

아연과 Phytic Acid 수준을 달리한 식이가 흰쥐의 단백질 대사에 미치는 영향

최 도 점[†]

대구한의대학교 한방피부미용학과

Effect of Dietary Zinc and Phytic Acid Levels on Protein Metabolism in Rats

Do-Jeom Choi[†]

Dept. of Herbal Skin Care, Daegu Haany University, Gyeongsan 712-715, Korea

Abstract

In order to investigate the effect of dietary zinc and phytic acid levels on protein metabolism in rats, male rats of Sprague-Dawley strains weighing approximately 60~74 g were fed different diets which contained 0, 0.35 and 1.05% phytic acid each at 3 levels of zinc(0, 30 and 1,500 ppm zinc) for 28 days. Results obtained in this experiment are summarized as follows; 1. Body weight gain, food consumption, food efficiency ratio and protein efficiency ratio were lower in the rats fed zinc deficient diet(0 ppm zinc) than in those consuming 30 or 1,500 ppm dietary zinc, and the additional effects of phytic acid were not observed in all of them. 2. Liver weight was lower in the rats fed 30 ppm zinc diet than in those fed 0 or 1,500 ppm-zinc diet, but kidney and spleen weights were lower in the rats fed zinc deficient diet than in those fed 30 or 1,500 ppm-zinc diet. Among organs measured, only the liver appeared to be influenced by dietary phytic acid: the more the dietary phytic acid, the more the weight of liver. 3. Fecal nitrogen was decreased in the rats fed zinc deficient diet compared with those fed 30 or 1,500 ppm dietary zinc. Urinary nitrogen was increased in the rats fed 1.05% dietary phytic acid compared with those fed 0.35 or 0% dietary phytic acid. Nitrogen retention of rat was influenced by neither dietary zinc nor phytic acid. 4. Urea nitrogen was decreased with increasing dietary zinc levels, and creatinine and uric acid levels were increased with increasing dietary zinc concentration or with additional quantity of phytic acid. Uric acid appeared to be influenced by zinc x phytic acid interaction; especially, the presence of phytic acid in the 30 ppm-zinc diet had significant effect on uric acid content. 5. Hemoglobin concentrations and hematocrit ratio were higher in the rats fed 30 ppm dietary zinc than in those fed 0 or 1,500 ppm-zinc diet. Serum zinc concentration was increased with increasing dietary zinc levels. The contents of total protein, albumin and BUN and the ratio of albumin to globulin in serum, and protein content in liver were influenced by neither dietary zinc nor phytic acid.

Key words : Phytic acid, zinc, protein metabolism, urea nitrogen, interaction.

서 론

아연(Zn)은 고등동물의 성장에 필수적인 영양소라는 것이 1934년에 처음으로 알려졌다(Todd *et al* 1934), 그 후 여러 보고를 통해서 Zn은 고등동물에서 정상적인 세포 분열과 단백질 합성을 위해 필요하며 수많은 metalloenzyme의 활성을 조절하는 보조인자로도 중요하다는 것이 알려졌다(Das *et al* 1984, Reinhold *et al* 1970). 따라서 세포 내 Zn 수준은 많은 대사 과정 특히, Zn-dependent enzyme의 활성화 또는 조절을 통하여 핵산의 합성이나 분해, 지질, 단백질 및 당질 대사에 관여한다고 보고된 바 있다(Underwood ET 1977).

Zn 결핍증상으로는 식욕 부진, 성장 지연, 피부 발진, 속

모, 탈모, 안염 등의 증상이 나타나며(Ott *et al* 1964, Swenerton *et al* 1969), Zn 결핍 식이로 사육한 돼지의 간, 신장, 비장 및 고환의 무게가 작았다고 하였다(Miller *et al* 1968). 반면 Zn 과량에 의한 독성 효과도 식이 단백질원과 수준에 따라 다르게 나타나며(McCall *et al* 1961), 약리학적으로 독성을 일으킬 수 있는 양은 100~300 mg 정도로서 구토, 위장의 통증, 무기력증, 피로 등의 증세를 보인다(Gary JF 1990). 또한 Zn 결핍은 조직으로부터 단백질 손실을 일으키며 그 과정은 urinary nitrogen의 배설이 증가됨을 뜻한다고 하였고(Greeley *et al* 1980), Thompson *et al*(1976)은 식이 중의 Zn 수준에 따라 nitrogen retention이 변화하고 nitrogen loss는 Zn 수준과 역의 관계에 있다고 하였다.

쥐의 hematocrit치와 hemoglobin 함량은 혈청 중 Zn이나 Cu의 수준에 따라 영향을 받아 혈청 중 Zn의 농도가 높을수록 hematocrit치가 감소되며 hemoglobin 함량은 식이 중 Zn

[†] Corresponding author : Do-Jeom Choi, Tel : +82-43-231-5661, Fax : +82-43-231-5661, E-mail : dojeomi@naver.com

함량과는 부(-)의 상관 관계가 있다고 하였다(Murthy & Petering 1976).

한편 Zn의 생체 이용율에 관여하는 많은 연구보고가 있는데 O'dell & Savage(1960)는 식물성 단백질 중에 phytic acid가 존재하여 식이 중 Zn의 생체 이용율을 감소시킨다고 처음으로 보고하였다. Oberleas *et al*(1962)에 의하면 phytic acid를 많이 함유한 식이에서 Zn의 생체 이용율은 phytic acid와 Zn의 mole 비에 따라 달라지고 식이 중 phytic acid/Zn의 mole비가 3~6 사이에서는 쥐의 성장을 크게 감소시키지 않는다고 하였다. 그리고 동량의 Zn을 섭취하더라도 전체 식사 중 단백질 섭취량과 Zn의 급원 식품 및 식사 내 Phytate의 양 및 식이섬유소 양에 의해 그 흡수율이 영향을 받는다고 한다(Kim & Michael 1989, Brittmari *et al* 1989). Ott *et al*(1962)은 어린 양에서 Zn 결핍 식이는 혈청 중의 Zn 및 albumin 농도를 감소시키는 반면 globulin의 농도는 증가된다고 하였으며, Zn 결핍 식이에 phytic acid를 첨가하였을 때 Zn 결핍군에 비해 albumin과 globulin의 농도는 약간 더 감소된다고 하였다. 그리고 Chung & Chung(1989)은 성숙 수컷 쥐를 Zn과 단백질 수준을 달리해 5주간 사육했을 때 Zn 함량이 낮은 군에서 혈청 내 HDL-Cholesterol이 유의적으로 낮았고 혈청 총 콜레스테롤 함량도 감소하는 경향을 보였는데 이때 단백질에 의한 영향은 없었다고 하였다. Lee *et al* (1993)의 연구에서는 phytic acid를 과량으로 섭취할 경우 phytate의 Ca 대사에 대한 방해 작용으로 골격 발육 및 최대 골 질량 형성에 나쁜 영향을 미칠 수 있다고 하였다.

이상의 여러 연구에서 보면 Zn의 결핍증에 대한 연구는 광범위하게 되어 있고 Zn 생체 이용율에 미치는 phytic acid의 효과에 대해서도 여러 연구가 있었으나 Zn과 phytic acid의 함량 수준의 범위가 좁고 증체량이나 조직 중의 무기질 함량 등이 비교되어 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 phytic acid가 Zn의 생체 이용율에 미치는 영향을 보기 위해서 Zn 수준(0, 30 및 1,500 ppm)에 따른 phytic acid 첨가량(0, 0.35 및 1.05%)을 달리한 식이로 흰쥐를 사육하여 성장률, 장기 무게, 단백질 대사를 측정하고 이들의 상호 관계를 비교 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험동물의 사육

Sprague-Dawley 중 수컷 흰 쥐 54마리를 실험 시작 전 1주일간 환경에 적응시킨 다음, 체중이 60~74 g인 쥐들을 실험군 별로 평균 체중이 비슷하도록 6마리씩 9군으로 나누어 스테인레스스틸 사육장에서 28일간 사육하였다. 무기질 오염을 방지하기 위하여 사육장 및 사육에 사용되는 모든 기구는

ethylene-diamine-tetra acetate(EDTA, 4g/L) 용액으로 세척한 후, 탈이온수로 충분히 헹구어 사용하였다. 식이와 물(탈이온수)은 자유로이 섭취하도록 하였고, 사육실 온도는 18~23℃, 습도는 60%로 조절하였으며, 점등관리는 낮과 밤으로 12시간 주기로 조절하였다.

2. 실험동물의 사육

본 실험에 사용된 기본 식이는 Table 1과 같다(American Institute of Nutrition 1977).

성장기의 Zn 최소요구량은 단백질원을 casein으로 하였을 때 12 ppm이라고 보고되어 있으며(Forbes & Yohe 1960), 본 실험에서는 AIN-76TM mineral mixture(American Institute of Nutrition 1977)에 준하여 Zn을 0 ppm(결핍군), 30 ppm(정상군) 및 1,500 ppm(과량군) 수준으로 ZnSO₄·7H₂O를 기본 식이에 첨가하였으며, 이들 Zn 각 수준에 phytic acid를 0, 0.35, 및 1.05%가 되도록 sodium phytate(Sigmia Chemical Co St Louis, USA)를 각각 첨가하였다. 각 해당 식이에서 Zn과 phytic acid가 첨가된 양만큼 sucrose를 감하였다.

단백질원으로는 casein(Yakuri Pure Chemicals Co Ltd, Japan)을 사용하였으며, casein 속에 함유되어 있는 Zn 및 기타 무기질을 제거하기 위하여 0.15% EDTA 용액에 씻고 탈이온수로 충분히 헹군 뒤 40℃의 열풍 건조기에서 건조시켜 마쇄하여 사용하였다. 이때 기본 식이 중에 잔존하는 Zn 함량은 2.3 ppm이었다.

3. 증체량, 식이 섭취량, 식이 효율 및 단백질 효율 측정

Table 1. Composition of basal diet

Ingredient	Composition(%)
Casein	20.0
DL-Methionine	0.3
Cornstarch	15.0
Sucrose	50.0
Cellulose ¹⁾	5.0
Corn oil	5.0
AIN mineral mixture ²⁾	3.5
AIN vitamin mixture	1.0
Choline bitartrate	0.2

¹⁾ Ethyl cellulose : Junsei Chemical Co Ltd, Japan.

²⁾ Zinc free mineral mixture, sucrose was added at 1.6 g/kg in place of ZnO.

1) 증체량

체중은 매주 1번씩 일정한 시간에 측정하였으며, 증체량은 실험종료 체중에서 실험개시 체중을 감하여 총체중 증가량을 구하고 실험일수로 나누어 1일 평균 증체량으로 하였다.

2) 식이섭취량

매일 일정한 시간에 측정하여 1일 평균 식이섭취량을 구하였다.

3) 식이효율(Food Efficiency Ratio : FER)

실험기간 중 증체량을 식이 섭취량으로 나누어 산출하였다.

$$FER = \frac{\text{증체량 (g)}}{\text{식이 섭취량 (g)}}$$

4) 단백질효율(Protein Efficiency Ratio : PER)

실험 기간 중 증체량을 단백질 섭취량으로 나누어 산출하였다.

$$PER = \frac{\text{증체량 (g)}}{\text{단백질 섭취량 (g)}}$$

4. 질소 균형 및 질소 축적을 측정

질소 균형(Nitrogen Balance)은 총섭취 질소량에서 분과뇨로 배설된 질소량을 감하여 체내에 보유된 질소량을 산출하였다. 질소 축적율(Nitrogen Retention)은 체내에 축적된 질소량을 총질소 섭취량으로 나누어 백분율로 산출하였다.

5. 뇨, 분, 혈액 및 장기의 채취

뇨와 분은 실험 마지막 주에 실험동물 54마리를 대사케이지에 옮겨 3일간 적응시킨 후, 3일간 연속해서 채취하였다. 뇨와 분의 채취에 필요한 모든 기구는 EDTA 용액(4 g/L)으로 씻고 탈이온수로 충분히 헹군 뒤 사용하였고, 뇨의 부패방지 및 질소 안정을 위하여 뇨 채취병에 0.1% HCl과 toluene을 소량씩 넣어 주었으며 채취한 뇨는 일정량으로 희석한 후, 원심분리하여 상층액을 취하여 냉장 보관하였다. 분은 채취 후 80°C에서 2시간 건조시킨 후 분쇄하여 냉장 보관하였다.

혈액은 실험식이로 28일간 사육한 쥐를 12시간 절식시킨 후 ethyl ether로 마취하여 cardiac puncture로 채혈하여 일부는 EDTA-2K 항응고제가 든 병에 넣어 전혈로 사용하였고, 나머지는 원심분리관에 넣어 응고시킨 후 3,000 rpm에서 30분간 원심하여 혈청을 분리하여 즉시 혈액분석에 사용하였다. 채혈이 끝난 쥐는 회복하고 간, 신장, 고환 및 비장을 절

취하여 생리식염수로 표면에 묻은 혈액을 씻어 내리고 여과지로 물기를 닦아낸 후 무게를 측정하였고, 간은 알루미늄 포일에 싸서 냉동 보관하면서 시료로 사용하였다.

6. 시료의 분석

식이와 혈청 중의 Zn은 Thompson-Blanchflower method (Thompson & Blanchflower 1971)에 준한 습식 분해를 하여 Atomic Absorption Spectrophotometer(Shimadzu AA646)로 213.9 nm에서 측정하였다. Hemoglobin은 Cyanmethemoglobin method(Cannon 1958)로, hematocrit는 Microhematocrit method(Simmons 1983)로 측정하였다. 식이, 분, 뇨 및 간 중의 질소는 micro Kjeldahal method(Oser 1965)로 측정하여 질소량에 6.25를 곱하여 단백질량으로 하였고, 혈청 중의 total protein은 Biuret method(Kingsley 1972)로, albumin은 Brom cresol green method(Dormas & Biggs 1972)로 측정하였으며, globulin은 total protein에서 albumin을 감하여 구하였다. Blood urea nitrogen(BUN)과 뇨 중 urea nitrogen은 Diacetyl mono oxime method(Rocker 1967)로, 뇨 중 creatinine은 Folin-Wu method(Husdan & Rapoport 1968)로, 그리고 뇨 중 uric acid는 Sodium-carbonate-phosphotungstate method(Henry *et al* 1957)로 각각 측정하였다.

7. 자료의 통계처리

본 연구의 자료 분석을 위하여 SPSS 10.0 for Windows Program을 사용하여 전산 처리 하였다. 모든 실험 결과의 통계처리는 실험군당 평균치와 표준편차를 구하였고 이들 평균치간의 차이에 대한 유의성 검정은 처치변인별로 Scheffe' (Scheffe' H 1957)에 의한 변량분석(Analysis of variance)을 하였으며, 이에 따른 주 효과와 상호작용 효과를 분석하기 위하여 Scheffe' 검정법으로 처리하였다.

결과 및 고찰

1. 증체량, 식이 섭취량, 식이 효율 및 단백질 효율

이유한 Sprague Dawley종 수컷 흰쥐에게 Zn과 phytic acid 수준을 달리하여 28일간 자유급식한 후의 증체량, 식이 섭취량, 식이 효율 및 단백질 효율을 측정하여 얻은 결과는 Table 2와 같다.

증체량은 식이 중 Zn 함량에 의해서 영향을 받았으며($p < 0.01$), phytic acid 함량에 의해서는 영향을 받지 않았고, Zn과 phytic acid 상호작용 효과도 없었다. Zn 수준에 따라서는 Zn 결핍군이 30과 1,500 ppm-Zn군에 비해 유의하게 증체량이 낮았으며($p < 0.01$), 30과 1,500 ppm-Zn군 간에는 비슷하였다. 본 실험의 Zn 결핍군에서 나타난 증상인 성장 지연, 목·배

Table 2. Weight gain, rate of weight gain, food efficiency ratio and protein efficiency ratio for rats fed diets containing 0, 30 and 1,500 ppm zinc at three different levels of phytic acid for 28 days^{1),2)}

Dietary composition	Initial weight (g)	Weight gain (g)	Rate of weight gain (g/day)	Food consumption (g/day)	Food efficiency ratio	Protein efficiency ratio
0 ppm Zn						
0.00% phytic acid	65.75± 9.22	68.75±31.28	2.54±1.16	8.70±0.33	0.29±0.01	1.66±0.05
0.35% phytic acid	67.14±10.15	62.57±12.06	2.32±0.45	8.26±0.28	0.29±0.01	1.63±0.03
1.05% phytic acid	69.29± 8.50	76.29±16.63	2.83±0.62	9.09±0.15	0.31±0.02	1.76±0.14
30 ppm Zn						
0.00% phytic acid	65.00±9.23	144.14±30.30	5.34±1.12	13.09±0.53	0.40±0.01	2.27±0.04
0.35% phytic acid	65.14±7.57	146.29±22.30	5.42±0.83	13.79±0.01	0.40±0.01	2.25±0.04
1.05% phytic acid	65.86±8.87	157.14±13.85	5.82±0.51	14.21±0.52	0.48±0.02	2.72±0.02
1,500 ppm Zn						
0.00% phytic acid	68.82±9.06	135.53±25.28	5.02±0.93	12.82±0.63	0.39±0.01	2.19±0.16
0.35% phytic acid	64.17±8.07	134.83±24.30	5.00±0.90	12.54±0.69	0.40±0.01	2.27±0.02
1.05% phytic acid	67.00±7.92	141.67±24.26	5.25±0.90	13.30±0.55	0.40±0.02	2.24±0.07
0 ppm Zn ³⁾	67.32±9.41	69.18±22.81 ^a	2.56±0.85 ^a	8.68±0.49 ^a	0.30±0.01 ^a	1.68±0.07 ^a
30 ppm Zn	65.33±8.62	149.19±23.84 ^b	5.53±0.88 ^b	13.70±0.51 ^b	0.42±0.06 ^b	2.41±0.20 ^c
1,500 ppm Zn	68.82±9.06	135.53±25.28 ^b	5.02±0.93 ^b	12.82±0.63 ^b	0.39±0.01 ^b	2.19±0.16 ^b
0.00% phytic acid ⁴⁾	68.20±9.79	110.20±45.38	4.08±1.69	11.47±2.02	0.35±0.06	2.00±0.24
0.35% phytic acid	65.55±8.78	113.55±42.69	4.21±1.58	11.53±2.40	0.36±0.02	2.05±0.26
1.05% phytic acid	67.40±8.59	124.20±40.19	4.60±1.49	12.20±2.26	0.39±0.08	2.24±0.38
Analysis of variance-(P-values)						
Zinc effect	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Phytic acid effect	NS. ⁵⁾	NS.	NS.	NS.	NS.	NS.
Zinc × phytic acid	NS.	NS.	NS.	NS.	NS.	NS.

¹⁾ Values are means±SD. (n=6)

²⁾ Means within columns not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.01) by Scheffe' contrasts.

³⁾ Zinc groups 0, 30 and 1,500 ppm represent rats fed those different zinc contents for all levels of phytic acid intake.

⁴⁾ Phytic acid groups 0, 0.35 and 1.05% represent rats fed diets having those different phytic acid contents for all levels of zinc intake.

⁵⁾ NS means not significant.

주위의 심한 탈모, 속모, 안염 및 식욕 부진 등이 여러 연구 보고와 유사하게 나타났다(Swenerton & Hurley 1969, Wallwork *et al* 1981, Kashiwabara *et al* 1982). 특히 Zn 결핍군 중에서 phytic acid 수준에 따라 결핍 증상의 정도가 다르게 나타났는데, 1.05% phytic acid군이 0.35 및 0% phytic acid 첨가군보다 결핍 증상이 심하게 나타나지 않았다. 이것은 Ott 등(Ott *et al* 1964)이 Zn 결핍 식이에 0.61% phytic acid를 첨

가시켜 양에게 급여한 결과, 첨가하지 않은 군보다 결핍 증상이 심하게 나타나지 않는다고 한 보고와 유사하였다. Wallwork *et al*(1983)도 15% 단백질 수준에서 Zn 함량이 6, 12 및 18 ppm이 되도록 급여 수준을 달리하여 29일간 사육한 결과 6 ppm-Zn군이 12 및 18 ppm Zn군에 비해 증세량이 유의하게 낮았고 12와 18 ppm-Zn군 간에는 차이가 없었다 하였다. 그리고 Zn 과량군(1,500 ppm)에서는 30 ppm-Zn군에

비해 증체량이 다소 낮았지만 외관상으로 Zn 과량 급여에 의한 독성현상이 나타나지 않았다. Cox & Harris(1960)의 보고에 의하면 이유한 흰 쥐에게 4,000~6,000 ppm Zn을 첨가시킨 식이로 8주간 사육한 결과 대조군에 비해 증체량이 유의하게 감소된다고 했으며, Magee & Matrone(1960)은 4~6 주된 흰 쥐에게 5주간 5,000~10,000 ppm Zn을 첨가시킨 식이로 사육한 결과 Zn 수준이 높을수록 증체량이 감소된다고 보고하였다. 본 실험의 Zn 과량군인 1,500 ppm Zn 수준으로서는 다른 연구보고(Cox & Harris 1960, Magee & Matrone 1960)에서의 Zn 함량보다는 낮은 수준이기 때문에 정상군인 30 ppm-Zn군에 비해 증체량이 다소 떨어졌으나 통계적으로 유의한 정도는 아니었고, 외관상의 차이도 나타나지 않았다.

식이 섭취량은 Zn 함량에 의해 영향을 받았으며($p < 0.01$), Zn 수준에 따라서는 Zn 결핍군이 30 및 1,500 ppm-Zn군에 비해 유의하게 낮게 나타났다($p < 0.01$). Phytic acid 함량은 식이 섭취량에 영향을 미치지 않았으며, Zn과 phytic acid 상호작용 효과도 없었다. 1일 식이 섭취량으로 보면, Zn 결핍군이 8.86 g으로 30 ppm-Zn군의 13.7 g에 비해 57%, 1,500 ppm-Zn군의 12.82 g에 비해 47% 감소하였다. 따라서 Zn 결핍군에서 식이 섭취량이 감소된 것은 Zn 결핍으로 인한 식욕 부진이 영향을 미친 것으로 보여진다. Kashisabara *et al* (1982)은 이유한 쥐에게 1.6 ppm Zn을 첨가시킨 식이로 30 일 동안 사육한 결과 식이 섭취량은 6 g이었고, 4.9 ppm Zn을 첨가시킨 군은 10 g으로 대조군(76.7 ppm)의 20 g에 비해 유의하게 감소된다고 보고하여 본 실험의 Zn 결핍군이 섭취한 식이량과 유사한 결과를 보였다. Likuski & Forves(1964)는 단백질원으로 아미노산과 casein을 사용한 병아리의 식이에 1.8% phytic acid를 첨가하면 Zn 생체 이용률이 저하되어 체중 감소가 50%나 되며, 체중당 식이 섭취량(feed/gain)은 증가된다고 하였는데 본 실험 결과에서는 phytic acid 효과가 인정되지 않았다.

식이 효율은 Zn 함량에 의해 영향을 받았으며 ($p < 0.01$), Zn 수준에 따라서는 Zn 결핍군이 30 및 1,500 ppm-Zn군에 비해 뚜렷하게 감소되었으며($p < 0.01$), 30과 1,500 ppm-Zn군 간에서는 유사하였다. Phytic acid 함량은 식이효율에 영향을 주지 않았으며 Zn과 phytic acid 상호작용에 의한 영향도 없었다. Kashiwabara *et al*(1982)에 의하면 식이효율은 1.6 ppm-Zn군에서는 0.12, 4.9 ppm-Zn군에서는 0.29, 그리고 대조군(76.7 ppm)에서는 0.41로, Zn의 결핍 정도가 심할수록 식이 효율은 저하된다고 하여 본 실험의 Zn 결핍군에서는 0.30이었고 30 ppm-Zn군에서는 0.42로 비슷한 결과를 보여 주었다.

단백질 효율은 식이 중 Zn 함량에 의해서 영향을 받았으며 ($p < 0.01$), Zn 수준에 따라서는 30 ppm-Zn군이 가장 증가

하였고($p < 0.01$), Zn 결핍군이 가장 감소하였다($p < 0.01$). Phytic acid 함량에 의한 영향은 받지 않았으며, Zn과 phytic acid 상호작용 효과도 없었다.

2. 장기의 무게

Zn과 phytic acid 수준을 달리한 실험식이로 쥐에게 자유 급여한 후 장기 무게를 체중 백분율로 표시한 결과는 Table 3과 같다.

간의 무게는 Zn($p < 0.01$) 및 phytic acid($p < 0.05$) 함량에 따라 각각 영향을 받았으며, Zn과 phytic acid 상호작용 효과는 없었다. Zn 수준별로 보면, 간의 무게는 1,500 ppm-Zn군에서 가장 무거웠고($p < 0.01$), 30 ppm-Zn군에서 가장 가벼웠다($p < 0.01$). Phytic acid 수준별로 보면 0% phytic acid군이 0.35 및 1.05% phytic acid군에 비해 간의 무게가 뚜렷하게 가벼웠고($p < 0.01$), 0.35와 1.05% phytic acid군 간에는 차이가 없었다. Kashiwabara *et al*(1982)은 이유한 흰쥐에게 Zn 결핍식이(1.6 ppm)를 35일간 급여한 결과 간의 무게는 대조군(76.7 ppm)에 비해 증가된다고 하였으며, Fosmire *et al*(1976)도 이유한 흰쥐에게 1 ppm 이하의 Zn을 함유한 식이로 20일간 사육한 결과 간의 무게는 대조군(25 ppm)에 비해 증가된다고 하여 본 실험 결과와 비슷하였다.

신장의 무게는 식이 중 Zn 함량에 의해서 영향을 받았으나($p < 0.01$), phytic acid 함량에 의해서는 영향을 받지 않았으며, Zn과 phytic acid 상호작용 효과도 없었다. Zn 수준별로 보면 1,500 ppm-Zn군이 Zn 결핍군 및 30 ppm-Zn군에 비해 증가하였으며($p < 0.01$), Zn 결핍군과 30 ppm-Zn군 간에는 신장의 무게에 차이가 없었다. Kashiwabara *et al*(1982)에 의하면 이유한 쥐의 신장의 무게는 Zn 결핍군이 대조군에 비해서 증가한다고 하여 본 실험 결과와는 상반되었고, Miller *et al*(1968)은 어린 돼지에서 신장의 무게가 결핍군과 대조군에서 별 차이가 없다고 하여 본 실험과는 유사한 결과를 보여주었다.

고환의 무게는 Zn 및 phytic acid 함량에 의해서 영향을 받지 않았으며, Zn과 phytic acid 상호작용 효과도 없었다. Miller *et al*(1968)은 어린 돼지에서 고환의 무게는 Zn 결핍군이 대조군과 차이가 없다고 하여 본 실험 결과와 유사하였으며, 반면 Kashiwabara *et al*(1982)은 Zn 결핍군이 대조군에 비해 증가한다고 보고하여 본 실험의 결과와는 상이하였다. 비장의 무게는 식이 중의 Zn 함량에 의해 영향을 받았으나($p < 0.01$), phytic acid 함량에 의해서는 영향을 받지 않았으며, Zn과 phytic acid 상호작용 효과도 없었다. Zn 수준별로 보면 Zn 결핍군에서 가장 작았고($p < 0.01$), 1,500 ppm-Zn군에서 가장 크게 나타났다($p < 0.01$). Miller *et al*(1968)은 어린 돼지에서 비장의 무게는 Zn 결핍으로 인해 영향을 받지 않는다고 하여 본 실험 결과와는 상이하였다.

Table 3. Liver, kidney, testes and spleen weights from rats fed diets containing 0, 30 and 1500 ppm zinc at three different levels of phytic acid for 28days^{1),2)}

Dietary composition	Liver	Kidney	Testes	Spleen
0 ppm Zn				
0.00% phytic acid	4.00±0.72	0.90±0.20	1.45±0.28	0.38±0.12
0.35% phytic acid	4.21±1.58	0.93±0.11	1.43±0.25	0.47±0.14
1.05% phytic acid	4.60±1.49	0.89±0.10	1.36±0.18	0.45±0.08
30 ppm Zn				
0.00% phytic acid	4.00±0.72	0.88±0.09	1.29±0.18	0.65±0.10
0.35% phytic acid	4.21±1.58	1.03±0.17	1.23±0.20	0.71±0.09
1.05% phytic acid	4.60±1.49	0.89±0.15	1.13±0.04	0.70±0.13
1,500 ppm Zn				
0.00% phytic acid	3.66±0.43	0.93±0.08	1.53±0.08	0.72±0.08
0.35% phytic acid	5.34±0.66	1.26±0.14	1.69±0.22	1.18±0.31
1.05% phytic acid	5.51±0.54	1.45±0.39	1.56±0.27	1.33±0.28
0 ppm Zn ³⁾	4.19±0.51 ^b	0.90±0.14 ^a	1.41±0.24	0.43±0.11 ^a
30 ppm Zn	3.65±0.25 ^a	0.93±0.15 ^a	1.45±0.16	0.69±0.11 ^b
1,500 ppm Zn	4.83±1.00 ^c	1.21±0.32 ^b	1.59±0.22	1.08±0.35 ^c
Analysis of variance-(P-values)				
Zinc effect	0.01	0.01	NS.	0.01
Phytic acid effect	0.05	NS.	NS.	NS.
Zinc × phytic acid	NS. ⁵⁾	NS.	NS.	NS.

¹⁾ Values are means±SD. (n=6)

²⁾ Means within columns not sharing a common superscript letter are significantly different($P<0.01$) by Scheffe' contrasts.

³⁾ Zinc groups 0, 30 and 1,500 ppm represent rats fed those different zinc contents for all levels of phytic acid intake.

⁴⁾ Phytic acid groups 0, 0.35 and 1.05% represent rats fed diets having those different phytic acid contents for all levels of zinc intake.

⁵⁾ NS means not significant.

3. 질소 대사

Zn과 phytic acid 수준을 달리한 식이로 대사실험을 한 결과는 Table 4와 같다. 분으로 배설된 질소량은 식이 중 Zn 함량에 의해 영향을 받았으며($p<0.05$), phytic acid 함량에 의해서는 영향을 받지 않았고, 또한 Zn과 phytic acid 상호작용 효과도 없었다. Zn 수준별로 보면 Zn 결핍군이 30 및 1,500 ppm-Zn군에 비해 분 중 질소 배설량이 적었으며($p<0.01$), 30

과 1,500 ppm-Zn군 간에는 차이가 없었다. Zn 결핍군에서 분 중 질소량이 감소된 것은 식이 섭취량이 적었기 때문으로 여겨진다. Greger *et al*(1978)에 의하면 12~14세의 14명의 소녀들을 대상으로 13.4 및 7.4 mg Zn 수준으로 30일간 급여시켜 비교한 결과, 동일 질소 섭취량에서 7.4 mg-Zn군이 13.4 mg-Zn군에 비해 분 중 질소 배설량이 적었다고 보고하여 본 실험의 Zn 결핍군이 30 ppm-Zn군에 비해 질소 배설량이

적었던 것과 유사한 결과를 보였다.

질소의 소화 흡수율은 식이중의 Zn 및 phytic acid 함량 또는 Zn과 phytic acid 상호작용에 의한 영향을 모두 받지 않았다. 뇨로 배설된 질소량은 Zn 함량에 의한 영향을 받지 않았으나, phytic acid 함량에 의한 영향은 받았다($p < 0.05$). 그러나 Zn과 phytic acid 상호작용 효과는 없었다. Phytic acid 수준별로 보면 0% phytic acid군이 1.05% phytic acid군에 비해

뇨 중 질소량이 적었으며($p < 0.01$), 0.35와 1.05% phytic acid 군 간에는 차이가 없었다. 본 실험에서 식이중의 Zn이 뇨로 배설되는 질소량에는 영향을 주지 않았으나, Hsu & Anthony (1975)는 이유한 흰 쥐를 Zn 결핍식으로 28일간 사육시킨 후 48시간 뇨 중 질소량을 측정된 결과, Zn 결핍군이 대조군(85 ppm)에 비해 뇨 중 질소 배설량이 유의하게 증가된다고 보고하여 본 실험의 결과와 상이하였다.

Table 4. Nitrogen intake, fecal nitrogen, digested nitrogen, absorption rate, urinary nitrogen, nitrogen balance and nitrogen retention for rats fed diets containing 0, 30 and 1,500 ppm zinc at three different levels of phytic acid for 28 days^{1),2)}

Dietary composition	Nitrogen intake (mg/day)	Fecal nitrogen (mg/day)	Digested nitrogen (mg/day)	Absorption rate (%)	Urinary nitrogen (mg/day)	Nitrogen balance (mg/day)	Nitrogen retention (%)
0 ppm Zn							
0.00% phytic acid	316.45±73.59	19.29±3.26	297.17±71.67	93.67±1.44	112.47±22.14	184.70±51.68	52.72± 4.00
0.35% phytic acid	324.68±35.04	21.06±3.52	303.64±37.00	93.38±1.67	128.63±48.43	174.98±46.16	54.10±13.76
1.05% phytic acid	399.02±44.76	12.20±2.26	377.27±38.56	94.65±1.44	151.10±50.08	226.15±35.40	57.23± 5.59
30 ppm Zn							
0.00% phytic acid	462.10±53.13	29.38±5.40	432.73±48.07	93.68±0.56	131.72±36.76	201.02±37.99	65.38± 6.51
0.35% phytic acid	428.72±30.26	27.35±3.52	401.32±31.78	93.57±1.05	166.62±22.71	234.73±34.82	54.55± 5.66
1.05% phytic acid	508.85±14.89	25.70±2.68	483.15±14.58	94.95±0.52	176.35±45.17	306.82±31.68	60.50± 7.57
1,500 ppm Zn							
0.00% phytic acid	387.13± 6.01	20.88±3.58	366.27± 9.54	94.57±1.01	151.50±40.08	214.73±33.90	55.53± 9.19
0.35% phytic acid	434.97±62.31	28.96±5.51	406.00±59.69	93.30±0.98	145.47±34.43	260.55±44.70	60.05± 6.62
1.05% phytic acid	460.40±42.49	27.44±2.06	432.97±41.65	94.00±0.58	189.22±52.66	244.75±55.89	53.17±11.02
0 ppm Zn ³⁾	348.01±66.40	20.69±5.07 ^a	327.34±64.09	93.93±1.48	130.86±44.86	196.47±50.07	56.48± 9.82
30 ppm Zn	466.56±48.95	27.48±4.30 ^b	439.07±48.07	94.07±0.57	158.23±40.86	280.86±47.81	60.14± 8.01
1,500 ppm Zn	435.57±54.79	26.73±4.91 ^b	408.84±52.30	93.83±1.26	164.17±48.26	245.07±50.56	56.39± 9.64
0.00% phytic acid ⁴⁾	368.85±86.85	23.65±6.37	365.25±81.71	93.85±1.38	127.97±35.66 ^a	237.23±68.63	60.35±7.57
0.35% phytic acid	400.32±66.70	26.07±5.32	374.24±64.02	93.42±1.06	147.98±39.05 ^{ab}	226.27±54.53	56.36±9.48
1.05% phytic acid	456.09±57.99	24.97±5.08	431.13±54.89	94.53±1.19	172.22±51.89 ^b	259.24±54.61	56.97±9.94
Analysis of variance-(P-values)							
Zinc effect	0.05		NS. ⁵⁾		NS.		NS.
Phytic acid effect	NS.		NS.		0.05		NS.
Zinc × phytic acid	NS.		NS.		NS.		NS.

¹⁾ Values are means±SD. (n=6)

²⁾ Means within columns not sharing a common superscript letter are significantly different($P < 0.01$) by Scheffe' contrasts.

³⁾ Zinc groups 0, 30 and 1,500 ppm represent rats fed those different zinc contents for all levels of phytic acid intake.

⁴⁾ Phytic acid groups 0, 0.35 and 1.05% represent rats fed diets having those different phytic acid contents for all levels of zinc intake.

⁵⁾ NS means not significant.

질소 축적율은 Zn 및 phytic acid 함량에 의한 영향을 모두 받지 않았으며, Zn과 phytic acid 상호작용 효과도 없었다. Gregere *et al*(1978)은 질소 보유량은 식이 중 Zn 함량에 따라서는 영향을 받지 않는다고 하여 본 실험 결과와 일치하였다. 그러나 Thompson *et al*(1976)은 식이중의 Zn 수준에 따라서는 nitrogen retention이 변화된다고 보고하였으며, nitrogen loss는 식이의 Zn 수준과 역의 관계가 있다고 하여 본 실험 결과와는 상이하였다.

4. 뇨 중 Urea Nitrogen, Creatinine 및 Uric Acid 농도
Zn과 phytic acid 수준을 달리하여 쥐에게 급여한 결과 뇨 중의 비단백태질소대사물인 urea nitrogen, creatinine 및 uric acid 농도는 Table 5와 같다.

Urea nitrogen 배설량은 식이중의 Zn 함량에 의해 영향을 받았으나($p < 0.01$), phytic acid 함량에 의한 영향은 받지 않았다. Zn 수준별로 보면 1,500 ppm-Zn군이 Zn 결핍군 및 30 ppm-Zn군에 비해 뇨 중 urea nitrogen 배설량이 감소하였으며

Table 5. The contents of urea nitrogen, creatinine and uric acid in urine collected 24 hours from rats fed diets containing 0, 30 and 1,500 ppm zinc at three different levels of phytic acid for 28days^{1),2)}

Dietary composition	Urea nitrogen (mg/day)	Creatinine (mg/day)	Uric acid (mg/day)
0 ppm Zn			
0.00% phytic acid	119.27±10.90 ^b	1.07±0.20	0.88±0.14 ^b
0.35% phytic acid	117.89±12.14 ^b	2.35±0.27	0.71±0.10 ^a
1.05% phytic acid	140.48±18.58	3.09±0.27	1.41±0.16 ^d
30 ppm Zn			
0.00% phytic acid	110.87±20.70 ^{ab}	2.50±0.22	0.79±0.10 ^{ab}
0.35% phytic acid	131.75±20.67 ^{bc}	2.92±0.21	1.16±0.13 ^c
1.05% phytic acid	111.63± 8.87 ^b	3.08±0.44	1.58±0.20 ^{de}
1,500 ppm Zn			
0.00% phytic acid	101.58±15.36 ^a	2.63±0.18	1.75±0.31 ^c
0.35% phytic acid	93.80±13.10 ^a	3.14±0.50	0.73±0.01 ^a
1.05% phytic acid	114.39±13.04 ^b	3.45±0.35	1.82±0.22 ^e
0 ppm Zn ³⁾			
30 ppm Zn	125.88±17.61 ^b	2.50±0.53 ^a	1.00±0.33 ^a
1,500 ppm Zn	118.08±20.14 ^b	2.83±0.40 ^a	1.17±0.36 ^{ab}
0.00% phytic acid ⁴⁾			
30 ppm Zn	110.57±17.72	2.40±0.34 ^a	1.44±0.47 ^b
1,500 ppm Zn	114.48±22.22	2.80±0.51 ^b	0.87±0.22 ^a
0.35% phytic acid			
30 ppm Zn	122.16±19.18	3.21±0.37 ^c	1.60±0.28 ^c
1.05% phytic acid			
Analysis of variance-(P-values)			
Zinc effect	0.01	0.01	0.01
Phytic acid effect	NS. ⁵⁾	0.01	0.01
Zinc x phytic acid	NS.	NS.	0.01

¹⁾ Values are means±SD. (n=6)

²⁾ Means within columns not sharing a common superscript letter of with prime are significantly different at $P < 0.05$ and without prime at $P < 0.01$ by Scheffe' contrasts.

³⁾ Zinc groups 0, 30 and 1,500 ppm represent rats fed those different zinc contents for all levels of phytic acid intake.

⁴⁾ Phytic acid groups 0, 0.35 and 1.05% represent rats fed diets having those different phytic acid contents for all levels of zinc intake.

⁵⁾ NS means not significant.

($p < 0.01$), Zn 결핍군과 30 ppm-Zn군 간에는 큰 차이가 없었다. Zn과 phytic acid 상호 작용 효과에서 보면, 0 ppm Zn 수준에서는 1.05% phytic acid 군이 0 및 0.35% phytic acid 군간에는 차이가 없었다. 1,500 ppm-Zn 군에서도 0 ppm Zn 수준에서와 유사하였다. Hsu & Anthony(1975)는 생후 21일 된 쥐에서 48시간 동안 뇨 중 urea nitrogen 배설량을 측정한 결과 Zn 결핍군과 대조군 간에는 차이가 없다고 하여 본 실험의 Zn 결핍군과 30 ppm Zn군 간에서 보인 결과와 유사하였다.

Creatinine의 배설량은 식이 중의 Zn 및 phytic acid 함량에 의해 각각 영향을 받았으나($p < 0.01$), Zn과 phytic acid 상호 작용 효과는 없었다. Zn 수준별로 보면, Zn 결핍군은 30 및 1,500 ppm-Zn군에 비해 creatinine의 배설량이 감소되었으며($p < 0.01$), 30과 1,500 ppm-Zn군 간에는 유사한 결과를 보여 주었다. Phytic acid 수준별로 보면 phytic acid 함량이 높을수록 creatinine의 배설량이 증가되었다($p < 0.01$). Hsu & Anthony(1975)에 의하면 쥐에서 48시간 동안 creatinine의 배설량은 Zn 결핍군이 대조군에 비해 약간 감소된다고 하여 본 실험 결과와는 비슷한 경향을 나타냈다.

Uric acid의 배설량은 식이중의 Zn 및 phytic acid 함량에 각각 영향을 받았으며($p < 0.01$), Zn과 phytic acid 상호작용 효과도 인정되었다($p < 0.01$). Zn 수준별로 보면 Zn 결핍군이 1,500 ppm-Zn군에 비해 uric acid 배설량은 감소되었다($p < 0.01$). Phytic acid 수준별로 보면 uric acid 배설량이 0.35% phytic acid 군에서 가장 감소하였으며($p < 0.01$), 1.05% phytic acid군에서 가장 증가하였다($p < 0.01$). Zn과 phytic acid 상호 작용 효과에서는 30 ppm Zn 수준에서 0.35% phytic acid군이 0 및 1500 ppm Zn 수준에서 0.35% phytic acid군에 비해 현저히 증가하였다($p < 0.005$). Hsu & Anthony(1975)은 Zn 결핍군에서 뇨중 uric acid의 배설량이 대조군에 비해 증가된다고 하여 본 실험 결과와는 상이하게 나타났다.

5. 혈청 중 Hemoglobin, Hematocrit 및 Zn 농도

Zn과 phytic acid 수준을 달리한 사료로 28일간 사육한 쥐의 혈청 중 hemoglobin 함량, hematocrit치 및 Zn 농도는 Table 6과 같다.

혈청 중의 hemoglobin 함량 및 hematocrit치는 식이 중의 Zn 함량에 의해 영향을 받았으나($p < 0.01$), phytic acid 함량에 의해서는 영향을 받지 않았으며, Zn과 phytic acid 상호작용 효과도 없었다. Zn 수준별로 보면 hemoglobin 함량 및 hematocrit치는 30 ppm-Zn군이 Zn 결핍군 및 1,500 ppm-Zn군에 비해서 증가되었다($p < 0.01$). Phytic acid의 효과는 phytic acid의 함량이 증가할수록 hemoglobin 함량과 hematocrit치는 약간씩 증가하는 경향이었으나 유의성은 없었다. Kashiwabara *et al*(1982)은 이유한 쥐에게 35일간 1.6 ppm Zn이

함유된 식이로 사육한 결과 hemoglobin 함량은 13.8 g/dL로 대조군인 15.0 g/dL에 비해 유의하게 감소되었으며, hematocrit치는 Zn 결핍군이 43.1%로 대조군의 45.2%에 비해 유의하게 감소된다고 하여 본 실험의 Zn 결핍군이 30 ppm-Zn군에 비해 감소된 것과 일치하였다. 또한 Cox & Harris(1960)는 이유한 쥐에게 8주간 4,000 ppm Zn을 첨가한 식이로 사육한 결과 hemoglobin 함량과 hematocrit치의 급격한 감소를 초래한다고 하였으며, Magee & Matrone(1960)도 7,500~10,000 ppm의 Zn을 첨가한 식이로 사육한 쥐의 hemoglobin 함량은 급격히 감소한다고 하였다. 본 실험에서는 Cox & Harris(1960)와 Magee & Matrone(1960)의 실험에서 보인 극심한 빈혈 상태는 아니었지만, 30 ppm-Zn군에 비하여 1,500 ppm-Zn군의 hemoglobin 함량과 hematocrit치가 감소하였다($p < 0.01$).

혈청 중의 Zn 농도는 식이의 Zn 함량에 의해 영향을 받았으나($p < 0.01$), phytic acid 함량에 의해서는 영향을 받지 않았다. 그리고 Zn과 phytic acid 상호작용 효과도 없었다. Zn 수준별로 보면 식이 중 Zn 함량이 높을수록 혈청 중 Zn 농도가 감소되는 경향이었으나 유의성은 없었다. Zn 결핍 식이로 사육한 양(Ott *et al* 1964)과 쥐(Duerre *et al* 1977, Kashiwabara *et al* 1983)의 혈청 중 Zn 농도는 감소된다고 보고되어 있으며, Davies & Olpin(1979)은 phytate/Zn mole비가 증가할수록 혈청 중 Zn 농도가 감소된다고 하여 본 실험의 결과와 유사한 경향이였다.

6. 혈청 중 Total Protein, Albumin, Albumin/Globulin (A/G) Ratio, BUN 및 간 중 Protein 농도

Zn과 phytic acid 수준을 달리하여 쥐에게 자유급여시킨 후의 혈청 중 total protein, albumin, A/G ratio 및 BUN 그리고 간 중 단백질 농도는 Table 7과 같다.

혈청 중 total protein, albumin, A/G ratio 및 BUN 농도는 Zn 및 phytic acid 함량에 의한 영향을 각각 받지 않았으며, Zn과 phytic acid의 상호작용 효과도 인정되지 않았다. 혈청 중 total protein 함량은 유의성은 없었지만 Zn 수준이 높을수록 증가되는 경향으로 Kashiwabara *et al*(1983)은 쥐에게, Fox & Harrison(1965)은 메추리에게, Gupta *et al*(1986)은 guineapig에게 Zn 결핍 식이를 급여하였을 때 total protein 함량이 감소된다고 하여 본 실험과 유사하였으나, Miller *et al*(1968)은 돼지의 Zn 결핍군에서 혈청 중 total protein 함량이 5.5 g/100 mL로서 대조군의 4.8 g/100 mL에 비해 유의하게 증가된다고 하였으며, Ott *et al*(1964)도 Zn 결핍 식이로 사육한 양에서 혈청 중 total protein 함량이 증가한다고 하여 본 실험 결과와 다르게 나타났다. 혈청 중 albumin의 농도는 유의성은 없었지만 Zn 수준이 높을수록 감소되는 경향이였

Table 6. Hemoglobin, hematocrit and serum zinc concentration from rats fed diets containing 0, 30 and 1,500 ppm zinc at three different levels of phytic acid for 28days^{1),2)}

Dietary composition	Hemoglobin (g/dL)	Hematocrit (%)	Serum zinc (ug/dL)
0 ppm Zn			
0.00% phytic acid	12.97±0.83	38.91±2.50	126.00±10.52
0.35% phytic acid	12.59±0.78	37.78±2.33	115.33± 9.64
1.05% phytic acid	12.81±0.88	38.43±2.63	93.20± 8.54
30 ppm Zn			
0.00% phytic acid	13.06±0.81	40.98±2.43	140.67± 9.57
0.35% phytic acid	13.92±1.08	41.77±3.25	138.67±12.09
1.05% phytic acid	13.42±1.16	40.27±3.47	131.17± 5.37
1,500 ppm Zn			
0.00% phytic acid	12.00±0.51	35.99±1.53	440.50±31.91
0.35% phytic acid	12.40±0.90	37.19±2.68	388.67±27.46
1.05% phytic acid	12.99±0.88	38.96±2.65	244.67±21.99
0 ppm Zn ³⁾	12.80±0.96 ^a	38.42±2.63 ^a	112.58±16.49 ^a
30 ppm Zn	13.66±1.17 ^b	41.03±3.29 ^b	136.83±10.32 ^b
1,500 ppm Zn	12.46±0.88 ^a	37.38±2.65 ^a	360.27±89.42 ^c
Analysis of variance-(P-values)			
Zinc effect	0.01	0.01	0.01
Phytic acid effect	NS. ⁵⁾	NS.	NS.
Zinc × phytic acid	NS.	NS.	NS.

¹⁾ Values are means±SD. (n=6)

²⁾ Means within columns not sharing a common superscript letter of with prime are significantly different at $P<0.05$ and without prime at $P<0.01$ by Scheffe' contrasts.

³⁾ Zinc groups 0, 30 and 1,500 ppm represent rats fed those different zinc contents for all levels of phytic acid intake.

⁴⁾ Phytic acid groups 0, 0.35 and 1.05% represent rats fed diets having those different phytic acid contents for all levels of zinc intake.

⁵⁾ NS means not significant.

고, phytic acid 수준별로는 무 첨가군보다 phytic acid 첨가군에서 약간 높았으나 역시 유의성은 없었다. A/G ratio도 albumin과 globulin의 함량 변화에 따라 Zn 수준이 높을수록 감소되는 경향이였다. Miller *et al*(1968)은 돼지에게, Kashiwabara *et al*(1983)은 쥐에게 Zn 결핍 식이로 사육하였을 때 혈청 중 albumin은 감소되고 globulin 함량은 증가된다고 하였으며, Ott *et al*(1964)도 양의 Zn 결핍군에서, 그리고 Zn 결핍식이에 0.61% phytic acid를 첨가한 군에서 혈청 albumin이

감소된다고 하여 본 실험 결과와는 다르게 나타났다. BUN도 유의성은 없었으나, Zn 수준이 높을수록 증가하는 경향이였고 Kashiwabara *et al*(1983)의 Zn 결핍군이 대조군에 비해 증가된다는 보고와는 상반되었다. 간 중 protein 함량도 식이중의 Zn 및 phytic acid 함량에 의해 영향을 받지 않았으며, Zn 과 phytic acid 상호작용 효과도 없었다. Zn 수준별로는 유의성은 없었지만 Zn 함량이 높을수록 증가하는 경향이였다 Park *et al*(1986)은 이유한 쥐를 Zn 결핍식이로 8일간 사육하

Table 7. The contents of total protein and albumin and the ratio of albumin/globulin (A/G) in serum and the contents of blood urea nitrogen and liver protein for rats which were fed diets containing 0, 30 and 1,500 ppm zinc at three different levels of phytic acid for 28 days¹⁾

Dietary composition	Total protein (g/dL)	Albumin (g/dL)	A/G ratio	Blood urea nitrogen (mg/dL)	Liver protein (mg/g)
0 ppm Zn					
0.00% phytic acid	5.03±0.34	2.22±0.23	0.81±0.14	46.72±5.73	216.53± 5.86
0.35% phytic acid	5.23±0.15	0.78±0.06	0.78±0.06	43.21±4.21	209.76±12.86
1.05% phytic acid	5.07±0.38	0.97±0.30	0.97±0.30	48.78±6.61	208.63±13.38
30 ppm Zn					
0.00% phytic acid	5.25±0.39	2.23±0.15	0.81±0.10	48.73±5.30	211.47± 6.47
0.35% phytic acid	5.44±0.40	2.18±0.23	0.68±0.13	50.81±6.77	206.82± 9.70
1.05% phytic acid	5.20±0.22	2.32±0.18	0.81±0.08	51.27±8.77	227.35± 9.58
1,500 ppm Zn					
0.00% phytic acid	5.13±0.15	2.10±0.18	0.70±0.07	57.62±10.63	219.86± 6.06
0.35% phytic acid	5.42±0.18	2.23±0.18	0.71±0.11	47.35± 4.13	223.10±10.58
1.05% phytic acid	5.37±0.19	2.14±0.20	0.67±0.11	49.86± 7.63	215.45±11.37
0 ppm Zn ²⁾					
0.00% phytic acid	5.11±0.34	2.31±0.31	0.85±0.25	46.23± 6.10	211.64±11.84
30 ppm Zn					
0.00% phytic acid	5.29±0.47	2.27±0.27	0.76±0.19	50.27± 9.20	215.21±12.40
1,500 ppm Zn					
0.00% phytic acid ³⁾	5.30±0.31	2.15±0.26	0.69±0.12	51.61± 9.05	219.46±10.27
0.00% phytic acid ³⁾	5.14±0.30	2.23±0.16	0.77±0.17	51.02±10.64	215.98± 7.21
0.35% phytic acid	5.36±0.27	2.23±0.23	0.73±0.01	47.11± 6.12	213.04±13.23
1.05% phytic acid	5.21±0.25	2.30±0.30	0.82±0.26	49.98± 7.77	216.69±14.07
Analysis of variance-(P-values)					
Zinc effect	NS. ⁴⁾	NS.	NS.	NS.	NS.
Phytic acid effect	NS.	NS.	NS.	NS.	NS.
Zinc x phytic acid	NS.	NS.	NS.	NS.	NS.

¹⁾ Values are means±SD. (n=6)

²⁾ Zinc groups 0, 30 and 1,500 ppm represent rats fed those different zinc contents for all levels of phytic acid intake.

³⁾ Phytic acid groups 0, 0.35 and 1.05% represent rats fed diets having those different phytic acid contents for all levels of zinc intake.

⁴⁾ NS means not significant.

였을 때 간 중 protein 함량이 대조군과 차이가 없다고 하였으며, Hsu & Anthony(1975)도 간 중 protein 함량은 식이 중의 Zn 함량에 의해서는 차이가 없다고 하여 본 실험 결과와 일치하였다.

요약 및 결론

Zn의 생체이용율에 미치는 phytic acid의 영향을 알아보기 위하여 Zn 수준(0, 30 및 1,500 ppm)에 따라 phytic acid의 첨

가량(0, 0.35 및 1.05%)을 달리한 식이로 체중 60~74 g인 Sprague-Dawley종 수컷 흰 쥐를 28일간 사육하여 성장률, 식이섭취, 단백질효율, 장기의 무게, 질소대사, 단백질 대사 및 간 중의 protein 함량을 측정하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 증체량, 식이섭취량, 식이효율 및 단백질효율은 30 및 1,500 ppm-Zn군에 비해 Zn 결핍군에서 감소되었고, 30과 1,500 ppm-Zn군 간에서는 유사한 결과를 나타냈지만, 단백질효율은 30 ppm-Zn군이 1500 ppm -Zn군에 비해 증가되었다.

2. 간의 무게는 30 ppm-Zn군에서 가장 작았으며 1500 ppm-Zn군에서 가장 컸고 phytic acid 첨가군에서 증가되었다. 신장의 무게는 1500 ppm-Zn군이 가장 컸고, 고환의 무게는 Zn 및 phytic acid 함량에 의한 영향을 받지 않았으며 비장의 무게는 Zn 수준이 높을수록 더 크게 나타났다. 그리고 장기의 무게는 모두 Zn과 phytic acid 상호작용효과가 인정되지 않았다.
3. 분으로 배설되는 질소량은 식이 중 Zn 함량에 의해 영향을 받았으며 Zn 결핍군에서 가장 감소되었다. 노로 배설되는 질소량은 phytic acid의 효과가 인정되어 phytic acid 첨가군에서 증가되었다. 질소축적율은 Zn 및 phytic acid 함량에 의해서는 각각 영향을 받지 않았으며 Zn과 phytic acid 상호작용효과도 인정되지 않았다.
4. 뇨 중 urea nitrogen의 배설량은 1,500 ppm-Zn군에서 가장 감소되었고 creatinine의 배설량은 Zn 결핍군에서 가장 감소되었고 phytic acid의 첨가량이 높을수록 증가되어 1.05% phytic acid군에서 많았다. Uric acid의 배설량은 Zn 및 phytic acid의 주효과가 인정되었으며 또한 Zn과 phytic acid 상호작용효과도 인정되어 30 ppm-Zn군에서 보면 phytic acid의 첨가량이 높을수록 uric acid의 배설량이 증가되었다.
5. Hemoglobin 함량과 hematocrit치는 30 ppm-Zn군에서 가장 증가되었으며, 혈청 중 Zn 농도는 식이 중 Zn 함량이 높을수록 증가되었다.
6. 혈청 중 total protein, A/G ratio, BUN 및 간 중 Protein 농도는 식이 중 Zn 과 phytic acid 함량에 의한 영향을 받지 않았다.

이상의 결과에서 식이 중의 Zn 첨가량은 결핍군에서만 증체량, 식이 섭취량, 식이 효율 및 단백질 효율에 부(-)의 영향을 미쳤고 phytic acid의 첨가량은 영향을 미치지 않았다. 질소의 소화 흡수율에는 Zn 및 phytic acid 첨가 수준이 영향을 미치지 않았고, 뇨 중 비단백태 질소대사산물의 배설량에는 Zn 및 phytic acid의 주효과가 일부 대사물에서 인정되었다. 혈청 중 hemoglobin 함량과 hematocrit치는 식이 중의 Zn 수준에 영향을 받았지만 phytic acid 수준은 영향을 미치지 않았고 혈청 중의 단백질 농도에는 Zn 수준이나 phytic acid의 수준별 식이가 영향을 미치지 않은 것으로 나타나 본 실험에서의 식이 중의 Zn이나 phytic acid의 첨가 수준으로는 단백질대사에 부분적으로 영향을 미친 것으로 사료된다.

문 헌

- American Institute of Nutrition (1977) Report of the AIN Ad Hoc Committee on standards for nutritional studies. *J Nutr* 107: 1340-1378.
- Brittmarie S, Annette A, Barbro K (1989) Effect of protein level and protein source on zinc absorption in humans. *J Nutr* 119: 48-53.
- Cannon RK (1958) Proposal for a certified standard for use in hemoglobinometry. Second and final report. *Am J Clin Pathol* 30: 211.
- Chung MI, Chung YJ (1989) Effect of different dietary zinc and protein levels on lipid metabolism. *Korean J Nutr* 22: 9-22.
- Cox DH, Harris DL (1960) Effect of excess dietary zinc on iron and copper in the rat. *J Nutr* 70: 514-520.
- Das I, Burch RE, Hahn HKJ (1984) Effects of zinc deficiency on ethanol metabolism and alcohol and aldehyde dehydrogenase activities. *J Lab Clin Med* 104: 610-617.
- Davies NT, Olpin SE (1979) Studies on the phytate: zinc molar contents in diets as determinant of Zn availability to young rats. *Br J Nutr* 41: 591-603.
- Dormas BT, Biggs HG (1972) Determination of serum albumin. In standard methods of clinical chemistry. G.A. Cooper, ed, New York, Academic Press, Inc 7: 175.
- Duerre JA, Ford KM, Sandstead HH (1977) Effect of zinc deficiency on protein synthesis in brain and liver of suckling rats. *J Nutr* 107: 1082-1093.
- Forbes RM, Yohe M (1960) Zinc requirement and balance studies with the rat. *J Nutr* 70: 53-57.
- Fosmire GJ, Fosmire MA, Sandstead HH (1976) Zinc deficiency in the weanling rat: Effect on liver composition, and polysomal profiles. *J Nutr* 106: 1152-1158.
- Fox MRS, Harrison BN (1965) Effect of zinc deficiency on plasma proteins of young Japanese quail. *J Nutr* 86: 89-92.
- Gary JF (1990) Zinc toxicity. *Am J Clin Nutr* 51: 225-227.
- Greeley S, Fosmire GE, Sandstead HH (1980) Nitrogen retention during late gestation in the rat in response to marginal zinc intake. *Am J Physiol* 239: E113-E118.
- Greger JL, Abernathy RP, Bennett OA (1978) Zinc and nitrogen balance in adolescent females fed varying levels of zinc and soy protein. *Am J Clin Nutr* 31: 112-116.
- Gupta RP, Verma PC, Gupta RKP (1986) Experimental zinc deficiency in guinea-pigs. *Br J Nutr* 55: 613-620.
- Henry RJ, Sobel C, Kim J (1957) A modified carbonate-phosphotungstate method for the determination of uric and comparison with the spectrophotometric urease method. *Am J Clin Pathol* 28: 152-160.
- Hus JM, Anthony WL (1975) Effect of zinc deficiency on

- urinary excretion of nitrogenous compounds and liver amino acid-catabolizing enzymes in rats. *J Nutr* 105: 26-31.
- Husdan H, Rapoport A (1968) Estimation of creatinine by the Jaffe' reaction. A comparison of three methods. *Clin Chem* 14: 222-238.
- Kashiwabara N, Maruyama H, Yamashita Y, Kondo S (1982) Effect of zinc deficiency on growth, hematological values and tissues zinc content in rats. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 35: 281-290.
- Kashiwabara N, Maruyama H, Yamashita Y, Kondo S (1983) Effect of zinc deficiency on enzyme activities, hormones, glucose, lipids and nitrogen compounds contents in serum of rats. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 36: 5-13.
- Kim CMS, Michael L (1989) Effect of soybean fiver and phytate on serum zinc response. *Nutr Research* 9: 127-132.
- Kingsley GR (1972) Procedure for serum protein determinations. In standard methods of clinical chemistry. G.R. Copper, ed., New York, Academic Press, Inc 7: 199.
- Lee JH, Moon SJ, Huh KB (1993) Influence of phytate and low dietary calcium on calcium, phosphate and zinc metabolism by growing rats. *Korean J Nutr* 26: 145-155.
- Likuski HJA, Forves RM (1964) Effect of phytic acid on the availability of zinc in amino acid and casein diets fed to chicks. *J Nutr* 84: 145-148.
- Magee AC, Matrone G (1960) Studies on growth, copper metabolism and iron metabolism of rats fed high levels of zinc. *J Nutr* 72: 233-242.
- McCall JT, Manson JV, Davis GK (1961) Effect of source and level of dietary protein on the toxicity of zinc to the rat. *J Nutr* 74: 51-57.
- Miller ER, Luecke RW, Ullrey DE, Baltzer BV, Bradley BL, Hoefler JA (1968) Biochemical, skeletal and allometric changes due to zinc deficiency in the baby pig. *J Nutr* 95: 278-286.
- Mills CF, Quarterman J, Williams RB, Daigarno AC, Panic B (1967) The effects of zinc deficiency on pancreatic carboxypeptidase activity and protein digestion and absorption in the rat. *Biochem J* 102: 712-718.
- Murthy L, Petering HG (1976) Effect of dietary zinc and copper interrelationships on blood parameters of the rat. *J Agric Food Chem* 24: 808-811.
- O'dell BL, Savage JE (1960) Effect of phytic acid on zinc availability. *Proc Soc Exp Biol Med* 103: 304-305.
- Oberleas D, Muhrer ME, O'dell BL (1962) Effects of phytic acid on zinc availability and parakeratosis in swine. *J Anim Sci* 21: 57-61.
- Oser BL (1965) Hawk's Physiological Chemistry. 14th ed, McGraw-Hill book Co, New York. p 1214.
- Ott EA, Smith WH, Stob M, Beeson WM (1964) Zinc deficiency syndrome in the young lamb. *J Nutr* 82: 41-50.
- Park JHY, Grandjean CJ, Antonson DL, Vanderhoof JA (1986) Effects of isolated parameters of the composition of skeletal muscle, liver and bone during growth in rats. *J Nutr* 116: 610-617.
- Reinhold JG, Pascoe E, Arslanian M, Bitar K (1970) Relation of zinc metallo-enzyme activities to zinc concentrations in tissues. *Biochem Biophys Acta* 215: 430-437.
- Rocker CL (1967) Rapid determination of urea nitrogen in serum or plasma without deproteinization. *Am J Med Technol* 33: 361-365.
- Scheffe' H (1957) The Analysis of Variance. Wiley, New York. pp 90-137.
- Simmons A (1983) Technical hematology. 3rd ed, J. B. Lippincott Company, Philadelphia, Toronto. pp 77-79.
- Swenerton H, Hurley LS (1969) Severe zinc deficiency in male and female rats. *J Nutr* 95: 8-18.
- Thompson HJ, Griminger P, Evans JL (1976) Effect of dietary copper, manganese and zinc on nitrogen equilibrium and mineral distribution subsequent to trauma in mature rats. *J Nutr* 106: 1421-1428.
- Thompson RH, Blanchflower WJ (1971) Wet ashing apparatus to prepare biological materials for atomic absorption spectrophotometry. *Lab Prac* 20: 859-861.
- Todd WR, Elvehjem CA, Hart EB (1934) Zinc in the nutrition of the rat. *Am J Physiol* 107: 146-156.
- Underwood EJ (1977) Trace elements in Human and Animal Nutrition, 4th ed, Academic Press, Inc New York. p 196- 242.
- Wallwork JC, Fosmire GJ, Sandstead HH (1981) Effect of zinc deficiency on appetite and plasma amino acid concentrations in the rat. *J Nutr* 45: 127-136.
- Wallwork JC, Johnson LK, Milne DB, Sandstead HH (1983) The effect of interactions between dietary egg white protein and zinc body weight, bone growth and tissue trace metals in the 30-day-old rat. *J Nutr* 113: 1307-1320.

(2005년 10월 10일 접수, 2005년 11월 10일 채택)