Tissue distribution of lead in rat pups nourished by lead poisoned mothers. J. Toxicol. Environ. Health* 9:77-86, 1982.
- 46) Baernstein, H.D. and Grand, J.A. : *The relation of protein intake to lead poisoning in rats. J. Pharmacol. Exp. Therapeutics.* 74. 18, 1942.
- 47) Milev. N. Sater, E.L. and Menden. N. : *Aufnahme und Einrgerung Von Blei im Körper unter Verschiedenen Ernährung Sbedinghngen. Medizin and Ernährung* 11:29, 1970.
- 48) Gontzea, L. Sutezesco, P. & Bistriceanu, E : *Recherches sur le rôle de l'apport proteique surles moyens de defense de iorganisme envrs quelques toxiques chimiques Archives des Maladies Profession nelles de Médecine du Travail et de sécurité Sociale* 31: 471, 1970
- 49) D. Barltrop. MD. F.R.C.P and F. Meek. A.A. I.M.T. : *Absorption of different lead componnds. J. Postgrad. Med.* 51: 805-811. 1975.