

아연의 섭취 수준이 흰쥐의 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨 함량에 미치는 영향

김현숙[†] · 강문희 · 승정자
숙명여자대학교 식품영양학과

Effect of Dietary Zinc Levels on Calcium, Magnesium, Sodium, and Potassium Contents in Rats

Hyun-Sook Kim[†], Mun-Hui Kang, and Chung-Ja Sung

Dept. of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742, Korea

Abstract

The effect of dietary zinc levels on macro mineral contents was investigated in rats. Rats were divided into three groups by zinc levels, such as low (50% of requirement, Zn/L), adequate (100%, Zn/A) and high (200%, Zn/H) levels of dietary zinc. The calcium, magnesium, sodium and potassium contents in serum and organs were measured. The food intake was significantly higher in Zn/L group compared to that of Zn/H group. The body weight gain in Zn/H group was significantly lower than that of other two groups. There were no significant differences in liver, kidney and spleen weights. Also, serum calcium, magnesium, sodium and potassium concentrations were not significantly changed by the zinc diet at any level. In the low zinc diet group, liver calcium content was significantly lower, but the magnesium and potassium contents in spleen were significantly higher than that in other groups. The calcium, magnesium, sodium and potassium contents of kidney were not significantly different for any level of zinc. In conclusion, the macro mineral contents of liver and spleen in the normal rats were changed by zinc levels. Based on this study, the interaction between micro and macro minerals remains to be further studied.

Key words: zinc, calcium, magnesium, sodium, potassium

서 론

무기질은 체내 다양한 생리기능을 조절, 유지하는데 중요한 역할을 한다. 일반적으로 식이 무기질 함량이 증가하면 흡수도 증가하고 조직의 보유도 증가하는데 무기질 사이의 상호 작용은 소장 무기질 흡수뿐만 아니라 조직과 기관에서 흡수된 무기질의 분포에도 영향을 준다. 생체에 필수적인 아연은 골격보다 연조직에 존재하는 양이 많고 특히 혈액, 간, 신장, 비장 등에서는 아연의 공급 수준에 따라 축적 및 전환이 급격히 일어나서 체내 아연의 항상성 조절에 중요한 역할을 한다(1,2).

아연과 다른 무기질의 상호작용에 관한 연구에서 아연을 공급한 쥐의 혈액, 심장, 신장, 간에서 아연의 함량은 증가하였고 신장과 간의 철분은 감소하였으나 혈청과 조직 내 마그네슘은 변화가 없었다. 아연을 독성 수준으로 공급했을 때 쥐에서 간의 철분 함량이 감소되었고(3), 아연 결핍 쥐의 간, 근육, 비장, 대퇴부, 혈청 아연 농도가 감소하였다(4). 아연 결핍 기니피그는 간과 신장의 구리, 철분 함량은 증가하였으나 간과 신장의 나트륨, 칼륨, 아연 함량은 감소하였다(5).

또한 아연은 칼슘과 불용성염을 형성하여 소장에서 칼슘의 흡수를 저해하며, 동물실험에서도 과량의 아연은 칼슘과 인의 흡수를 저해시켜 골격의 칼슘과 인의 함량이 감소되었다고 한다(6). 장점막에서 아연은 구리와 길항작용에 의해 구리의 흡수를 저해하는데(7), 과량의 아연은 철과 구리의 체내 이용률을 저해하고 배설을 증가시켜 간의 철과 구리의 보유를 감소시켰다는 보고도 있다(8). 한편, 아연은 철의 과량 투여 시 체내 수준이 감소되는 것이 일부 동물 연구에서 보고되고 있어 아연은 다양한 무기질과 상호 작용을 한다(9,10). 그러나 지금까지 아연과 철분, 구리, 망간 등 일부 미량 무기질의 변화에 대한 연구가 수행되었지만 다량 무기질과의 관계에 대한 연구는 매우 부족한 실정이며, 아연과 칼슘의 상호 관계를 보고한 연구들을 고려할 때 아연 섭취 수준에 따라 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨과 같은 다량 무기질의 체내 분포에도 영향이 있을 것으로 사료되어 이에 대한 연구가 요구된다.

일부 미량 무기질의 결핍 또는 과잉은 다른 무기질과 대사 산물들의 흡수를 저해하거나 요 중으로 배설을 촉진시켜 혈액 또는 조직의 농도 변화를 초래한다(11-13). 미량 무기질

[†]Corresponding author. E-mail: kimhs4324@hanmail.net
Phone: 82-33-342-7365, Fax: 82-33-342-7368

과 다량 무기질 간의 관계에 대한 연구에서 Jun(14)은 철분 수준에 따른 혈액 및 간장의 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨 수준이 차이가 없었지만, 신장의 칼슘은 철분의 과잉 섭취로 높았고 나트륨 함량은 낮았다고 하였다. 또한 철분 보충에 따라 무기질의 길보기 흡수율은 유의한 차이가 없었지만, 칼슘, 철분, 구리, 아연의 소변 중 배설량은 철분 보충에 따라 유의적으로 감소함으로써 장기적인 철분 보충은 무기질의 체내 보유량이 감소함에 따라 영양상태가 저하될 수 있을 것이라고 보고하였다(15). Choi와 Jun(16)은 구리 공급수준이 높을수록 혈청 철분 함량은 감소하고 구리 함량은 증가하였으나 아연, 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨은 차이가 없었다고 하였다. 이와 같이 철분, 구리 등과 다량 무기질과의 관계에 대한 연구가 진행되었지만, 아연과 다량 무기질과의 관계에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 아연 섭취 수준에 따른 체내 다량 무기질의 함량 변화를 알아보기 위해 흰쥐에게 아연 요구량의 50%, 100%, 200% 수준으로 공급한 후 혈청 및 조직의 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨 함량을 측정하였다.

재료 및 방법

실험동물 및 식이

동물은 체중 100 ± 10 g인 Sprague-Dawley계 숫쥐로 고형사료로 1주일간 적응시킨 후 아연 공급수준에 따라 임의 배치법으로 각 8마리씩 3군으로 나누어 6주간 사육하였다. 사육실은 항온항습($22 \pm 2^\circ\text{C}$, $65 \pm 2\%$ RH) 하에서 12시간 주기로 명암이 자동 조절되었고, 모든 사료와 물은 자유 급식 시켰다. 무기질의 오염을 방지하기 위하여 사육 및 실험에 필요한 모든 기구들은 0.4% EDTA 용액에 하루 이상 담갔다가 증류수로 3번 이상 세척하고 완전히 말린 후 사용하였다.

식이의 배합은 AIN-76(17)과 NAS-NRC(18)를 기준으로 하였으며 조성은 Table 1과 같다. 이때 전체 사료의 에너지 밀도는 3.34 kcal/g, 탄수화물 : 지방 : 단백질의 비율이 72.2:5.56:22.2가 되도록 조성하였다. 아연은 zinc carbonate 형태로 요구량의 50%(15 ppm, Zn/L), 100%(30 ppm, Zn/A), 200%(60 ppm, Zn/H) 수준으로 공급하였다.

식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율

식이섭취량은 매일 같은 시각에 측정하였고 전날 채워 둔 사료통의 무게에서 그날의 무게를 뺀 값으로 계산하였다. 체중은 일주일에 한번 측정하였고 식이섭취로 인한 갑작스러운 체중의 변화를 막기 위하여 2시간 전에 사료통을 제거한 후 실시하였다. 식이효율은 일주일간 측정된 체중과 같은 기간의 식이섭취량을 이용하여 계산하였다.

사료채취

사육이 끝난 후 혈액과 조직을 채취하였으며, 혈액이 혼탁해지는 것을 막기 위하여 15시간 정도 절식시킨 후 개체별로

Table 1. Dietary groups and formulation of experimental diet

Ingredient	Groups		
	Zn/L	Zn/A	Zn/H
Casein	20.0	20.0	20.0
Sucrose	50.0	50.0	50.0
Corn starch	15.0	15.0	15.0
Corn oil	5.0	5.0	5.0
α -Cellulose	5.0	5.0	5.0
Vitamin mixture ¹⁾	1.0	1.0	1.0
Mineral mixture ²⁾	3.5	3.5	3.5
(Zinc carbonate)	(15 ppm)	(30 ppm)	(60 ppm)
DL-Methionine	0.3	0.3	0.3
Choline bitartrate	0.2	0.2	0.2
BHT ³⁾	0.001	0.001	0.001
Metabolize calories (kcal/g diet)	3.34	3.34	3.34

¹⁾Vitamin mixture: thiamin · HCl, 600 mg; riboflavin, 600 mg; pyridoxine · HCl, 700 mg; nicotinic acid, 3 g; D-calcium pantothenate, 1.6 g; folic acid, 200 mg; D-biotin, 20 mg; cyanocobalamin, 1 mg; retinyl acetate, 400,000 I.U.; dl- α -tocopherol acetate, 5,000 I.U.; cholecalciferol, 2.5 mg; menaquinone, 5 mg; sucrose, finely powdered to make 1,000 g.

²⁾Mineral mixture: calcium phosphate · dibasic, 500.0 g; sodium chloride, 74 g; potassium citrate · monohydrate, 220.0 g; potassium sulfate, 52.0 g; magnesium oxide, 24.0 g; manganous carbonate, 3.5 g; ferric citrate, 6.0 g; zinc carbonate, 1.6 g; cupric carbonate, 0.3 g; potassium iodate, 0.01 g; sodium selenite, 0.01 g; chromium potassium sulfate, 0.55 g; sucrose, finely powdered to make 1,000 g.

³⁾Butylated hydroxytoluene as antioxidant was added 0.02% of oil.

체중을 측정하였고, 채혈 후 간과 신장, 비장을 적출하여 생리식염수로 표면에 묻은 혈액을 씻어내고 지방을 제거한 다음 수분을 제거하고 무게를 측정 후 분석 전까지 -70°C 에서 보관하였다.

다량 무기질 함량 분석

혈액 및 간, 신장, 비장 등의 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨을 분석하기 위하여 ternary solution으로 분해한 후 ICP (Inductively coupled plasma; Shimadzu 8500, Kyoto, Japan)로 측정하였다.

통계분석

실험의 결과는 SAS program을 이용하여 평균 \pm 표준편차를 계산하였고 GLM(general linear model) 분석하였다. 각 군 간의 유의성은 Duncan's multiple range test로 $\alpha=0.05$ 수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

사료섭취량, 체중증가량 및 사료효율

아연 섭취 수준에 따라 세군으로 분류하여 6주간 사육한 후 사료섭취량, 체중증가량 및 사료효율을 측정된 결과는 Table 2와 같다. 사료섭취량은 아연 공급 수준에 따라 유의적으로 감소하여($p<0.001$), 아연 결핍군 31.7 ± 2.4 g/day로

Table 2. Feed intake, weight gain, and feed efficiency ratio of rats fed different levels of zinc

Groups	Feed intake	Weight gain	FER
	g/day		
Zn/L	31.7±2.4 ^{1)a2)}	18.9±5.3 ^a	0.6±0.2 ^a
Zn/A	29.4±0.6 ^{ab}	17.8±3.4 ^a	0.6±0.2 ^a
Zn/H	28.1±0.1 ^b	11.5±4.8 ^b	0.4±0.3 ^b
Significance	p<0.001	p<0.05	p<0.05

¹⁾Mean ± standard deviation.

²⁾Means with different letters (a, b) within a column are significantly different from each other at α=0.05 as determined by Duncan's multiple range test (a>b).

과잉군 28.1±0.1 g/day와 비교해 높게 나타났다. 이는 아연이 결핍된 쥐가 높은 사료섭취량을 보였다는 Eder와 Kirchengressner(19)의 연구와 일치하였고, Van Reen(20)과 Begin-Heick 등(21)도 아연 과잉공급(5000 ppm과 2000 ppm)에 의한 사료섭취량 감소를 보고하였다. 그러나 아연의 결핍은 식욕을 감소시키고 아연의 보충은 식욕을 증가시킨다는 보고와는 상반된 결과를 보였는데(22), 본 연구에서 아연의 결핍 수준이 15 ppm으로 다른 연구보다 심각한 수준이 아니었기 때문으로 사료된다.

체중증가량은 아연의 공급수준에 따라 유의적으로 감소하여 결핍군 18.9±5.3 g과 적정군 17.8±3.4 g이 과잉군 11.5±4.8 g에 비해 유의적으로 높았다(p<0.05). 그러나 결핍군과 적정군 간에는 유의적인 차이를 보이지 않아서, 아연이 결핍된 흰쥐가 적정수준의 아연을 공급받은 쥐보다 체중 증가량이 감소했다는 결과와는 다른 결과를 보였다(23). 이는 본 연구의 아연 결핍수준이 적정수준의 50%인 15 ppm으로 심각한 수준이 아닌데 비해 Park 등(24)의 연구에서는 1 ppm으로 극심한 결핍 수준이었기 때문으로 사료된다.

사료효율은 아연 공급 수준에 따른 유의적인 차이를 나타내어(p<0.05), 아연 과잉군의 사료효율이 0.4±0.3으로 결핍군 0.6±0.2와 적정군의 0.6±0.2보다 낮게 나타났다. 이는 쥐를 대상으로 Hwang과 Kim(25)이 사료효율에서 아연 공급수준에 따른 차이를 보이지 않았다는 것과는 다른 결과였고, 식이량을 제한하면서 65 ppm 아연을 공급받은 쥐와 10 ppm 결핍 수준으로 아연을 공급받은 쥐의 사료효율이 4.4와 5.1로 아연 결핍 쥐의 사료효율이 더 높게 나타난 Prasad 등(26)의 결과와 일치하였다.

간, 신장, 비장의 무게

아연 공급수준에 따른 장기 무게의 변화는 Table 3과 같다. 간의 무게는 아연 공급수준에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 Boquist와 Lernmak(27)의 연구에서 아연 결핍군과 적정군 간에 유의적인 차이를 보이지 않아 아연 결핍이 간의 무게에 영향을 주지 않는 것으로 나타나 본 결과와 같았으며, Begin-Heick 등(21)의 연구에서도 아연을 보충 받은 쥐의 간 무게는 정상군과 차이가 없었다고 하였다. 그러나 Park 등(24)의 연구에서 아연을 1 ppm으로 결핍

Table 3. Liver, kidney, and spleen weight of rats fed different levels of zinc (g)

Groups	Liver	Kidney	Spleen
Zn/L	18.2±5.1 ¹⁾	3.3±0.6	0.8±0.1
Zn/A	15.4±2.1	3.5±0.5	0.6±0.1
Zn/H	13.6±2.2	3.1±0.4	0.7±0.1
Significance	NS ²⁾	NS	NS

¹⁾Mean ± standard deviation.

²⁾Not significant at α=0.05 as determined by one-way analysis of variance ANOVA.

되게 공급했을 때 간의 무게가 지질과 글리코겐 함량 증가와 함께 유의적으로 증가했다는 결과와는 다른 결과를 보였는데, 본 연구에서 아연 결핍 수준이 심각한 정도가 아니었기 때문에 아연 결핍이 간의 무게 변화를 초래하지 않은 것으로 사료된다.

신장의 무게는 아연 공급수준에 따라 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 이는 쥐를 대상으로 아연 결핍 수준이 신장의 무게에는 영향을 미치지 못했다고 보고한 Boquist와 Lernmak(27)의 연구와 일치하였다.

비장의 무게는 아연 공급수준에 따라 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 이는 Kim과 Sung(28)이 보고한 아연 섭취량에 따른 비장의 무게에 변화가 없었다는 결과와 일치하여 아연의 공급에 따라서는 간장, 신장, 비장의 무게에 변화가 없었다.

혈청의 다량 무기질 함량

Table 4와 같이 혈청의 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨 함량은 아연 공급수준에 따라 유의적인 차이가 없었다. 본 연구에서 아연의 공급 수준에 의해 다량 무기질의 흡수나 배설에 영향을 미쳤을지라도 혈청 농도의 항상성을 유지하기 때문에 유의적인 차이가 나타나지 않은 것으로 사료되지만 정확한 결론을 얻기 위해서는 보다 세부적인 연구가 요구된다.

한편 Kang 등(3)의 연구에서 아연 공급에 따라 혈청 마그네슘 함량은 변화가 없었다고 하여 본 연구와 일치하였으며, Song(29)이 쥐에게 아연 결핍 식이를 공급했을 때 혈청 나트륨이 아연 공급군보다 낮았다고 하여 본 연구와 차이가 있었다.

간의 다량 무기질 함량

Table 5와 같이 간의 칼슘 함량은 아연 결핍군이 322.1±

Table 4. The contents of Ca, Mg, Na, and K in serum of rats fed different levels of zinc (µg/mL)

Groups	Ca	Mg	Na	K
Zn/L	46.3±6.4 ¹⁾	49.5±22.9	51.1±19.1	466.6±248.5
Zn/A	53.8±9.4	48.0±13.4	31.5±20.4	303.1±278.0
Zn/H	53.0±8.6	49.8±14.9	29.7±8.1	295.1±101.5
Significance	NS ²⁾	NS	NS	NS

¹⁾Mean ± standard deviation.

²⁾Not significant at α=0.05 as determined by one-way analysis of variance ANOVA.

Table 5. The contents of Ca, Mg, Na, and K in liver, kidney, and spleen of rats fed different levels of zinc ($\mu\text{g/g}$)

Groups		Ca	Mg	Na	K
Liver	Zn/L	322.1 \pm 43.2 ^{1) b2)}	306.7 \pm 47.5	407.5 \pm 30.2	3867.9 \pm 115.9
	Zn/A	376.8 \pm 46.1 ^a	339.3 \pm 41.2	412.2 \pm 42.8	3977.4 \pm 149.9
	Zn/H	382.7 \pm 22.1 ^a	331.6 \pm 47.9	398.2 \pm 55.5	3694.4 \pm 145.2
Significance		p<0.05	NS	NS	NS
Kidney	Zn/L	350.9 \pm 14.3	184.7 \pm 22.2	322.5 \pm 63.1	623.4 \pm 43.4
	Zn/A	518.1 \pm 28.2	127.3 \pm 15.7	189.3 \pm 25.4	618.8 \pm 39.5
	Zn/H	481.4 \pm 24.2	102.8 \pm 36.8	152.0 \pm 38.7	538.5 \pm 25.5
Significance		NS ³⁾	NS	NS	NS
Spleen	Zn/L	324.9 \pm 30.6	56.4 \pm 4.6 ^a	1287.6 \pm 70.7	283.2 \pm 24.8 ^a
	Zn/A	327.8 \pm 23.7	50.5 \pm 4.3 ^b	1261.3 \pm 82.2	223.1 \pm 27.7 ^b
	Zn/H	305.0 \pm 18.7	44.7 \pm 4.7 ^c	1228.1 \pm 44.1	218.1 \pm 35.3 ^b
Significance		NS	p<0.01	NS	p<0.01

¹⁾Mean \pm standard deviation.

²⁾Means with different letters (a, b) within a column are significantly different from each other at $\alpha=0.05$ as determined by Duncan's multiple range test ($a>b>c$).

³⁾Not significant at $\alpha=0.05$ as determined by one-way analysis of variance ANOVA.

43.2 $\mu\text{g/g}$ 로 나타나 적정군 376.8 \pm 46.1 $\mu\text{g/g}$ 과 과잉군 382.7 \pm 22.1 $\mu\text{g/g}$ 에 비해 아연 공급수준에 따른 유의적인 차이가 있었지만($p<0.05$), 간의 마그네슘, 나트륨, 칼륨 함량은 각 군간 유의성이 없었다.

이는 아연 결핍 쥐와 정상쥐 사이의 마그네슘 함량에 차이가 나타나지 않았다는 Prasad(2)의 결과와 일치하였고, 아연이 결핍된 기니피그의 간장 중 나트륨과 칼륨 함량은 감소한 것으로 나타났다는 Gupta 등(5)의 연구와는 차이를 보였다. 한편 Wouwe와 Veldhuizen(30)이 아연 결핍은 다양한 조직에서 칼륨 활성을 변화시켜 칼륨 대사에 영향을 준다고 하였지만 본 연구에서 아연 공급 수준에 따른 영향은 없었다.

신장의 다량 무기질 함량

신장의 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨 함량은 아연 공급수준에 의한 유의성이 나타나지 않았다. Prasad(2)은 아연 공급수준에 따른 신장의 마그네슘 함량은 유의적인 차이를 보이지 않아 신장의 마그네슘 함량은 아연 수준에 따른 민감한 변화를 보이지 않는 것으로 사료된다. Gupta 등(5)의 연구에서는 아연 결핍 기니피그의 신장 나트륨과 칼륨의 함량이 감소한 것으로 나타나 본 연구 결과와 다르게 나타났다.

본 연구에서 신장의 나트륨과 칼륨은 아연 공급수준이 증가할수록 감소하는 경향을 보였는데 이는 개체간의 차이가 컸기 때문에 통계적인 유의성이 나타나지 않은 것으로 사료된다. Song(29)이 쥐에게 아연 결핍 식이를 공급했을 때 혈청 나트륨과 간과 신장의 칼륨 함량이 정상쥐보다 낮았는데, 식이 아연의 공급은 신장의 염평형을 통해 체내 나트륨과 칼륨 함량에 영향을 미치기 때문이라 하였다.

비장의 다량 무기질 함량

비장의 칼슘과 나트륨의 함량은 아연 공급수준에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 마그네슘 함량은 결핍군이 56.4 \pm 4.6 $\mu\text{g/g}$ 로 가장 높았고, 적정군 50.5 \pm 4.3 $\mu\text{g/g}$, 과잉

군 44.7 \pm 4.7 $\mu\text{g/g}$ 순으로 유의적으로 감소하였다($p<0.01$). Song(29)이 아연 보충으로 혈장 마그네슘의 함량이 감소했다는 결과와 일치하였다. 한편, Resolova 등(31)은 혈장 마그네슘 농도가 낮은 그룹에서 인슐린의 농도가 높았다고 하였는데, 이는 Paolisso와 Barbagallo(32)에 의하면 마그네슘의 체내 농도를 조절하는 인슐린에 의해 마그네슘 절약작용이 나타난 것으로 보고하였으나 저자들의 앞선 연구(33)에서는 인슐린 농도에 변화가 없는 것으로 나타나 아연의 공급이 비장의 마그네슘의 흡수에만 영향을 미친 것으로 사료되며 이에 대한 심도있는 연구가 요구된다.

비장의 칼륨은 결핍군, 적정군, 과잉군이 각각 283.2 \pm 24.8 $\mu\text{g/g}$, 223.1 \pm 27.7 $\mu\text{g/g}$, 218.1 \pm 35.3 $\mu\text{g/g}$ 로 나타나 아연 결핍군이 가장 높게 나타났다($p<0.01$). 비장에서의 미량 무기질이 다량 무기질 함량에 미치는 영향에 대한 연구가 부족해 고찰이 어려운 실정이며, 앞으로 이에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

요 약

아연의 공급수준이 다량 무기질 함량에 미치는 영향을 알아보기 위해 흰쥐를 대상으로 아연을 결핍, 적정, 과잉 수준으로 공급하여 혈청 및 조직의 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨 함량을 분석하였다. 아연 공급수준을 달리했을 때 혈청의 다량 무기질 함량은 유의적인 차이를 보이지 않았지만 간과 비장에 영향을 주는 것으로 나타났다. 특히 아연의 결핍은 간의 칼슘 함량을 감소시키는 영향을 주었고, 아연의 과잉은 비장 마그네슘과 칼륨 함량을 감소시키는 결과를 나타냈다. 결론적으로 아연의 결핍과 과잉이 간과 비장의 다량 무기질 함량에 영향을 주는 것으로 나타났는데, 특히 아연의 결핍이 더 많은 조직 내 무기질 함량 변화를 가져왔다. 그러나 본 연구에서는 아연의 결핍수준을 적정수준의 50%, 그리고 과

잉을 200%로 설정하였으나 앞으로 좀 더 세분화된 아연의 결핍과 과잉 수준에 대한 체계적인 연구가 필요하다고 사료된다.

문헌

- Aggett PJ, Comerford JG. 1995. Zinc and human health. *Nutr Res* 53: S16-S22.
- Prasad AS. 1993. *Biochemistry of zinc*. Plenum, New York, USA. p 193-218.
- Kang HK, Harvey PW, Valentine JL, Swendseid ME. 1977. Zinc, iron, copper and magnesium concentrations in tissues of rats fed various amounts of zinc. *Clin Chem* 23: 1834-1837.
- Okegbile EO, Odunuga O, Oyewo A. 1998. Effect of dietary zinc deficiency on alkaline phosphatase and nucleic acid in rats. *Afr J Med Sci* 27: 189-192.
- Gupta RP, Verma PC, Sadana JR, Gupta VK. 1989. Effect of experimental zinc deficiency and repletion on sodium, potassium, copper and iron concentrations in guinea-pigs. *Br J Nutr* 62: 407-414.
- 송정자. 1984. 크미량 원소의 영양. 민음사, 서울.
- Storey ML, Greger JL. 1987. Iron, zinc and copper interactions: chronic versus acute responses of rats. *J Nutr* 117: 1434-1442.
- Seely JR, Humphrey GB, Matter BJ. 1972. Copper deficiency in an infant fed an iron-fortified formula. *New Engl J Med* 286: 109-110.
- Hedges JD, Kornegay ET. 1973. Interrelationship of dietary copper and iron as measured by blood parameters, tissue stores and feedlot performance of swine. *J Anim Sci* 37: 1147-1154.
- Standish JF, Ammerman CB, Simpson CF, Neal FC, Palmer AZ. 1969. Influence of graded levels of dietary iron, as ferrous sulfate, on performance and tissue mineral composition of steers. *J Anim Sci* 29: 496-503.
- O'Dell BL. 1989. Mineral interactions relevant to nutrient requirement. *J Nutr* 119: 1832-1838.
- Sherman AR, Tissue NT. 1981. Tissue iron, copper and zinc levels in offspring of iron-sufficient and iron-deficient rats. *J Nutr* 111: 266-275.
- Sherman AR, Guthrie HA, Woklinsky I. 1977. Interrelationships between dietary iron and tissue zinc and copper levels and serum lipids in rats. *Proc Soc Exp Biol Med* 156: 396-401.
- Jun YS. 1998. Effect of iron intakes on macromineral utilization in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27: 1273-1278.
- Jun YS, Choi MK, Kim AJ, Kim MH, Sung CJ. 2002. Effect of iron supplementation on mineral utilization in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 658-663.
- Choi MK, Jun YS. 1999. Effect of copper supplementation on mineral utilization in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 1124-1130.
- American Institute of Nutrition. 1977. Report of the ad hoc committee on standard for nutritional studies. *J Nutr* 107: 1340-1348.
- NRC Food and Nutrition Board. 1978. *Nutrient requirements of laboratory animals*. Nat Aca Sci, Washington, DC, USA. p 16-20.
- Eder K, Kirchgressner M. 1993. The effect of zinc depletion on the fat content and fatty acid composition of the liver and brain in forcibly fed rats. *Z-Ernahrungswiss* 32: 187-197.
- Van Reen R. 1953. Effect of excessive dietary zinc in the rat and interrelationship with copper. *Arch Biochem Biophys* 46: 337-344.
- Begin-Heick N, Dalpe-Scott M, Rowe J, Heick HM. 1985. Zinc supplementation attenuates insulin secretory activity in pancreatic islets of the ob/ob mouse. *Diabetes* 34: 179-184.
- Prasad AS. 1991. Discovery of human zinc deficiency and studies in an experimental human model. *Am J Clin Nutr* 53: 403-412.
- Wallwork JC, Fosmire GJ, Sandstead HH. 1981. Effect of zinc deficiency on appetite and plasma amino acid concentrations in the rat. *Br J Nutr* 45: 127-136.
- Park JHY, Grandjean CJ, Hart H, Erdman SH, Pour P, Vanderhoff JA. 1986. Effect of pure zinc deficiency on glucose tolerance and insulin and glucagon levels. *Am J Physiol* 251: E273-E278.
- Hwang KS, Kim MK. 1984. Effects of dietary Zn levels and kinds of lipid on the lipid metabolism in the rats. *Korean J Nutr* 17: 145-152.
- Prasad AS, Oberleas D, Wolf P, Horwitz JP. 1967. Studies on zinc deficiency: Change in trace elements and enzyme activities in tissue of zinc-deficient rats. *J Clin Invest* 46: 549-557.
- Boquist L, Lernmak A. 1989. Effect of the endocrine pancreas in chinese hamsters fed zinc deficient diet. *Acta Path Microbiol Scand* 76: 215-228.
- Kim HS, Sung CJ. 2001. Effects of dietary zinc and iron levels on serum trace minerals and obesity index in high fat diet-induced obese rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 325-330.
- Song MK. 1987. Influence of dietary zinc on sodium and potassium metabolism in the rat. *Miner Electrolyte Metab* 13: 178-182.
- Wouwe JP, Veldhuizen M. 1994. Dietary subacute zinc deficiency and potassium metabolism. *Biol Trace Elem Res* 46: 261-268.
- Resolova H, Mayer O, Reaven G. 1997. Effect of variation in plasma magnesium concentration on resistance to insulin-mediated glucose disposal in diabetic subjects. *J Clin Endocrinol Metab* 82: 3783-3785.
- Paolisso G, Barbagallo M. 1997. Hypertension, diabetes mellitus and insulin resistance: the role of intracellular magnesium. *Am J Hypertens* 10: 346-355.
- Park HM, Sung CJ, Kim HS. 2001. Effect of dietary zinc on the carbohydrate metabolism and the serum concentration of magnesium and chromium in rats. *J Korean Dietetic Assoc* 7: 258-266.

(2009년 5월 26일 접수; 2009년 6월 19일 채택)